



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН

чл. корр. РАН

И.Н. Болотов

«26» марта 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук

на диссертационную работу Зуевой Ирины Александровны
«Идентификация сейсмических событий на территории Карелии»,
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 – «Геофизика»

1. Актуальность темы исследования. Диссертационная работа Зуевой Ирины Александровны посвящена идентификации локальных сейсмических событий, регистрируемых Карельской сейсмической сетью, региональным характеристикам природной и техногенной сейсмичности, вызванной промышленными взрывами на территории Карелии. Республика Карелия расположена на северо-западе Восточно-Европейской платформы, в восточной части Балтийского щита, характеризуется проявлениями слабой современной сейсмичности. В то же время на данной территории преобладает техногенная сейсмичность, которая в основном включает активные взрывные работы.

Расширение заселенных территорий, увеличение объемов извлечения полезных ископаемых, приближение фронтов горных работ к охраняемым зданиям и сооружениям требует изучения и оценки современной сейсмичности Республики Карелия, разработки методики идентификации сейсмических событий (землетрясение или взрыв), произошедших на данной территории, отистики каталогов от техногенных событий. Изучению этих актуальных вопросов посвящена представленная диссертационная работа.

С 2000 г. на территории республики функционирует стационарная сейсмическая сеть, состоящая из 4-х пунктов сейсмических наблюдений, на базе которой были выполнены диссертационные исследования.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Обоснованность научных положений диссертационной работы Зуевой Ирины Александровны обеспечена теоретическим обобщением научных трудов различных авторов в области распознавания промышленных взрывов и землетрясений, материалов научных

конференций, тематических публикаций в периодической печати, Интернет-ресурсов; а также применением различных компьютерных методов анализа и обработки сейсмических данных: анализ волновых форм, спектральный анализ, метод засечек, метод Гейгера, минимизация функционала пространственных переменных для определения гипоцентров землетрясений, картирование результатов обработки экспериментальных данных.

Бесспорным достоинством работы следует считать наличие обширного анализируемого материала. Диссертационное исследование содержит 16 таблиц, 73 рисунка и четыре приложения из общего объема исследования в 190 страниц. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основные результаты опубликованы в 11 печатных работах, в том числе рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, из списка российской наукометрической базы данных RSCI и международных наукометрических баз данных WoS и Scopus, есть раздел в монографии. Результаты докладывались на различных международных и всероссийских конференциях.

С учетом перечисленных выше обстоятельств обоснованность полученных результатов можно считать высокой. Положения и выводы, сформулированные в диссертационной работе, являются научно-обоснованными и базируются на собственных расчетах автора.

3. Достоверность выводов исследования. Основой диссертационного исследования послужили фундаментальные научные труды в области сейсмологии. Информационно-эмпирическая база исследования представлена перечнем научных работ, материалами научно-практических конференций, периодической печати, сети Интернет. Из 166 наименований списка литературы более 40 источников опубликованы в зарубежных изданиях. Полученные результаты подкреплены обобщением результатов анализа сейсмического материала, экспертных оценок, использованием эффективных научных инструментов, что позволило автору обеспечить обоснованную и достоверную совокупность выводов, предложений и рекомендаций.

Во введении диссертант формулирует актуальность рассматриваемой проблемы, цель диссертационной работы, научные задачи, защищаемые положения, методы исследования, достоверность и обоснованность результатов, научную новизну и практическую значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена геолого-геофизической изученности территории Республики Карелия, а также обзору методов идентификации взрывов и землетрясений. Карельский регион характеризуется сложным слоисто-блоковым строением древней докембрийской земной коры. Рассмотрены три области: Карельский кратон, Беломорский подвижный пояс, Сфекофеннская складчатая область, различающиеся между собой основными чертами геологического строения, возрастом и составом слагающих их комплексов, особенностями

проявления тектонических, магматических и метаморфических процессов. Этим районам соответствуют крупные скоростные сейсмические, плотностные и магнитные неоднородности литосферы. Дано описание рельефа и геоморфологии изучаемой территории. Приведены источники информации о сейсмичности Карелии.

