

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Зуевой Ирины Александровны по теме: «ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9-«Геофизика»

### 1. Актуальность темы диссертации

Идентификация природы сейсмических событий является весьма актуальной проблемой в регионах, где выполняются регулярные сейсмологические наблюдения и особенно в том случае, когда наряду с тектоническими землетрясениями имеют место быть землетрясения вызванные техногенными факторами. Актуальность определяется также необходимостью создания и опробования системы различных признаков, позволяющих с высокой надежностью выполнять распознавание природы сейсмических событий. Несмотря на относительно низкий уровень естественной сейсмической активности территории Карелии, анализ характера сейсмичности имеет не только научный интерес, но и большое практическое значение, связанное с наличием в регионе крупных промышленных комплексов, газопроводов и гидротехнических сооружений.

### 2. Степень достоверности результатов

Достоверность результатов и научных выводов обеспечивается тщательным анализом большого объема первичного материала и подтверждается результатами исследований, полученными при полевых и лабораторных работах.

### 3. Научная новизна и значимость работы

Впервые проведены исследования по оценке эффективности сейсмической сети Карелии, по выбору скоростной модели для определения параметров гипоцентров сейсмических событий. Выполнен анализ особенностей записей сейсмических сигналов, генерированных промышленными взрывами и записей местных тектонических землетрясений. Создан альбом типичных для каждого карьера волновых форм записей промвзрывов. Разработана методика дискриминации сейсмических сигналов промышленных взрывов и землетрясений, построена карта сейсмичности Карельского региона. Благодаря измененной методике обработки сейсмических данных, а также новой сейсмической аппаратуре, установленной в четырех районах, Карельская сеть сейсмических станций с 2017 года стала участвовать в единой системе мониторинга сейсмических событий на территории Карелии.

### 4. Публикации по теме диссертационной работы

Всего соискателем опубликовано 30 печатных работ. Из них 4 статьи в журналах (WoS, Scopus), 7 статей в журналах из перечня, установленного

ВАК, раздел в монографии и материалы конференций.

### **5. Структура и содержание диссертации**

Структура и оформление диссертации соответствует рекомендованному ВАКом ГОСТу 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Диссертация Зуевой И. А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 163 публикации. Работа содержит 152 страницы текста, 73 рисунка, 16 таблиц и 4 приложения на 18 страницах.

Во **введении**, как и полагается, обоснована актуальность работы, поставлены цель и задачи, описаны методы исследования. Сформулированы защищаемые научные результаты, показана их новизна и личный вклад соискателя, обоснована практическая значимость результатов.

**Первая глава** состоит из двух вполне самостоятельных по содержанию частей. В первой из них приведен достаточно полный обзор географического положения и рассмотрена геолого-геофизическая, геоморфологическая изученность территории Республики Карелия. Рассмотрены основные структурные и петрологические структурно-формационные зоны, места возможных тектонических землетрясений. Приводятся данные о значениях скоростей в различных слоях земной коры. В следующих разделах первой главы автор дает краткую информацию о проблемах сейсмического мониторинга и важности достоверного указания в сейсмических каталогах природы сейсмических событий. В последнем разделе приведен обзор методов идентификации взрывов и землетрясений.

Во **второй главе** автор приводит историю создания Карельской сейсмической сети. В настоящее время установлено четыре стационарные широкополосные станции KOS6, PITK, PAAN, PTRZ, в которых сейсмические сигналы регистрируются с использованием велосиметров в широком диапазоне частот от 0.033 до 50 Гц. Кроме того при изучении сейсмичности в районе г. Костомукша используется короткопериодная (0.5 - 40 Гц) регистрирующая аппаратура (станция KOST). При выполнении выездных наблюдений (например, при работах по оценке сейсмического воздействия взрывов на здания и сооружения) используется переносная станция SEIS. При выборе места установки станций оценивался допустимый уровень сейсмического шума, что обеспечивает получение качественных записей сейсмических событий. Замечаний к этой главе у оппонента нет.

В начале **третьей главы** автор приводит стандартную схему первичной обработки получаемых записей сейсмических событий. Далее рассматривается одномерная скоростная модель BARENTS и на примере показана её эффективность при определении координат эпицентра карьерного взрыва. По данным Карельской и Финской сейсмических сетей невязка составила соответственно 2 и 2.5 км. Отмечается, что грубых ошибок при определении координат событий по записям станциями Карельской

сети с использованием скоростной модели BARENTS не наблюдается.

Следующие два раздела главы 3 содержат краткое описание обрабатывающих программ ELRESS и WSG. В этих программах помимо обязательных стандартных процедур содержатся специфические для каждой из них возможности обработки.

Далее рассматривается обрабатывающая программа HYP\_BUR, составленная Бурминым В.Ю по собственным теоретическим разработкам и предназначенная для идентификации местных землетрясений главным образом по глубине источника сейсмических колебаний. Разработки и рекомендации Бурмина В.Ю. были использованы автором диссертации для составления блок-схемы и написания на языке Фортран программы HYP\_GlobaL, ориентированной на интерпретацию записей далёких землетрясений. Эта программа и, для сравнения, обрабатывающая система WSG использовались при обработке записей землетрясения на Сахалине. Глубины гипоцентров составили соответственно 34 и 10 км. В разделе 3.1 автор приводит способ и результаты формализованной оценки эффективности системы сейсмологических наблюдений на территории Карелии. Здесь под эффективностью очевидно имеется ввиду разрешающая способность сети станций в плане достижения предельной возможности регистрации энергетически слабых сейсмических событий и точности в определении координат и глубины источника. Методика и расчёты проводились по программам Бурмина В.Ю. Установлено, что при заданной точности определения времени вступлений Р и S волн (0.1 с) и скорости (0.1 км/с) существующая в Карелии сеть сейсмических станций в области их сгущения может регистрировать землетрясения с магнитудой 1-2, а на периферии не ниже 3.4.-4.0. В аналогичной ситуации минимальная погрешность в определении эпицентральных расстояний и глубины может составлять 2км и 5км, а на остальной территории в среднем от 8 км до 20 км.

