

УДК 553.98:551.2

ISSN 1812-5220

© Проблемы анализа риска, 2018

Природно-техногенная геодинамика и сейсмическая активность и их влияние на объекты повышенной опасности в Оренбургской области

М. Ю. Нестеренко,Отдел геоэкологии ОНЦ УрО
РАН**М. С. Карпюк,**Российское научное общество
анализа риска**А. В. Цвяк,**Отдел геоэкологии ОНЦ УрО
РАН**О. А. Капустина,**Институт риска Оренбургского
государственного аграрного
университета,

г. Оренбург

Аннотация

Выполненные в работе комплексные исследования геодинамики районов месторождений нефти и газа в Южном Предуралье позволили выявить и исследовать закономерности формирования современных геотектонических процессов в естественных и антропогенно измененных условиях. Разработана методика мониторинга современных геотектонических процессов в районах недропользования и в регионе в целом с использованием спутниковых систем. Элементы методологии проходят апробацию на Оренбургском НГКМ и ряде месторождений нефти в Оренбургской и Самарской областях.

Ключевые слова: геодинамическая активность, сейсмологическая сеть, месторождения нефти и газа, эффективность технологий.

Содержание

Введение

1. Проблемы нормативного обеспечения геодинамического и сейсмического мониторинга природно-техногенных объектов

2. Разработка методологии мониторинга напряженно-деформированного состояния геологической среды с использованием глобальных спутниковых навигационных систем и сейсмических станций

3. Создание геодинамического полигона с заложением сети реперов для высокоточного GNSS-мониторинга

4. Влияние геодинамической активности на трубопроводные сети

Заключение

Литература

Введение

Мониторинг и исследование геодинамической обстановки, выполняемые отделом геоэкологии Оренбургского научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ОНЦ УрО РАН) в Оренбургском Предуралье, позволили сделать выводы об уровне сейсмической активности в пределах платформенной части Оренбуржья. Кроме природной (естественной) сейсмичности значимым фактором становится техногенная сейсмичность, роль которой возрастает по мере усиления интенсивности добычи нефти и газа на эксплуатируемых месторождениях. Геодинамика Южного Предуралья слабо изучена, т.к. регион расположен на платформе, а платформенные районы традиционно относили

к геодинамически малоактивным и слабосейсмичным. Основное внимание уделялось активным горно-складчатым сооружениям. Однако в последние годы, по мнению ряда сейсмологов и геологов [1—3 и др.], интерес к изучению геодинамики платформенных областей значительно возрос после того, как обнаружилось, что платформы достаточно подвижны, особенно вблизи складчатых областей.

По нашему мнению, природная сейсмоактивность вызвана подвижками блоков земной коры относительно друг друга. Блоковое строение фундамента и осадочного чехла установлено геологическими и геофизическими исследованиями [4, 5 и др.]. Полагаем, что именно с последними связана природная сейсмичность. Однако и техногенная сейсмичность получает разрядку через существующие мобильные зоны.

В условиях развития естественных гео- и гидрогеодинамических процессов, блоково-разломного строения земной коры интенсивная добыча нефти и газа в крупных нефтегазоносных районах нарушает природную, включая геологическую, среду, значительно перестраивает гидрогазодинамические и геодинамические процессы в земной коре на глубины до десяти километров и более на площадях до нескольких тысяч квадратных километров. Создаются условия возникновения ряда экологических проблем, существенно влияющих на развитие природы и жизнедеятельность населения в регионе.

В связи с этим необходима разработка методологии мониторинга напряженно-деформированного состояния недр в районах разрабатываемых месторождений нефти и газа.

1. Проблемы нормативного обеспечения геодинамического и сейсмического мониторинга природно-техногенных объектов

Положения по созданию и функционированию геодинамических полигонов рассматриваются рядом действующих нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов [6—9].

Одним из основных требований Закона Российской Федерации «О недрах» [6] (ст. 24) по обеспечению безопасного ведения работ, связанных с пользованием недрами, является «проведение комплекса геологических, маркшейдерских и иных наблюдений, достаточных для обеспечения нормально-

го технологического цикла работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевременное определение и нанесение на планы горных работ опасных зон».