В данной главе рассмотрены многочисленные методы идентификации взрывов и землетрясений, которые были опубликованы в научных работах, начиная с 60-х годов прошлого столетия. Данные методы послужили полезным инструментом для разработки критериев идентификации зон рассматриваемой территории.

На основе проведенного диссертантом анализа сформулирована основная задача диссертационной работы – разработка алгоритма распознавания/дискриминации взрывов и землетрясений для территории Республики Карелия.

Во **второй главе** рассмотрено аппаратное обеспечение сейсмической сети Карелии, а также этапы ее развития. В настоящее время Карельская сейсмическая сеть включает в себя четыре пункта сейсмических наблюдений. Сейсмические станции оснащены велосиметрами CMG-6TD (3 шт.) и CMG-3ESP с регистратором GSR-24.

Диссертантом проведена оценка микросейсмического шума в местах установки сейсмических станций. Выявлено, что одна из четырех станций расположена на территории с высоким уровнем шума. Наличие такой станции затрудняет выделение слабых сейсмических событий, регистрируемых на территории Карелии.

Кроме того, описывается переносная сейсмическая станция, которая применяется при организации дополнительных наблюдений. Она использовалась при регистрации промышленных взрывов в карьерах, в труднопроходимых местностях и в исследованиях сейсмического воздействия взрывов на здания и сооружения.

В **третьей главе** изложена методика обработки сейсмических событий, зарегистрированных на территории Республика Карелия. Проанализированы различные подходы к задаче определения координат гипоцентров землетрясений. Приведена блок-схема алгоритма определения гипоцентра и времени в очаге удаленного землетрясения.

Установлено, что для определения гипоцентров сейсмических событий, зарегистрированных на территории Республика Карелия, нужно использовать различные скоростные модели, что связано с неоднородным геологическим строением рассматриваемой территории. Выявлено, что при определении координат событий в юго-западной части Карелии (Лахденпохский, Сортавальский и Питкярантский районы), а также в Прионежском районе наилучшей является скоростная модель BALTIC. Для определения координат эпицентров землетрясений на севере региона и взрывов в Костомукшском районе лучше

использовать скоростную модель BARENTS, а модель KARELIA пригодна для центральных районов Карелии.

В данной главе также проведена оценка эффективности сейсмической сети Карелии. Вычислены значения минимальных магнитуд, регистрируемых Карельской сейсмической сетью, а также значения максимальных ошибок при определении координат гипоцентров сейсмических событий на территории Карелии. Установлено, что в среднем ошибки при определении эпицентров сейсмических событий не превышают 10 км, а при определении глубины очагов землетрясений вблизи сейсмических станций не превышают 5 км, на всей территории Карелии – не превышают 20 км.

В **четвертой главе** предложена методика идентификации сейсмических событий, зарегистрированных на территории Республика Карелия. Был собран и проанализирован доступный материал по идентификации промышленных взрывов и землетрясений, а также получена информация о карьерах изучаемого региона, в которых производят массовые взрывы. Для распознавания различных сейсмических событий, зарегистрированных сейсмической сетью Карелии, использовался волновой и спектральный анализ. Создан альбом волновых форм промышленных взрывов, зарегистрированных на территории региона. Большое внимание уделено обработке сейсмических событий и полученным параметрам. Отмечено, что на сейсмических записях станции PTRZ на расстояниях до 60 км наблюдается ударно-акустическая волна после взрыва. Получено значение параметра дискриминации промышленных взрывов и землетрясений для территории Карелии.

По данным, полученным в результате экспериментальных исследований, диссертантом сформулированы критерии идентификации сейсмических событий (промышленных взрывов и землетрясений), зарегистрированных на территории Республики Карелия.

