

¹В.В.Грицков, ²М.Ю. Нестеренко

¹V.V.Gritskov, ²M.YU. Nesterenko

¹Союза маркшейдеров России,

²Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН

¹Russia Union of Surveyors, ²Geoecology Department Urals Branch RAS

**МЕТОДИКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА
РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ**
GEODYNAMIC MONITORING TECHNIQUE OF OIL AND GAS PRODUCING FIELDS
USING THE SEISMOLOGICAL NETWORK

Аннотация. Предложен подход к созданию геодинамических полигонов на нефтяных и газовых месторождениях на основе сейсмического мониторинга. Подход основан на выявленной взаимосвязи изменений в гидрогеодинамике, напряженно-деформационного состояния и сейсмической активности в районах разработки нефтяных и газовых месторождений. Предложена процедура геодинамического районирования территорий на основе кластерного анализа морфоструктурных узлов.

Abstract. The approach to geodynamic polygons building on gas and oil reservoirs based on seismologic monitoring is suggested. The gas and oil production results in a formation pressure reduction, underground waters lever and mode of stress and deformation changes. The geodynamic classification procedure based on cluster analysis of morphologies nodes is suggested.

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 речного стока и водоснабжения.

При добыче нефти и газа техногенезом охватываются объемы недр до нескольких тысяч кубических километров и на площадях в тысячи квадратных километров. Например, в Южном Предуралье Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) занимает площадь около 2500 км², а уменьшение давлений в пластовых водах в результате 35-летней добычи газа произошло на площади более 5000 км². В центральной части месторождения 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 метр [1]. Примерно на эту же величину увеличиваются градиенты давления между пластовыми водами месторождения и прилегающими к ним водоносными комплексами.

В соответствии с п.3 Общих положений инструкции Федерального горного и промышленного надзора России по производству маркшейдерских работ одним из основных требований по обеспечению безопасного ведения работ, связанных с пользованием недрами, является проведение комплекса геологических, маркшейдерских и иных наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла работ и прогнозирования опасных ситуаций. В условиях интенсивной эксплуатации нефтегазовых месторождений основной причиной смещения (изменения) отметок земной

поверхности являются геодинамические процессы в недрах. В современных условиях геодинамические процессы могут контролироваться мониторингом сейсмических событий в недрах.

В связи с этим необходимо проведение мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности разрабатываемых месторождений нефти и газа и прилегающих территорий. Данные работы должны быть увязаны с маркшейдерскими работами по определению координат и высотного положения реперов (п. 264 Инструкции).

Построение геодинамических полигонов на основе геометрического нивелирования очень дорого и практически не решает поставленных задач в связи с большими площадями и объемами охваченных техногенезом недр. Геометрическое нивелирование не позволяет прогнозировать опасные геодинамические процессы в недрах, а лишь фиксирует произошедшие изменения на поверхности.

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.

В целях исследования влияния техногенеза на динамику земной коры в районах интенсивной разработки месторождений углеводородов в Южном Предуралье создана сеть сейсмостанций «Газ-сеймика», 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.

Оборудование сейсмостанций

Комплект оборудования станций включает следующие блоки и системы:

- два комплекта сейсмометров СМЗ-ОС и СМЗ-КВ (для локальных станций только СМЗ-КВ);
- блок сбора и выделения сейсмического сигнала (DASS или UGRA);
- GPS-приемник, для привязки точного времени;
- компьютер сбора и обработки данных;
- система резервного питания.

Один комплект сейсмоприемников состоит из трех датчиков скоростей смещений СМЗ-КВ, имеющий диапазон регистрации 0,5-40 Гц. Другой комплект сейсмоприемников сформирован из датчиков СМЗ-ОС, имеющий диапазон регистрации 0.02-10 Гц. Сигналы с сейсмометров СМЗ-ОС и СМЗ-КВ оцифровываются непрерывно. Датчики установлены таким образом, чтобы осуществлять регистрацию движений по трем направлениям – вертикальному (Z), север-юг (N) и восток-запад (E). Оба комплекта датчиков расположены на специально сооруженном постаменте в бункере на глубине около 5 м. Для защиты от грунтовых и поверхностных вод бункер может быть выполнен из металла.

Система обработки

Обработка сейсмограмм производится в программном комплексе WSG, разработанного ГС РАН г. Обнинск. Целью обработки сейсмограмм является получение наиболее полной информации о сейсмических событиях в непрерывном потоке записи или ее фрагментов с выделением основных сейсмических фаз, их кинематических и динамических характеристик, эпицентрального расстояния, азимута на эпицентр, а также энергетической (магнитудной) оценки события. Для определения момента вступления, расстановки фаз и расчетов параметров события используются фильтры, которые позволяют убрать шум и качественно улучшить отображение сейсмограммы.