Согласно «Положению о лицензировании производства маркшейдерских работ» [7], утвержденному постановлением Правительства РФ от 28.03.2012 № 257, лицензионным требованием к лицензиату при осуществлении деятельности по производству маркшейдерских работ является проведение маркшейдерских наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла горных работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевременное определение и нанесение на планы горных работ опасных зон в соответствии с п. 5—6 раздела III ст. 24 Закона Российской Федерации «О недрах».

«Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр» [8] требует от служб главного геолога и главного маркшейдера недропользователя обеспечить: «ведение мониторинга состояния недр, включая процессы сдвижения горных пород и земной поверхности, геомеханических и геодинамических процессов при недропользовании в целях предотвращения вредного влияния горных разработок на горные выработки, объекты поверхности и окружающую природную среду».

Согласно п. 262 «Инструкции по производству маркшейдерских работ» [9], технический проект (программа) выполнения маркшейдерских работ включает обоснование и технические решения по созданию системы наблюдений (геодинамических полигонов) за геомеханическими, геодинамическими, а в необходимых случаях — за геокриологическими процессами.

В связи с особенностями влияния добычи углеводородов на недра и территории необходима разработка методики их мониторинга.

Однако несмотря на то, что в районах ряда месторождений углеводородов зарегистрированы техногенные сейсмические события, а целый ряд нефтегазодобывающих компаний эксплуатируют объекты в сейсмоактивных регионах (Сахалин, Северный Кавказ, Байкальская рифтовая зона и т.д.), в настоящее время отсутствует нормативно-инструктивная база по постановке глобальных спутниковых навигационных систем и систем сейсмического мониторинга в рамках работ по обеспечению эколого-промышленной безопасности объектов

нефтегазового комплекса. По причине ее отсутствия служба горного и промышленного надзора России предложила для мониторинга геодинамических процессов при добыче углеводородов использовать методику, разработанную для мониторинга добычи твердых полезных ископаемых: РД 07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ».

Инструкцией (п. 262—267) Федерального горного и промышленного надзора России (Ростехнадзора) предписано, в рамках выполнения комплекса маркшейдерских работ, создание системы наблюдений (геодинамических полигонов) в районах добычи углеводородов вести на основе геодезических методов выявления просадок и воздыманий земной поверхности над месторождениями.

В условиях интенсивной эксплуатации нефтегазовых месторождений основной причиной смещения (изменения) отметок земной поверхности являются геодинамические и геофизические процессы в недрах. Без контроля этих процессов не представляется возможной безопасная эксплуатация недр. В современных условиях геодинамические процессы могут контролироваться в них мониторингом сейсмических событий.

Распространение действия инструкции РД 07-603-03, разработанной применительно к условиям добычи твердых ископаемых карьерным и шахтным способами, не может обеспечить мониторинг техногенных изменений в динамике и геофизических процессов в земной коре на разрабатываемых месторождениях углеводородов необходимого качества лишь методами нивелирования земной поверхности на геодинамических полигонах.

В целях обеспечения безопасной эксплуатации месторождений углеводородов рекомендуется принять непрерывный контроль сейсмической активности основным методом их геодинамического мониторинга, сохранив методы контроля деформации земной поверхности, с преимущественным использованием глобальных спутниковых навигационных систем, лишь на участках аномально высокой сейсмической активности, которые выявляются по результатам сейсмического мониторинга. Замена части геодинамических полигонов геодезического контроля деформации земной поверхности сейсмическим мониторингом позволит повысить эколого-промышленную безопасность объектов нефтегазового комплекса с уменьшением на нее затрат.

2. Разработка методологии мониторинга напряженно-деформированного состояния геологической среды с использованием глобальных спутниковых навигационных систем и сейсмических станций

Южное Предуралье находится в пределах Восточно-Европейской платформы, охватывает Волго-Уральскую антеклизу, северный борт Прикаспийской впадины и Предуральский краевой прогиб.

Анализ каталогов землетрясений, зарегистрированных существующими сейсмологическими сетями, указывает на высокую сейсмичность Восточно-Европейской платформы [10]. Восточно-Европейская платформа характеризуется высокой геодинамической и сейсмической активностью, особенно на стыках крупных геологических структур. Блоки земной коры разных рангов выделяются не только в сейсмически активных областях, но и в регионах, которые традиционно считаются тектонически стабильными на современном отрезке геологического времени. В любом районе имеются силы, которые обуславливают современные перемещения блоков друг относительно друга, формируют тектонически напряженные и разгруженные зоны, создают геодинамическую опасность при освоении недр и земной поверхности.

