

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

*На правах рукописи*

**ТОМИЛЕВ ДАНИИЛ ЕВГЕНЬЕВИЧ**

«Особенности сейсмической активности геосреды и моделирование  
разломных зон в условиях наведенной сейсмичности (на примере о.  
Сахалин)»

05.06.01 «Науки о Земле»

25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

**НАУЧНЫЙ ДОКЛАД**

Южно-Сахалинск – 2018

Оборотная сторона

## Общая характеристика работы

### Актуальность темы исследования

Крупные сейсмические процессы, протекающие в земной коре земли, безусловно, представляют большую опасность для социальной и экономической жизни населения. Не меньшую опасность представляют повторные сейсмические события, меньшей интенсивности по сравнению с главным сейсмическим ударом, – афтершоки.

За последние четырнадцать лет на территории Сахалина произошли серии ощутимых землетрясений: Такойский рой 2001 г. ( $M_w = 5.2$ ), Костромское 2004 г. ( $M = 4.8$ ), Пильтунское 2005 г. ( $M_w = 5.6$ ), Горнозаводское 2006 г. ( $M = 5.6$ ), разрушительного Невельское 2007 г. ( $M_w = 6.2$ ), Чаплановское 2009 г. ( $M = 4.7$ ), Перевальский рой 2013 – 2017 г ( $M_L = 4.3$ ), Онорское 2016 г. ( $M_w = 5.8$ ). Рассматривая сахалинские землетрясения и их афтершоковые последовательности, как проявления единого или схожего геодинамического процесса, можно изучить общие закономерности релаксации напряженного состояния среды.

Детальные сейсмологические наблюдения, осуществляемые на территории Сахалина вблизи очаговых зон землетрясений, дают огромные материалы для исследования. Качественные каталоги землетрясений дают возможность исследовать афтершоковые процессы.

Моделирование и прогнозирование афтершоковых последовательностей землетрясений является одним из важнейших направлений исследований в области сейсмического прогноза [Моделирование и прогнозирование афтершоковых ....., 2015]. Кроме того, переходной режим сейсмического процесса является откликом геологической среды на воздействия различного происхождения, выводящие её из стационарного состояния. Выявление закономерностей переходного режима ведёт к пониманию действующих в среде физических механизмов, отвечающих за различные аспекты проявления геодинамического процесса.

Особый интерес представляет изучение релаксационных (афтершоковых) процессов, являющихся откликом разрушения горных пород.

На территории острова Сахалин наиболее распространены тектонические и техногенные землетрясения. Техногенные землетрясения происходят в результате инженерной деятельности человека. Данный вид сейсмичности включает в себя как возбуждение, так и инициирование сейсмических процессов. Понимание механизмов возникновения сейсмичности может быть использован в изучении естественной сейсмичности.

Данная работа посвящена исследованию напряжённно-деформированного состояния геосреды в режиме нагнетания флюидов, а также афтершоковых последовательностей землетрясений, построению трёхмерной модели очага землетрясения (на примере Оморского землетрясения).

**Целью** данной работы является сбор и анализ макросейсмических и инструментальных данных о землетрясениях для построения объективной трёхмерной модели очага Оморского землетрясения, а также моделирование и анализ параметров флюидонасыщенной напряжённно-деформированной геосреды.

Для достижения этой цели в работе необходимо было выполнить следующие **задачи**:

1. Провести моделирование напряжённно-деформированного состояния в флюидогеосреды при закачке/откачке;
2. Создать программные средства автоматизации и визуализации, обработки данных афтершоковых последовательностей;
3. Сформировать базы данных (каталогов) землетрясений на территории острова Сахалин;
4. Установить временные свойства афтершоковых процессов.

