

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**на диссертационную работу Степнова Андрея Александровича  
«Комплексная автоматизированная система мониторинга для анализа  
современной сейсмичности Северного Сахалина», представленную на  
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 25.00.10 - геофизика, геофизические методы поисков  
полезных ископаемых**

Диссертационная работа А.А. Степнова посвящена исследованию современной сейсмичности Северного Сахалина и прилегающего северо-восточного шельфа – района с активной сейсмотектоникой и сложной экологией, в пределах которого уже около 20 лет осуществляется интенсивная разработка крупных нефтегазовых месторождений в рамках проектов «Сахалин-1» и «Сахалин-2».

### **Актуальность темы исследований**

Гипотеза о влиянии техногенной деятельности по добыче нефти и газа на процессы подготовки и возникновения землетрясений имеет широкое распространение, и ее успешное разрешение имеет как фундаментальное, так и практическое значение. Однако существующие представления о причинах и механизмах техногенной сейсмичности в районах добычи нефти и газа неполны и противоречивы, в том числе и из-за недостатка данных долговременных наблюдений за сейсмическим режимом на всех этапах разработки месторождений. Поэтому создание системы сейсмологического мониторинга на севере Сахалина, где разработка шельфовых месторождений нефти и газа ведется на фоне повышенной сейсмической активности после разрушительного Нефтегорского землетрясения 27 мая 1995 г., является **актуальным исследованием.**

Созданная автоматизированная система мониторинга, несомненно, позволит накопить ценный кондиционный материал для количественного описания фоновой сейсмичности региона, а в дальнейшем, по мере

истощения месторождений и накопления данных о поведении сейсмичности, и для проверки основной гипотезы.

Выбор соискателем тематики исследований, формулировка **цели и задач работы**, методологии и методов исследований, практического использования результатов подтверждают, что данная **диссертация соответствует** заявленной **специальности 25.00.10** – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа содержит 135 стр. текста, 7 таблиц и 42 рисунка. Она включает Введение, четыре главы, Заключение и Список литературы, насчитывающий 147 наименований.

**Во Введении** сформулированы цели и задачи диссертации, основные защищаемые положения, обосновывается актуальность темы исследований, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В содержательной части работы можно выделить следующие результаты, полученные соискателем:

**В первой главе** дан краткий обзор существующих представлений о типах и возможных механизмах техногенных землетрясений при разработке месторождений нефти и газа, приведены известные случаи проявления наведенной и триггерной сейсмичности в процессе эксплуатации месторождений и рассмотрены модели, предложенные различными авторами для объяснения наблюдавшихся проявлений техногенной сейсмичности. Следует отметить детальный критический анализ современного программного обеспечения для сейсмологических наблюдений и обработки данных и краткую сводку методов определения основных параметров землетрясений с использованием различных программных модулей с открытым исходным кодом.

**Вторая глава** посвящена разработке концепции развития автоматизированной системы (АС) детальных сейсмологических наблюдений и технических требований к различным элементам системы, а также

разработке уникальной архитектуры комплексной АС мониторинга и практической реализации системы в условиях Северного Сахалина. Следует отметить, что, благодаря модульному принципу организации АС, система допускает возможность дальнейшего дополнения и развития.

**В третьей главе** проведен анализ погрешностей определения основных параметров для землетрясений Северного Сахалина с учетом особенностей скоростного строения среды, конфигурации сети станций и уровня шумов на станциях. Показано, что каталог землетрясений региона, зарегистрированных за период 2006-2015 гг., является представительным с магнитуды  $M_L \geq 2$ . Приведены результаты апробации модулей автоматической обработки данных и дано их сравнение с результатами ручной обработки, а также продемонстрированы регистрационные возможности созданной системы мониторинга.

**В четвертой главе** на базе материалов, накопленных с помощью АС, анализируется текущая сейсмическая обстановка района Северного Сахалина и прилегающего шельфа. Детально обсуждается пространственное распределение слабых землетрясений с  $M_L \geq 2$ , соотношения между сейсмичностью, активными разломами региона и очаговыми областями сильных землетрясений. Особое внимание уделено проявлениям сейсмической активности на шельфе, в частности, сильнейшему Пильтунскому землетрясению 12.06.2005 г. с магнитудой  $M_w = 5.6$ , неожиданно высокой активности зоны Восточно-Сахалинского разлома. Представляют интерес группирование слабых землетрясений в зонах активных разломов и особенности развития афтершоковых последовательностей нескольких сильных землетрясений с  $M_L \geq 5$ .

**В Заключении** сформулированы основные результаты работы.

### **Научная новизна**

Научная новизна работы состоит в том, что впервые на Сахалине разработана и запущена в работу автоматизированная система непрерывного сейсмического мониторинга с использованием современных методов и

технологий обработки данных в районе разработки крупных месторождений нефти и газа на шельфе до начала активной фазы их промышленной эксплуатации.

Впервые получены данные о пространственном распределении слабых землетрясений Северного Сахалина и их отчетливом группировании вдоль зон активных разломов.

Впервые для Сахалина выявлена тенденция возникновения в очаговых зонах сильных землетрясений повторных толчков с магнитудой, сравнимой или большей магнитуды сильнейшего афтершока первых суток, спустя несколько месяцев после главного толчка.

