



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИЗК СО РАН

доктор геол.-мин. наук

/ Д.П. Гладкочуб /

11 ноября 2015 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию **СТЕПНОВА Андрея Александровича**

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ДЛЯ

АНАЛИЗА СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРНОГО САХАЛИНА

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация А.А. Степнова посвящена исследованию современной сейсмичности региона с высокой степенью тектонической активности, в котором ведется активная разработка нефтегазовых месторождений. Техногенное воздействие на геологическую среду приводит к возбуждению сейсмической активности. Поиск взаимосвязи между параметрами техногенного воздействия и откликом геологической среды на это воздействие обусловлен фундаментальным научным интересом. Исходным материалом для подобных исследований служат каталоги сейсмических событий, которые можно получить только с помощью высокочувствительной сети сейсмических станций и современных средств обработки инструментальных данных.

Помимо вызываемого фундаментального научного интереса, эта область имеет большие практические перспективы, связанные с оперативным мониторингом сейсмичности и прогнозом сейсмических проявлений в зонах высокого риска экологических катастроф. Таким образом, **актуальность темы** диссертационной работы не вызывает сомнений.

Целью работы является создание системы сейсмического мониторинга для выявления закономерностей пространственно-временного распределения очагов землетрясений и разломов на севере о. Сахалин в условиях интенсивной разработки нефтегазовых месторождений.

Сочетание тематики исследований и разработок, формулировки целей, используемых методов и подходов к решению задач, области практического приложения результатов подтверждает, что данная **диссертация соответствует специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых**, по которой она представлена к защите.

Структура и содержание диссертации. Диссертация А.А. Степнова содержит 135 страниц текста, включая 42 рисунка и 7 таблиц. Она состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 147 ссылок.

Во Введении формулируется цель диссертации, аргументируется ее актуальность, научная новизна и практическая значимость. Представлены выносимые на защиту научные положения, а также сведения о публикациях автора по теме диссертации, апробации работы и исходном материале.

Первая глава посвящена обзору известных случаев возникновения индуцированной и триггерной сейсмичности, напрямую связанной с промышленным освоением месторождений нефти и газа. Обзор содержит достаточно полный анализ современного состояния в области исследования наведенных землетрясений. Выполнен критический обзор существующих в мировой практике программных продуктов и открытых систем для анализа и обработки сейсмологических данных. Определены сильные и слабые стороны каждой системы. Рассмотрены существующие в мировой сейсмологической практике методы локализации очага, имеющие программные реализации на базе открытого исходного кода, приведено математическое описание каждого метода.

Во Второй главе рассмотрены особенности разработки автоматизированной системы сбора, передачи, хранения и обработки сейсмологических данных на Северном Сахалине. Представлена концепция развития автоматизированной системы детальных сейсмологических наблюдений на базе разработанной уникальной архитектуры системы, определены технические требования к системе. Показано, что созданная система отличается высоким функциональным уровнем, высокой надежностью, возможностью прозрачного масштабирования. Разработка технологических компонент системы выполнена на базе современного и свободно распространяемого программного обеспечения с открытым исходным кодом.

В Третьей главе рассмотрены особенности конфигурации разработанной системы сейсмического мониторинга для условий Северного Сахалина. Проанализированы погрешности определения координат гипоцентра и магнитуды сейсмических событий, дана оценка представительности данных, представлены результаты апробации подсистемы автоматических определений. Также дана оценка регистрационных возможностей сети сейсмологических наблюдений, обоснована высокая точность и представительность данных, используемых в дальнейшем для анализа.

В Четвертой главе проанализирована современная сейсмичность Северного Сахалина и его восточного шельфа в привязке к активным геологическим структурам. Детально рассмотрена очаговая зона сильного землетрясения, произошедшего в районе промышленного освоения месторождения нефти и газа.