В отделе геоэкологии Оренбургского НЦ УрО РАН проводится регистрация землетрясений с помощью сети сейсмических станций, которая создана и действует в Оренбургской области с 2005 г. (рис. 1). За время наблюдений было установлено, что эпицентры землетрясений тяготеют к разломным структурам. Кроме этого, было установлено, что добыча нефти и газа влияет на сейсмическую активность в зоне интенсивной добычи углеводородов и за ее пределами.

Средняя плотность зарегистрированных сейсмических событий в зонах месторождений в 2—3 раза больше, чем на остальной территории Южного Предуралья. При этом суммарная выделившаяся энергия увеличилась в 30 раз, что является предвестником возможных событий большой энергии. В пределах гидродинамической воронки плотность зарегистрированных событий в 5—6 раз больше, а выделившейся энергии в 50 раз больше, чем в среднем по Южному Предуралью [11].

По данным геодинамической и сейсмической активности построена карта районирования с учетом

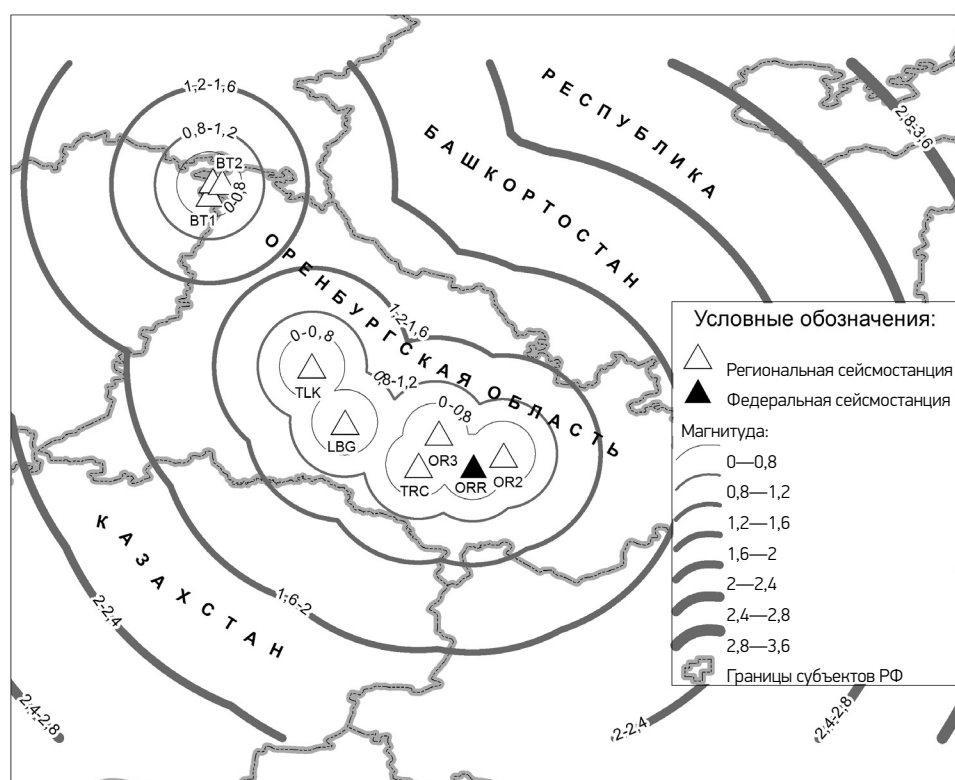


Рис. 1. Регистрационные возможности сейсмологической сети «Нефтегаз-сейсмика» в Оренбургской области

разломов и техногенного падения давления, изображение итогового варианта представлено на рис. 2. Здесь по результатам совместного анализа выделенных признаков геодинамической активности используется приблизительная относительная шкала геодинамической активности. Значения шкалы изменяются от нулевой активности до максимального уровня геодинамической активности. На участках с нулевой геодинамической активностью отсутствуют тектонические и техногенные нарушения и не были зарегистрированы сейсмические события с энергией более 10^5 Дж. На участках максимального ее уровня присутствуют все выделенные признаки: два и более тектонических разломов, техногенные нарушения, зарегистрированы сдвиги земной коры и выделившаяся сейсмическая энергия более 10^9 Дж.