**Объектом** исследования являются релаксационные (афтершоковые) процессы, являющиеся откликом разрушения горных пород.

**Предметами** исследования являются афтершоковый процесс и напряжённое состояние геосреды.

#### **Научная новизна работы**

Установлена согласованность среднемировой модели затухания параметров сильных грунтов Abrahamson and Silva, 2008 с измеренными значениями пиковых ускорений в широком диапазоне эпицентральных расстояний, от 20 до 500 км. Получены уникальные данные об интенсивности, которые послужат унификации местной шкалы макросейсмической интенсивности. Получено первое приближение параметров флюидонасыщенной напряженно-деформированной геосреды в районе Пильтун-Астохского месторождения.

#### **Научная новизна работы**

Получены уникальные данные об интенсивности, которые в совокупности с последующими данными данного характера помогут унифицировать местную шкалу макросейсмической интенсивности в приложении к сейсморайонированию.

Установлена согласованность среднемировой модели затухания параметров сильных движений грунта Abrahamson and Silva, 2008 с измеренными значениями пиковых ускорений в широком диапазоне эпицентральных расстояний, от 20 до 500 километров.

Получено первое приближение напряженно-деформированного состояния флюидонасыщенной геосреды в режиме закачивания и извлечения флюидов в пласте 1500 – 2250 метров в районе добычи углеводородов Пильтун-Астохское, путём численного моделирования.

**Достоверность результатов**, представленных в настоящей работе, определена использованием надежной аппаратуры и её систематической

калибровкой, большой длительностью наблюдений, качеством и представительным объемом экспериментальных данных, стандартными методиками обработки данных.

### **Личный вклад**

Автор работы выполнил анализ параметров афтершоковой активности Оморского землетрясения на основе сформированной им базы данных землетрясений (каталога) острова Сахалина на основе инструментальных данных с применением геоинформационных систем. Вместе с соавторами участвовал в подготовке научных публикаций по теме работы.

### **Апробация работы**

Результаты по теме научно-квалификационной работы докладывались и обсуждались на VI Сахалинской молодёжной научной школе «Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз».

### **Публикации**

По теме научно-квалификационной работы опубликовано 6 научных работ в рецензируемых журналах.

### **Структура и объём научно-квалификационной работы**

Научно-квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, состоящего из 55 наименований. Работа содержит 75 листов машинного текста, 13 рисунков, 3 таблиц.

## **Структура научно-квалификационной работы**

Объем научно-квалификационной работы составляет 80 листов.

Научно-квалификационная работа состоит из трёх глав. В первой главе обсуждаются теоретические основы сейсмического процесса. В частности: история сейсмологических наблюдений Дальнего Востока, важность сейсмомониторинга естественной и наведённой сейсмичности, построение и развитие сети сейсмостанций на Дальнем Востоке, использование геоинформационных систем для обработки и визуализации вспомогательных материалов, обсуждаются особенности и проблемы при выявлении характеристик землетрясений, а так же их классификация.

Третья глава называется «Анализ сейсмического процесса и флюидодинамические факторы влияния». В данной главе автор вкратце описывает методологию статистического и математического описания афтершоковых последовательностей, демонстрирует апробацию данной методологии на примере Онокского землетрясения. Так же в данной главе приводятся в качестве примера две модели описания геосреды (жёсткий каркас - флюид) и приводит результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния геосреды.

Количество используемой литературы в объёме 54 источника, включая интернет источники.

В работе фигурируют 24 рисунка и 3 таблицы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее десятилетие на севере о. Сахалин ведутся интенсивные работы по развитию нефтегазодобывающей отрасли. При этом районы промышленной разработки шельфовых нефтегазовых месторождений и подавляющая часть сопутствующей инфраструктуры расположены в зоне активных тектонических нарушений разного ранга и возраста, выявленных по результатам многочисленных геолого-геофизических исследований. Необходимо, чтобы результаты, полученные в данной работе, были востребованы для уточнения сейсмического потенциала шельфа о. Сахалин и будут учитываться при инженерно-сейсмологических изысканиях.