Обобщены результаты исследования очаговых зон сильных землетрясений. Установлено, что в очаговых зонах сильных землетрясений на севере о. Сахалин наблюдаются повторные землетрясения спустя несколько месяцев и далее спустя несколько лет после главного события. Магнитуда указанных событий сопоставима либо превосходит магнитуду сильнейшего афтершока первых суток.

В Заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна исследования

Впервые на Сахалине организована сеть сейсмического мониторинга и внедрены современные методы и технологии обработки данных в районе месторождений нефти и газа на севере о. Сахалин до начала активной фазы промышленной эксплуатации. Впервые получены и проанализированы данные о местной слабой сейсмичности Северного Сахалина.

Практическая значимость работы. Возможность возникновения техногенных природных катастроф при добыче углеводородов в шельфовых зонах приводит к необходимости проведения сейсмического мониторинга для своевременного выявления признаков подготовки сильных землетрясений. Если такие явления произойдут, то система мониторинга позволит получить эмпирические данные, которые могут заложить основу для внесения рекомендаций в существующие СНиПы. Актуальность подобных исследований связана также с необходимостью предотвращения возможных экологических катастроф, связанных с движениями грунта, возникающими при наведенной сейсмичности, что обосновывает высокую практическую значимость проделанной работы.

Достоверность и научная обоснованность работы обеспечивается тщательной настройкой системы сейсмического мониторинга, многочисленными испытаниями и проверками на устойчивость программно-технических компонент, применением апробированных методов, а также согласием полученных результатов с результатами исследований других авторов.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Вызывает сомнение представленная в разделе 4.5 аргументация выделения в отдельный самостоятельный тип так называемых “повторных землетрясений” – в частности, при Тымовском и Охинском местных землетрясениях. Для такого выделения имеющаяся статистика явно недостаточна, к тому же нет приемлемого физического объяснения физических условий возникновения подобных толчков. Схожие случаи возникновения постсейсмических событий, например, фиксируются и в пределах Байкальской рифтовой зоны.

2. Не бесспорны формулировка и смысл 3-го защищаемого положения. В разделе 3.1, где рассматриваются модели техногенной сейсмичности при

эксплуатациях месторождений, автором используется, на наш взгляд, неоднозначный по смыслу тезис: “энергия триггерных событий не может быть выше энергии землетрясений естественного происхождения”. Возникает вопрос - возможно ли современными инструментальными измерениями оценить верхнее значение энергии будущих потенциальных землетрясений, если ряды сейсмических наблюдений исчисляются всего несколькими десятками лет, а повторяемость многими сотнями лет?

3. Автором на с.с. 17 и 33 при обсуждении давно используемого критерия Кулона-Мора сделано заявление, что сцеплением τ_0 , связанным с влиянием шероховатости флюидонасыщенного разлома, “обычно можно” пренебречь. В этом стоит усомниться, поскольку в последние два десятилетия российскими специалистами Института динамики геосфер РАН (Москва), Института физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), а также Института земной коры СО РАН (Иркутск) экспериментально показано, что ключевую роль в изменениях сдвигового сопротивления играет фрикционное трение при контактном взаимодействии неровностей (асперити) в разломах. На различных глубинах в разломах роль флюидов различного состава и РТ-условий проявляется в эффектах смазки - твердой, жидкой или комбинированной. Она при контактном скольжении неровностей весьма существенным образом влияет на режимы скольжения и эффективность генерации сейсмических импульсов на фоне деструктивных процессов разрушения неровностей. Роль флюидов в глубинных сегментах разломов проявляется не в распирающем стенки разрывов воздействии, а в преобразовании горных пород в условиях стресс-метаморфизма и возникновения на контактах новообразованных минералов, снижающих сопротивление сдвигу и способствующих возникновению быстрой сейсмогенной подвижки.