В основу методологии мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) геологической среды с использованием глобальных спутниковых навигационных систем (GNSS) и сейсмических станций нами принят комплексный подход, учитывающий взаимовлияние геологических структур, динамики гидрогеосистемы, добычи полезных

ископаемых и деформаций земной поверхности (рис. 3). Сравнительный анализ геологического строения, системы разломов, динамики подземных вод, напряженности и сейсмичности позволяет районировать территорию региона по геодинамической и сейсмической активности. Комплексный подход ориентирован на теоретическое обобщение и дальнейшее развитие представлений о взаимодействиях в системе геологическая среда — гидрогеосистема — напряженно-деформированное состояние и сейсмичность верхней части земной коры. Он также направлен на выявление закономерностей формирования НДС и разработку теоретических основ геодинамического и сейсмического районирования платформенных территорий с учетом техногенного воздействия на геологическую среду на примере Южного Предуралья [12]. Предлагаемая методология мониторинга и прогноза геодинамической активности геологической среды на основе комплексного учета техногенных изменений в недрах включает следующие способы и методы:

- создания сети сейсмических станций и сети фундаментальных реперов для мониторинга геоди-

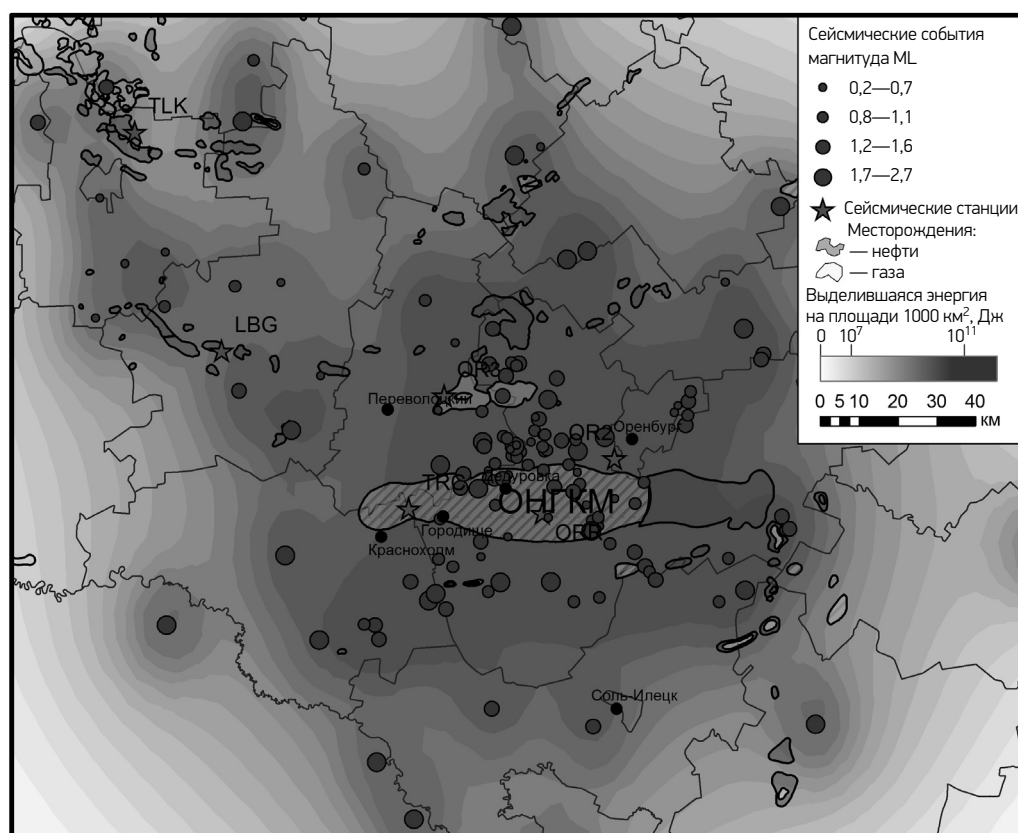


Рис. 2. Районирование территории разрабатываемых месторождений углеводородов в Южном Предуралье по уровню геодинамической активности по результатам геодинамического и сейсмического мониторинга в 2010—2016 гг.