Вместе с тем, опыт, полученный в данной работе, можно в дальнейшем применять для выработки объективных критериев распознавания сейсмичности, которая может возникнуть в районе нефтегазовых месторождений северо-восточного шельфа о. Сахалин в результате их многолетнего промышленного освоения.

В результате выполненных в работе исследований получены следующие **результаты**:

1. Полученная форма закона Омори может быть выражена через переменные  $b$ ,  $m_{ms}$ ,  $\Delta m$ ,  $c(m)$  и  $p$  в уравнении  $c(m) = c(m^*) 10^{\frac{\beta-b}{p-1}(m_{ms}-\Delta m^*-m)}$ , что качественно отражается на результатах исследования и упрощает вычислительную трудоёмкость.

Исследование показателей затухания для афтершоков больших Калифорнийских землетрясений показали обратную зависимость между величинами  $c(m)$  и  $m$ . Постоянный темп сейсмической активности сохраняется дольше для меньших значений магнитуды.

Использование обобщенного закона Омори, дает возможность предсказать наиболее вероятный интервал времени с момента главного толчка для возникновения сильнейшего афтершока, при условии, что мы принимаем модель сейсмогенерирующей области с заданными переменными  $b$ ,  $p$ ,  $\beta$  и  $\Delta t^*$ .

2. Показано, при выполненном анализе параметров сильных движений грунта и макросейсмических проявлений, что среднемировая модель затухания параметров сильных движений грунта Abrahamson and Silva 2008 хорошо согласуется с измеренными значениями пиковых ускорений в широком диапазоне эпицентральных расстояний, от 20 до 500 км. На основе этого построены прогнозные карты интенсивности с учетом нелинейного отклика грунта.
3. Впервые для Сахалина получены отклики об интенсивности колебаний по шкале MMI, которые представляют интерес для унификации местной шкалы макросейсмической интенсивности в приложении к сейсморайонированию.
4. Получены новые результаты компьютерных расчетов поля напряжений вблизи разлома. Результаты численного моделирования показывают, что расчетная величина избыточных касательных напряжений через 10 лет закачки жидкости и извлечения флюидов составляет порядка 0.045 МПа на глубине 5 км. При этом на 10-м году полное смещение в зоне разлома достигает 7 мм на свободной поверхности.

**Список работ, в которых опубликованы основные положения научно-квалификационной работы**

1. Dr. Andrey Zabolotin, Dr. Alexey Konovalov, Dr. Andrey Stepnov, Researcher Andrey Sychov, Postgraduate Daniil Tomilev. ACTIVATION OF FLUID INJECTION-INDUCED TRIGGERED SEISMICITY // Applied and Environmental Geophysics
2. Zabolotin , A.V. Konovalov , A.A. Stepnov , A.S. Sychov , D.E. Tomilev. Fluid Injection Induced Seismicity in the Oil and Gas Field Areas: Monitoring and Modelling //Mechanics, Materials Science & Engineering, May 2016 – ISSN 2412-5954
3. Заболотин А. Е., Томилев Д. Е. Моделирование напряженно-деформированного состояния разломной зоны при закачке/откачке жидкости //Геосистемы переходных зон.
4. Konovalov A. V. et al. The  $M_w=5.8$  14 August 2016 middle Sakhalin earthquake on a boundary between Okhotsk and Eurasian (Amurian) plates //Journal of Seismology. – 2018. – С. 1-13.
5. Томилев Д.Е., Заболотин А.Е., Коновалов А. В. Новые методы моделирования сейсмических процессов при нагнетании жидкости.//Сборник материалов VI Сахалинской молодёжной научной школы «Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз». – 2016 – С. 209.
6. Коновалов А.А., Заболотин А.Е., Степнов А.А, Томилев Д.Е. Мониторинг и моделирование наведённой сейсмичности. //Сборник материалов VI Сахалинской молодёжной научной школы «Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз». – 2016 – С. 180.