Анализ результатов сейсмологических наблюдений позволил диссертанту в **пятой главе** установить зоны природной сейсмичности и техногенной сейсмичности, вызванной производством промышленных взрывов. При участии диссертанта созданы ежегодные сейсмические каталоги, а также построены карты сейсмичности изучаемого региона.

Показано, что сейсмичность исследуемой территории проявляется в виде землетрясений небольшой магнитуды. Очаги возникают в основном на севере рассматриваемого региона: в Лоухском и Калевальском районах. Единичные случаи зарегистрированы в Белом море и в районе г. Костомукша. Причинами природных событий на равнинных территориях, таких как Карелия, являются зоны активных разломов. Промышленные взрывы являются наиболее частыми и яркими сейсмическими событиями на записях Карельской сейсмической сети. Большая часть эпицентров взрывов располагается вблизи берегов Онежского и Ладожского озера, а также в районе г. Костомукша.

На основании проведенных исследований представлены рекомендации по снижению шума на сейсмических станциях и необходимость внедрения системы автоматического детектирования сейсмических событий, для сокращения временных задержек выпуска регионального каталога.

4. Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что:

- 1) впервые для территории Республика Карелия проведены исследования по оценке эффективности сейсмической сети Карелии;
- 2) выбраны скоростные модели для определения параметров гипоцентров сейсмических событий на территории Республика Карелия;
- 3) выделены особенности проявления промышленных взрывов и землетрясений в сейсмических полях рассматриваемой территории;
- 4) разработана методика дискриминации сейсмических сигналов промышленных взрывов и землетрясений;
- 5) построена карта сейсмичности Карельского региона.

Важным результатом является и то, что с 2017 года данные станций Карельской сети включены в каталоги ФИЦ Единая Геофизическая служба РАН.

5. Значимость полученных результатов диссертационного исследования для науки и практики. Использование разработанной методики идентификации сейсмических событий, зарегистрированных на территории Карелии, позволит очистить региональный сейсмический каталог от промышленных взрывов и скорректировать оценку сейсмической активности региона.

Важным практическим результатом является то, что Карельская сейсмическая сеть с 2017 года является полноценной действующей сетью, налажено тесное сотрудничество с региональными сетями, функционирующими на территориях Ленинградской, Мурманской и Архангельской областей, организован обмен данными с ФИЦ Единая Геофизическая служба РАН.

6. Недостатки и недоработки диссертационного исследования.

Наряду с разработками, имеющими важное научное и практическое значение, в диссертационной работе имеется ряд недостатков.

1. Нечеткое формулирование защищаемых положений, мало конкретики. Например, пункт 1: «Оценка эффективности Карельской сейсмологической сети. Необходимость использования различных региональных скоростных моделей для определения гипоцентров сейсмических событий на территории Карелии». Тут объединены две отдельные темы, которые следовало бы рассмотреть детально.

2. Представлены пункты сейсмических наблюдений, располагающиеся в разных районах Республики Карелия. Однако, не совсем ясным остается вопрос, почему для проведения сейсмического мониторинга не используется вторая станция KOST, установленная в районе г. Костомукши.

3. В третьей главе рассмотрена методика обработки сейсмических данных. Показано, что для обнаружения и определения параметров сейсмических событий применяется комплекс программ: программный комплекс ELRESS, WSG и программы HYPO_BUR. По сути, не совсем понятно для каких задач используется каждая программа, почему не воспользоваться одним программным комплексом, например, WSG?

4. Стр. 70 (Одномерная скоростная модель BARENS). В тексте диссертации приведено время в очаге $t_0=11:23:14.8$ для взрыва, который был произведен в карьере "Ильмениоки". В Таблице 4 указано другое время в очаге этого же события.