намической и сейсмической активности недр в районах разрабатываемых месторождений углеводородов;

- выявления зон повышенной геодинамической активности и районирования территории;
- распознавания и обработки техногенных и природных сейсмических событий по записям сейсмических станций;
- обработки измерений сдвижений земной поверхности, полученных с применением GNSS на сети фундаментальных реперов;
- построения карты современных движений земной поверхности по результатам измерений;
- моделирования сейсмической активности территории исследований во времени;
- геофизического и сейсмического районирования нефтегазоносных районов;
- моделирования техногенных геодинамических процессов Южного Предуралья и выявления геофизических индикаторов техногенных транс-

формаций геологической среды в районах добычи нефти и газа;

- исследования прогнозных параметров геодинамической активности районов добычи нефти и газа;
- выявления техногенных изменений в геодинамике верхней части земной коры и их последствий;
- выявления закономерностей влияния техногенной активности на напряженно-деформационное и геодинамическое состояние недр в районах недропользования;
- контроля техногенных изменений в динамике земной коры на разрабатываемых месторождениях углеводородов путем создания геодинамических полигонов с использованием глобальных спутниковых навигационных систем и сейсмических станций.

Существует ряд методов контроля состояния движений земной поверхности в естественных условиях и в условиях разработки месторождений полезных ископаемых. Традиционно используются маркшейдерско-геодезические наблюдения по ре-

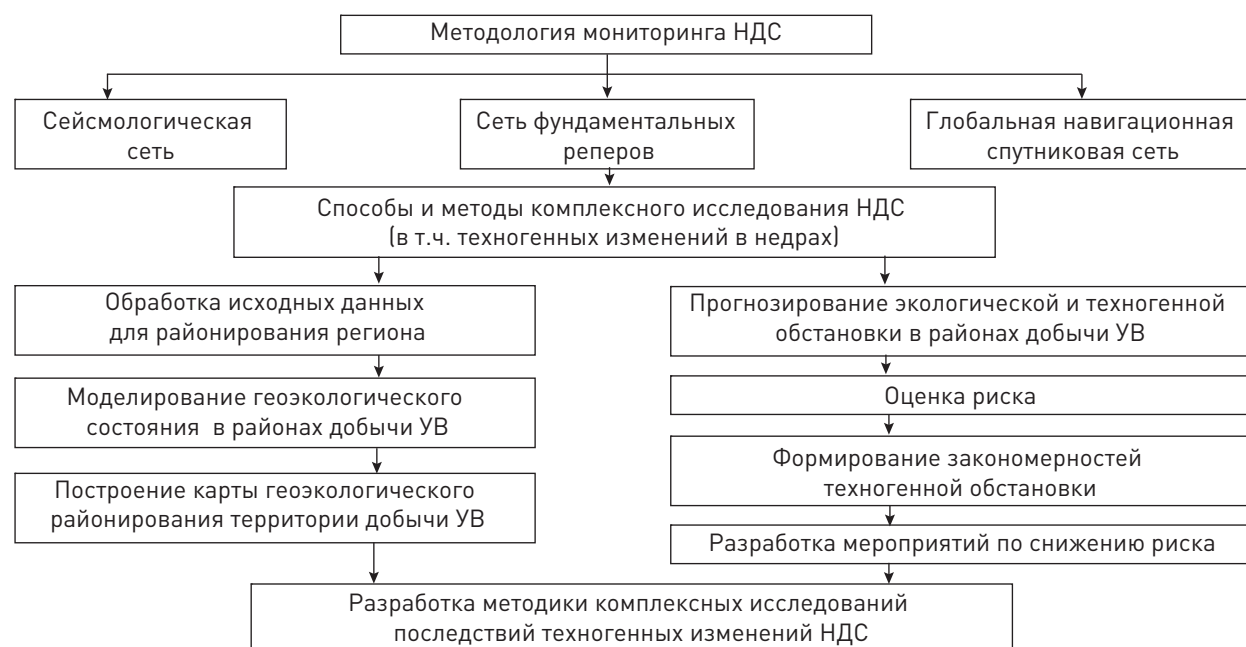


Рис. 3. Методология мониторинга напряженно-деформированного состояния территории

перам профильных линий по методике нивелирования I—II классов для определения оседаний поверхности и измерения длин линий между реперами для определения горизонтальных сдвижений и деформаций. Однако такой подход оказывается практически неприменим на месторождениях нефти и газа и тем более невозможен для мониторинга природных современных геотектонических процессов в региональном масштабе, например в Южном Предуралье. Применение данных методов дорогостояще, занимает весьма продолжительное время и имеет свойство накопления ошибки при увеличении числа ходов.