4. Во втором защищаемом положении содержится следующая формулировка: «Обоснована точность определений параметров гипоцентров землетрясений ($ML \geq 0$): погрешность в определениях широты ($\Delta\phi$), долготы ($\Delta\lambda$) эпицентра и глубины очага (ΔH) для 80% зарегистрированных событий не превышает 10 км». Эта же формулировка содержится и в подразделе 3.4 (выводы к главе 3). Возможно, не стоит смешивать погрешность определения координат эпицентра ($\Delta\phi$, $\Delta\lambda$) и погрешность определения глубины очага (ΔH), указывая для них одно и то же значение – 10 км. Оценка глубины очага, как правило, производится с большей ошибкой, нежели определение координат эпицентра. Заметим, что в Таблице 4, содержащей перечень автоматически зарегистрированных землетрясений, значение погрешности (в градусах) приводится только для координат эпицентра.

5. В тексте работы неоднократно указывается на возможность возникновения наведенных землетрясений вблизи разрабатываемых нефтегазовых месторождений Северного Сахалина. Далее, в подразделе 3.2, говорится, что на этой территории за

период с сентября 2006 г. по апрель 2015 г. было зарегистрировано более 1860 сейсмических событий. Возможно, стоило проанализировать этот каталог в аспекте выявления наведенных событий и отразить результат (положительный или отрицательный) в работе, тем более что на странице 8 автор пишет: «результаты в области оценки параметров фоновой (естественной) сейсмичности позволяют выработать объективные критерии для распознавания наведённой (триггерной) сейсмичности».

Рекомендации к работе

Разработанная автором диссертационной работы автоматизированная система сбора и анализа сейсмологической информации предполагает обработку инструментальных данных локальной и отчасти региональной сетей сейсмических станций. С поставленной задачей автор успешно справился, однако имеет смысл включить в систему возможность сбора макросейсмической информации посредством интерактивного анкетирования. Интерактивные опросные листы в настоящее время используются многими мировыми сейсмологическими агентствами, в том числе Камчатским и Байкальским филиалами ГС РАН. Макросейсмические данные, собранные при будущих землетрясениях, могли бы оказаться полезными при уточнении сейсмической опасности и сейсмическом районировании территории Сахалина.

Для повышения эффективности использования разработанных автором инструментов накопления и анализа сейсмологической информации в дальнейшей работе целесообразно применять современные подходы в области ситуационного моделирования для более обоснованных оценок степеней сейсмической опасности в районах освоения месторождений углеводородов.

Необходимо также расширить пояснение условных знаков в подписях к некоторым рисункам (4, 6, 7, 17, 20, 21, 25) и избегать обозначений в рисунках на английском языке.

В заключение отметим, что в качестве полезных практических приложений результаты диссертации могут быть использованы в системах сейсмического мониторинга различного масштаба, в том числе в ведомствах по чрезвычайным ситуациям и охраны окружающей среды. Каталог землетрясений, представляющий интерес для прикладных и фундаментальных научных исследований, опубликован на сайте ИМГиГ ДВО РАН и может быть востребован исследователями различных научных организаций.

Высказанные замечания не умаляют достоинств работы, в целом выполненной на высоком научном уровне. Диссертация А.А. Степнова «Комплексная автоматизированная система мониторинга для анализа современной

сейсмичности Северного Сахалина» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., в части, касающейся диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. На этом основании соискатель Степнов Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Председатель Ученого совета
ИЗК СО РАН
д.г.-м.н. Д.П. Гладкочуб

Рецензенты:

главный научный сотрудник лаб. тектонофизики,
д.г.-м.н. Валерий Васильевич Ружич
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, ИЗК СО РАН
Тел.: (3952)422776
e-mail: ruzhich@crust.irk.ru

старший научный сотрудник лаб. современной геодинамики,
к.г.-м.н. Ян Борисович Радзиминович
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, ИЗК СО РАН
Тел.: (3952)429534
e-mail: ian@crust.irk.ru

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128. Телефон: 8 (3952) 427000. Факс: 8 (3952) 426900, 427000. Email: log@crust.irk.ru, сайт <http://www.crust.irk.ru>