Анализ движения частиц применяется как один из наиболее важных инструментов для решения таких задач, как идентификация фаз и определение времени их вступления. График поляризации позволяет определить тип события (землетрясение, шум, карьерный взрыв и т.д.).

Сеть сейсмостанций и методика выбора местоположения сейсмостанций

На начальном этапе региональная сеть сейсмостанций для мониторинга сейсмической активности в радиусе 100-150 км должна состоять не менее чем из 4 сейсмостанций. Мониторинг такой сетью в течение 3-5 лет позволит оценить уровень естественной и техногенной сейсмичности, выявить сейсмически аномальные тектонические структуры и участки, районировать территорию по уровню сейсмической активности и принять решение о дальнейшем геодинамическом мониторинге территории.

Для более уверенной интерпретации регистрируемых сейсмических сигналов проводится обоснование и выбор мест размещения сейсмостанций сети для сейсмического мониторинга. Проектируемая сейсмостанция должна регистрировать сейсмические сигналы, приходящие к ней под другим азимутом, в отличие от существующих сейсмостанций. При выборе места размещения станции предполагается выполнение следующих условий:

- расстояние между станциями для более уверенной регистрации региональных и местных сейсмических сигналов должно быть не более 30-50 км, поэтому местоположение станции целесообразно выбирать с учетом выявленных участков с аномально высокой сейсмичностью или участков, имеющих нарушения (разломы, техногенные изменения в геологической среде т.п.);

- размещение приемных блоков станции на участке с геологическими условиями, характером рельефа, высотой местности над уровнем моря, обеспечивающими качество поступающих сейсмических сигналов;

- удаленность от источников сейсмических помех (близость транспортных магистралей, промышленных объектов и т.п.);

- для принятия решения о размещении сейсмостанции на данном участке требуется проведение замеров сейсмических шумов с помощью мобильного сейсмологического комплекса.

- энергообеспечение, коммуникации, охрана.

Возможно размещение сейсмостанций вблизи небольших поселков и сёл, метеостанций и др.

В Оренбургской области 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 – 2010 гг. сейсмических событий имеют очаги на глубинах до 10 км, где и происходят основные техногенные изменения [1].

Для выявления сейсмоактивных структур, причин и механизма увеличения их сейсмической активности нами уточнено геологическое строение Южного Предуралья (Западная часть Оренбургской области) и проведен ряд исследований системы его подземных вод в естественных и техногенно измененных условиях. При исследовании процессов формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) и подготовки землетрясения необходимо учитывать геологическое строение верхней части земной коры на глубину 10-15 км.

Техногенные изменения в подземных водах в районе ОНГКМ

Техногенное воздействие разработки нефтяных и газовых месторождений имеет схожий характер и в первую очередь вызывает изменение в геодинамике геологической среды. Территория ОНГКМ характеризуется высокой техногенной нагрузкой на недра. В эксплуатацию или в техногенез вовлечены подсолевой, солевой и надсолевой комплексы пород [2].

На месторождении пробурено более 1000 скважин различного назначения. В центральной, наиболее ослабленной части его геологической структуры, расстояние между скважинами редко превышают 400-500 м.

Быстрое для ОНГКМ падение пластовых давлений создает условия для обводнения продуктивных толщ и осложняет добычу газа. Притоки пластовых вод в газовую залежь

идут как сбоку – по латерали, так и снизу – по вертикали. Суммарный объем извлеченных вод сопоставим с объемами питания водонапорной системы. С начала эксплуатации ОНГКМ через нагнетательные скважины под газовые залежи месторождения закачано более 39 млн. м³ водометанольных смесей (ВМС) и промстоков. Предполагаемые стабилизирующие воздействия закачки ВМС и промстоков вряд ли реально отразится на напряженно-деформационном состоянии массивов горных пород в виду несопоставимости добываемых и закачиваемых объемов.

Расчетный объем внедрившейся воды из контуров всех УКПГ и законтурной зоны достигает 81120 тыс.м³. К настоящему времени по данным ВУНИПИГаз в водонапорной системе ОНГКМ сформировалась депрессионная воронка глубиной до 500-600 м и зона ее влияния простирается на 20 км и более к северу и к югу от контура газоносности.

На интенсивно разрабатываемых месторождениях нефти в Южном Предуралье, также как и при добыче газа, формируются гидродинамические воронки. В центральной части ряда месторождений пластовое давление уменьшилось на 5-8 МПа и более, образовав гидродинамические воронки диаметром 10-30 и более километров.

Сейсмичность Южного Предуралья и методика ее мониторинга

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.

Результаты мониторинга показали [1], что сейсмические события в Южном Предуралье расположены вблизи зон планетарно-тектонической трещиноватости, областей пересечения зон планетарно-тектонической трещиноватости, кольцевых зон (рис.).