### **Достоверность и научная обоснованность**

Достоверность и научная обоснованность исследования подтверждается использованием известных и апробированных методов и технологий сбора, передачи и обработки данных сейсмических наблюдений, тонкой настройкой автоматизированной системы сейсмического мониторинга в реальных условиях функционирования, неоднократными испытаниями и проверками работы различных модулей и блоков системы и, наконец, согласием полученных результатов обработки с данными других авторов.

### **Научная и практическая значимость работы**

Научная значимость данного исследования состоит в том, что оно вносит заметный вклад в решение проблемы выявления техногенной сейсмичности в процессе разработки месторождений нефти и газа на шельфе Сахалина. Накопление данных о проявлениях сейсмичности на разных стадиях эксплуатации месторождений будет способствовать разрешению основной гипотезы о роли техногенного воздействия на процессы подготовки и возникновения сильнейших землетрясений региона.

Необходимость проведения сейсмического мониторинга обусловлена повышенным риском возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций в результате естественных или наведенных землетрясений. Следует отметить,

что с 2014 г. в СНиП II-7-81\* включено требование об обязательном проведении геодинамического мониторинга (включая сейсмический) в районах постановки морских нефтегазовых сооружений. Система мониторинга поможет в своевременном предупреждении о возможных опасностях и в предотвращении возможных экологических бедствий. В настоящее время созданная система мониторинга успешно функционирует в непрерывном режиме в ИМГиГ ДВО РАН, а результаты расчетов параметров землетрясений в оперативном режиме передаются в ГУ МЧС РФ по Сахалинской области.

### **Замечания по работе**

1. Формулировка 2-го защищаемого положения подразумевает, что погрешность определений широты и долготы эпицентра и глубины очага практически одинакова. Однако, вследствие меридионального расположения станций сети, погрешность оценки долготы в общем случае будет больше, чем погрешность оценки широты, что и показано, например, в разделе 3.2 и на рис. 33 (с. 101). Погрешности, по-видимому, будут близки лишь в узкой области внутри сети. В связи с этим, было бы полезно выяснить, нет ли массового смещения эпицентров по долготе на шельфе.

2. В работе ничего не сказано об удалении возможных взрывов из сетевого каталога землетрясений. Известно, что это общая беда почти всех каталогов слабых землетрясений Дальневосточного региона. Присутствие большой доли взрывов может сильно исказить картину распределения слабой сейсмичности.

3. В главе 4 проводится сопоставление пространственного распределения землетрясений, зарегистрированных сетью мониторинга, с глубинными разломами, выделяемыми В.В. Харахиновым [2010], но ничего не сказано о соотношениях сейсмичности с разломами, выявленными на севере Сахалина целым рядом исследователей (А.И. Кожурин, Е.А. Рогожин и др.) и активными в течение голоцена.

4. В разделе 1.1, с. 16 утверждается, что «Интенсивность возможных искусственно вызванных землетрясений не может быть выше интенсивности землетрясений естественного, не связанного с добычей, происхождения». Но на с. 23, где обсуждается возможная природа Газлийских землетрясений 1976 и 1984 гг. с магнитудами 7.3 и 7.2, соответственно, говорится, что «В рассматриваемом случае эксплуатация месторождения газа оказала триггерное воздействие на сейсмичность». Никаких более сильных землетрясений естественного происхождения в районе Газли не было ни до, ни после этих событий.

5. В работе повсюду встречается необычное цитирование ссылок с полным указанием всех реквизитов по каждой ссылке. Возможно, это в каком-то смысле удобно, но с другой стороны иногда сильно загромождает текст, особенно в обзорных разделах. Целесообразно все-таки придерживаться общепринятого стиля цитирования.

6. На многих рисунках надписи сделаны на английском языке, что нежелательно при защите диссертации на русском языке.

### **Рекомендации к работе**

Основная рекомендация состоит в том, что необходимо переходить ко второму этапу организации системы сейсмического мониторинга для месторождений нефти и газа на шельфе Сахалина, а именно к постановке морских донных станций, что позволит увеличить число регистрируемых слабых землетрясений на шельфе и улучшить качество определения основных параметров толчков. Следует напомнить компаниям-операторам нефтегазовых проектов, что второй этап организации системы мониторинга с постановками донных сейсмических станций предполагалось реализовать с их помощью через 10 лет после начала первого этапа.

### **Заключение**

Высказанные замечания не умаляют главных достоинств работы, в целом выполненной на высоком научном уровне. Автореферат полностью соответствует тексту диссертации.

Диссертация А.А. Степнова выполнена на актуальную тему, характеризуется научной новизной, содержит решение ряда задач по созданию комплексной системы мониторинга на севере Сахалина и является завершенной научно-квалификационной работой, имеющей существенное значение в области сейсмологии и для решения практических задач по снижению риска природных катастроф. Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для ученой степени кандидата наук, а соискатель А.А. Степнов достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

#### **Официальный оппонент**

ведущий научный сотрудник лаборатории цунами имени С.Л. Соловьева ФГБУН Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, кандидат физико-математических наук

Алексей Илларионович Иващенко

тел.: 8-499-124-8713 (раб.); 8-915-196-1421 (моб.)

E-mail: [aiz\\_imgg@mail.ru](mailto:aiz_imgg@mail.ru)

117997, Москва, Нахимовский проспект, д.36

#### **Подпись А.И. Иващенко заверяю:**

Ученый секретарь ФГБУН Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, кандидат геолого-минералогических наук



Мария Михайловна Марина