Точность, надежность, достоверность и репрезентативность повторных наблюдений исключает возможность решения поставленных маркшейдерских задач обеспечения промышленной безопасности и влечет напрасное вложение значительных средств в строительство реперов и выполнение наблюдений.

Для определения горизонтальных и вертикальных сдвижений точек земной поверхности целесообразны спутниковые наблюдения с применением глобальных навигационных спутниковых систем (GPS, ГЛОНАСС, GALILEO). Предварительные исследования, выполненные нами в Отделе гео-

экологии, выявили возможность определения координат точек на земной поверхности с точностью до 3—5 мм в плане и по высоте.

3. Создание геодинамического полигона с заложением сети реперов для высокоточного GNSS-мониторинга

Авторами выполнен анализ современных движений блоков земной коры в Южном Предуралье и выделены участки, имеющие явные признаки такого движения.

Примером такого перемещения нами выбран Кошинский участок Прибортовой зоны Прикаспийской впадины. Он выделен по особенностям смещения русла р. Урал. На участке Ташлинского и Илекского районов отмечаются следы палеорусел р. Урал на расстоянии 8—12 км от современного русла. При этом феномен данного участка заключается в том, что вопреки закону Бэра (в Северном полушарии реки подмывают правый берег) здесь р. Урал постоянно подмывает левый берег, и русло смещается в южном направлении. По нашим представлениям тектонические силы толкают блок в северном направлении и за миллион лет (длительность четвертичного периода) он сместился на расстояние 8—12 км.

Факты подвижек тектонических блоков как в горизонтальных, так и в вертикальных направлениях требуют количественной проверки. В Южном Предуралье первые опыты проведены в 2014—2016 гг. с помощью спутниковых систем высокоточного позиционирования GNSS.

В качестве базовой станции использовалась станция OREN сети референчных базовых станций «Смартнет».

Анализ результатов наблюдений за деформацией земной поверхности на пунктах наблюдения графиков позволяет сделать следующие выводы:

1) на пункте наблюдения полигон МЧС с сентября 2014 по ноябрь 2015 г. произошло понижение земной поверхности на 15 мм, затем в течение следующих шести месяцев произошло воздымание до прежних значений;

2) высотная отметка пункта наблюдения в с. Донецкое имеет устойчивый тренд к понижению. Однако величина изменения высотной отметки пункта за 1,5 года с момента начала измерений невелика и составляет не более 2 см;

3) наблюдения на пункте в п. Южный Урал показывают, что в этом месте происходит воздымание земной поверхности. Величина воздымания незначительна и не превышает 8 мм за период наблюдения.

4. Влияние геодинамической активности на трубопроводные сети

Одним из наиболее опасных факторов экологического и техногенного риска является большая протяженность и количество нефте- и газопроводов. Протяженность только магистральных продуктопроводов в Оренбургской области составляет около 6000 км.

По данным М.Н. Еремина [13], основной причиной возникновения чрезвычайных экологических ситуаций на трубопроводном транспорте являются аварии, одной из основных причин которых являются внешние воздействия по отношению к трубопроводам — деформации земной поверхности, вызванные природными геодинамическими процессами, механические воздействия, связанные с выполнением каких-либо работ в районе трубопроводов и др. Однако статистики причин аварий на трубопроводах не приводится. Геодинамическая активность верхней части земной коры является фактором, провоцирующим порывы и аварии на трубопроводах.

Учет геодинамической активности при строительстве и обслуживании трубопроводов позволит существенно сократить риск и ущерб от аварий на них. По данным за 1985—1998 гг., в ОАО «Оренбургнефть» произошло в среднем в год 0,88 категорированных (представляющих опасность для прилегающих территорий и населения) и более 273 некатегорированных аварий со средним экономическим ущербом 400—500 тыс. долларов США от каждой аварии без учета экологических последствий. По данным А.И. Эльнатанова [14], вероятность разгерметизации магистральных трубопроводов составляет $[1—3] \times 10^{-7}$ м/год, компрессорного и насосного оборудования — 5×10^{-3} апп./год. Повышение надежности трубопроводов и оборудования требует больших затрат, поэтому планирование необходимых мероприятий следует выполнять с учетом уровней геодинамической активности.