5. Не понятен раздел диссертационной работы 4.2. В нем обсуждается метод засечек, который следовало бы обсудить в третьей главе, в которой рассмотрены различные программы определения координат гипоцентров землетрясений. Там же, на Рисунке 4.2 (стр. 106) нет надписей на схеме. Не понятно, на какой территории расположены карьеры.

6. На Рисунке 4.25 (стр. 133) на графике логарифмов отношений максимумов амплитуд P- и S-волн не указано для каких событий сделано распределение, хотя в тексте есть объяснение. В автореферате наблюдается та же ошибка.

7. На стр. 133 получено значение параметра дискриминации промышленных взрывов и землетрясений Карелии только по данным станции KOS6, следовало бы получить аналогичный параметр и для других станций региона.

8. В главе 4 (стр. 138) установлены критерии идентификации для распознавания слабых сейсмических событий. В итоге представлено 9 критериев. На наш взгляд следовало бы рассмотреть больше методик идентификации, а, следовательно, количество критериев могло быть и больше.

9. На Рисунке 5.4 (стр. 143) следовало бы указать магнитудную шкалу зарегистрированных землетрясений.

10. Наблюдается ряд неточностей представленной информации в диссертационной работе и в автореферате. Например, Рисунок 5.7 (стр. 146) диссертации и подрисуночная подпись к нему не соответствует Рисунку 23 (стр. 22) автореферата и подрисуночной подписи. На Рисунке 23 автореферата не указаны параметры (значение и единицы измерения) легенды.

7. Соответствие диссертации паспорту специальностей Министерства образования и науки РФ. Область исследования соответствует паспорту специальности 1.6.9 – «Геофизика» по пунктам:

1. Сейсмология (за исключением аппаратных разработок и использования информации о современной или палеосейсмической активности для геотектонического анализа). Теория распространения сейсмических волн. Собственные колебания Земли. Природная и техногенная сейсмичность, региональные и глобальные обобщения о сейсмичности.

2. Оценка сейсмической опасности и риска, сейсмическое районирование, оценка геодинамических рисков применительно к промышленным сооружениям, объектам инфраструктуры и гражданским зданиям.

3. Физика землетрясения и сейсмического процесса. Теория очага землетрясения. Физическое и математическое моделирование очага землетрясения и сейсмического режима, включая лабораторные эксперименты. Предвестники землетрясений. Разработка методов и алгоритмов прогноза землетрясений.

Заключение.

Несмотря на отмеченные замечания, считаем, что работа И.А. Зуевой соответствует уровню кандидатской диссертации и обладает несомненной научной новизной и практической значимостью.

Диссертация является законченным исследованием, выполненным автором самостоятельно. Полученные соискателем результаты достоверны, выводы и защищаемые положения обоснованы. Работа основана на большом фактическом материале и содержит новые выводы и положения, которые могут быть успешно применены для уточнения карт сейсмической опасности Республики Карелия, а также оценке и прогнозу величины сейсмического воздействия взрывных работ на охраняемые здания и сооружения. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация Зуевой Ирины Александровны «Идентификация сейсмических событий на территории Карелии» является научно-квалифицированной работой, удовлетворяет требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в ред. от 20.03.2021, пп. 9, 10, 11, 13, 14), а ее автор, Зуева Ирина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 – «Геофизика».

Отзыв обсужден на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук «26» марта 2024 г., протокол № 4 и одобрен в качестве отзыва ведущей

организации.

Заместитель директора по научной работе, заведующая лабораторией сейсмологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, доктор технических наук

Антоновская Галина Николаевна

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук (ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН).

Почтовый адрес: 163020, Россия, г. Архангельск, пр-кт Никольский, 20.

Интернет-сайт организации: <http://fciaarctic.ru/>

E-mail: dirnauka@fciaarctic.ru

Рабочий телефон: +78182287636



Личную подпись	<i>Г. П. Антоновской</i>
Заверено:	
Начальник отдела кадров ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН	
О.В. Лек	
26	03 20 14 г.