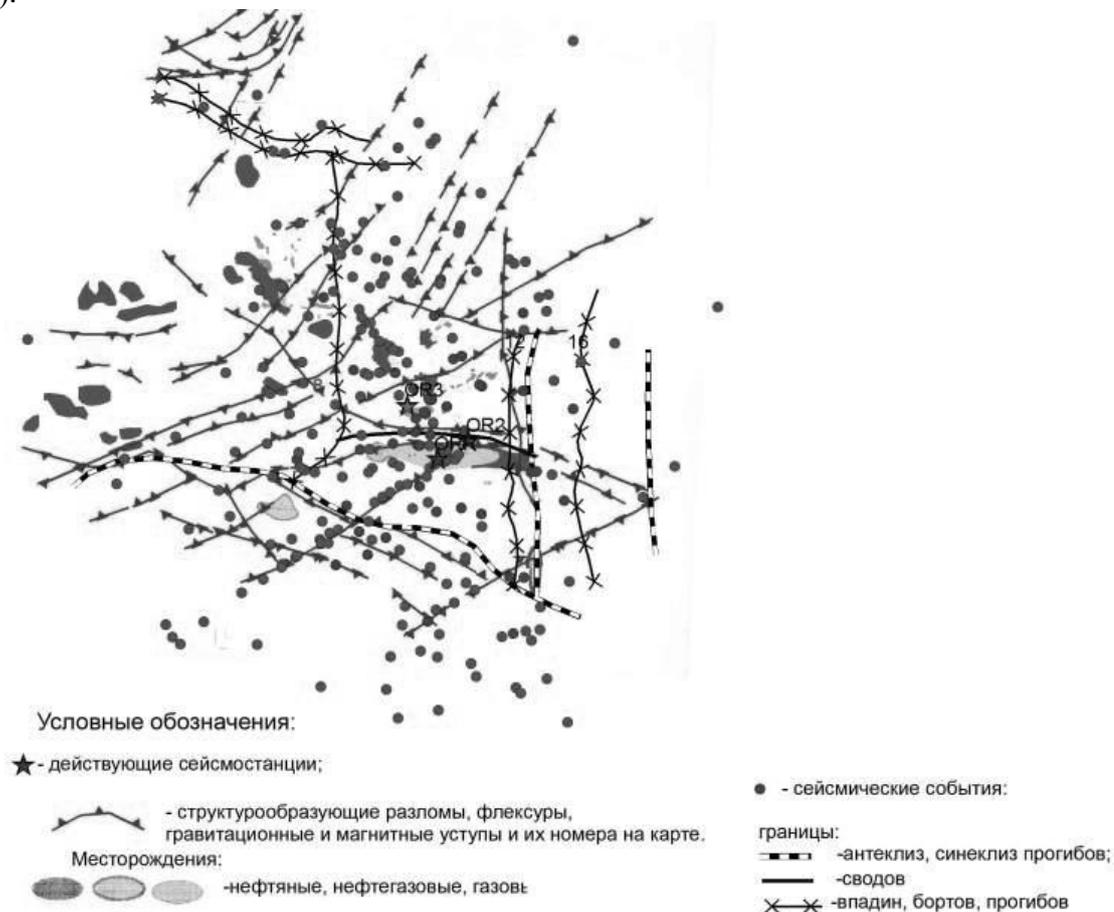


Рис. Карта-схема распределения сейсмических событий на юго-востоке Восточно-Европейской платформы в 2007 - 2010 гг.

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. Выявлены [1,2] взаимосвязи изменений в гидрогеодинамике, напряженно-деформационного состояния и сейсмической активности в районах разработки нефтяных и газовых месторождений. Сложившаяся структура земной коры и распределение эпицентров сейсмических событий за 2007-2010 гг. позволяют выполнить предварительное районирование территории по природной и техногенной сейсмической активности.

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

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.

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. Методика развития сейсмологической сети и обработки сейсмограмм позволяет регистрировать и обрабатывать сейсмические события с достаточной точностью и выявлять сейсмоактивные участки.

3. Разработанный Отделом геоэкологии комплексный подход мониторинга сейсмической активности с использованием данных о геологическом и тектоническом строении месторождений углеводородов и прилегающих территорий, совместно с результатами маркшейдерско-геодезического мониторинга и гидрогеологических наблюдений обеспечит комплексный мониторинг природных и техногенных геодинамических процессов в районе месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Днистрянский В.И., Глянцев А.В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья // Ж. Литосфера №4 2010 С.28 – 41.
2. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М. Гидрогеологические процессы и их моделирование в районах добычи углеводородов на примере Южного Предуралья // Ж. Вестник ОГУ, № 9, 2010, с.122-127

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 11-05-97024-р_поволжье_a.