Заключение

Комплексные исследования геодинамической и сейсмической активности в Южном Предуралье позволили выявить и исследовать закономерности формирования современных геотектонических процессов в естественных и антропогенно измененных условиях. Слоисто-блоковое строение земной коры приводит к неоднородному распределению напряжений и к их концентрации в местах контактов блоков. Основное влияние на природное напряженно-деформированное состояние недр Земли оказывают гравитационные силы и тектонические процессы. Разработанная методология мониторинга НДС геологической среды с использованием глобальных спутниковых навигационных систем (GNSS) и сейсмических станций основана на комплексном подходе, учитывающем взаимовлияние геологических структур, динамики гидрогеосистемы, добычи полезных ископаемых и напряженно-деформированного состояния среды. Сравнительный анализ геологического строения, системы разломов, динамики подземных вод, сдвижения земной поверхности, напряженности и сейсмичности позволил районировать территорию региона по геодинамической и сейсмической активности.

Литература

1. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Шахова Е.В. Исследования активности платформенных территорий с использованием микросейсм. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 130 с.

2. Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы: Монография. М.: Наука, 2005. 340 с.
 3. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИДГ РАН, 2005. 252 с.
 4. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 224 с.
 5. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация / Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. М.: Наука, 2006. 254 с.
 6. Закон Российской Федерации «О недрах» № 2395-1 от 21.02.1992 (ред. от 30.12.2012).
 7. Постановление Правительства РФ от 28.03.2012 № 257 «О лицензировании производства маркшейдерских работ».
 8. РД 07-408-01 «Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр». Постановление Госгортехнадзора России от 22.05.2001 № 18. Зарегистрировано в Минюсте России 05.06.2001. Регистрационный № 2738.
 9. РД 07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ». Постановление Госгортехнадзора РФ от 06.06.2003 № 73. По заключению Минюста РФ от 23.06.2003 № 07/6397-ЮД настоящий приказ не нуждается в государственной регистрации.
 10. Никонов А.А. Каталог тектонических землетрясений Центральной части Восточно-Европейской платформы // Геодинамика и геоэкология. 1999. С. 271—273.
 11. Нестеренко М.Ю. Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 137 с.
 12. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). Екатеринбург: УрО РАН, 2015. 265 с.
 13. Еремин М.Н. Прогноз, оценка и управление авариями на трубопроводном транспорте. Оренбург: Изд. ОГУ, 2000. 222 с.
 14. Эльнатанов А.И. Применение оценки риска при проектировании зданий и сооружений нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий // Проблемы анализа риска. 2008, Т. 5, № 2. С. 26—34.
- научного центра Уральского отделения Российской академии наук, член Оренбургского регионального отделения Российского общества анализа риска
Количество публикаций: 110
Область научных интересов: геодинамика, геотектоника, сейсмология, геоэкология, математическое моделирование природных процессов
Контактная информация:
Адрес: 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, д. 29, Отдел геоэкологии ОНЦ УрО РАН
Тел.: (3532) 678100
E-mail: n_mu@mail
- Карпюк Михаил Степанович:** кандидат военных наук, доцент, председатель Оренбургского регионального отделения Российского общества анализа риска
Количество публикаций: более 50
Область научных интересов: риски ЧС, управление рисками, безопасность жизнедеятельности населения и территорий
Контактная информация:
Адрес: 460040, г. Оренбург, проспект Гагарина, д. 23А, кв. 152
Тел.: +7 (3532) 35-88-31
E-mail: riski_mchs@mail.ru
- Цвяк Алексей Владимирович:** кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела геоэкологии Оренбургского научного центра Уральского отделения Российской академии наук
Количество публикаций: 55
Область научных интересов: геодинамика, геотектоника, GNSS-технологии, геоэкология
Контактная информация:
Адрес: 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, д. 29, Отдел геоэкологии ОНЦ УрО РАН
Тел.: (3532) 77-56-70
E-mail: tsviak@rambler.ru
- Капустина Оксана Александровна:** кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой автоматизированных систем и управления Института риска Оренбургского государственного аграрного университета
Количество публикаций: 40
Область научных интересов: сейсмология, геоэкология, математическое моделирование природных процессов, техносферная безопасность
Контактная информация:
Адрес: 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18. ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ
Тел.: (3532) 77-06-60
E-mail: onica1@yandex.ru

Сведения об авторах

Нестеренко Максим Юрьевич: доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией геодинамики и водных систем Южного Урала Оренбургского