Теоретические оценки разрешающей возможности сети станций были проверены путем расчета эпицентральных расстояний при регистрации взрывов в двух карьерах как станциями Карелии, так и станциями Финляндии. Установлено, что в зависимости от взаимного расположения источников и регистрирующих станций погрешность может составлять от 2 до 10км.

В последнем разделе третьей главы представлены три скоростные колонки земной коры характерные для различных районов Карелии и дается рекомендация использования этой информации при обработке записей сейсмических событий, которые происходят в соответствующих районах.

В преамбуле к **четвертой** главе определяется актуальность идентификации немногочисленных и относительно слабых сеймотектонических землетрясений на фоне активных сейсмических событий техногенного плана. Успешное решение этой задачи осложняется тем, что диапазоны частот местных взрывов и землетрясений, а также другие их параметры перекрываются, что требует (раздел 4.1 и 4.2) оптимальной обработки исходного сейсмического материала. Для этой цели используется

обрабатывающий комплекс ELRESS и HYPBUR, а также альбомом волновых форм промышленных взрывов, позволяющие достаточно точно определять природу, магнитуду и пространственные координаты события. Далее (раздел 4.3) подробно рассматривается режим работы карьеров, расположенных на территории Карелии, а также технология взрывных работ, которые выполняются по практически стандартной схеме с использованием короткозамедленных взрывов. Правильно отмечено, что суммарный заряд, масса которого может составлять от десятков до сотен тонн ВВ, практически не влияет на значение магнитуды сейсмического события. Далее подробно рассматриваются особенности геологии разрабатываемых карьеров и приводится административное районирование территории Карелии по критерию техногенной сейсмичности. В последующем разделе опять-таки выделяются зоны взрывной сейсмичности, но уже в виде окружностей, с иллюстрацией волновых форм событий, которые в них происходят.

В следующем разделе (4.4) приводится информация о применении спектрального анализа для идентификации сейсмических событий на записях сейсмической сети Карелии. В частности показано, что по особенностям спектральных характеристик можно дать оценку удаленности станции от эпицентра; оценку, относительно других станций, величины заряда; определить общий вид спектров карьерных взрывов на различных удалениях от источника упругих колебаний. Последнее необходимо для сравнения со спектрами удаленных и местных тектонических землетрясений, которые детально рассмотрены в тексте. Одним из признаков, который указывает на техногенный характер сейсмического события, является запись ударно-воздушной волны (раздел 4.5). Регистрация этого сигнала зависит от ряда факторов, но наиболее четкая на небольших удалениях от карьеров. В разделе 4.6 подробно рассмотрено использование логарифма отношения максимальных амплитуд продольных и поперечных волн для определения природы сейсмического события. На примере обработки достаточно представительного числа записей показано, что разделение землетрясений на тектонические и техногенные может выполняться с надежностью до 98%.

Следующие два раздела (4.7 и 4.8) содержат подробную информацию о критериях и способах идентификации природы сейсмических событий. В первом из них изложена обобщенная схема дискриминации взрывов и землетрясений. Рассматривается и оценивается возможность использования с этой целью записей волн релеевского типа. Отмечается надежность этого признака. Приводятся и анализируются 12 критериев дискриминации сейсмических событий. В разделе 4.8 лаконично в виде списка из 9 пунктов изложены основные критерии идентификации записей сейсмических событий, которые регистрируются на территории Карелии.

В пятой главе диссертационной работы приводятся результаты инструментальных сейсмологических наблюдений, которые проводились в течении четырех-пяти лет на территории Карелии. В разделе 5.1 определена пространственная приуроченность эпицентров тектонических землетрясений и число таких событий в зависимости от магнитуды. Установлено, что часть

эпицентров расположена вдоль главных разломов, остальные расположены, по-видимому, на линиях новейших разрывных нарушений. Раздел 5.2 содержит информацию о территориальном распределении источников сейсмичности, обусловленной карьерными взрывами. Результатом выполненных исследований является карта современной сейсмичности региона.

В заключении подводится краткий итог выполненных исследований с указанием личного вклада автора в решение основных задач диссертационной работы. Изложены перспективы развития сейсмологических наблюдений в Карелии.

## **6. Наиболее важные результаты диссертации, имеющие научную значимость и/или оригинальный характер**

В результате работы над диссертацией с использованием большого объема первичной информации установлено, что для юго-западной части Карелии при определении координат сейсмических событий более всего подходит скоростная модель BALTIC. Показано, что для определения координат эпицентров на севере региона и взрывов в Костомукшском районе лучше использовать модель BARENTS, а в центральных районах Карелии скоростную модель KARELIA.

Получены убедительные оценки эффективности сейсмической сети Карелии со станциями из прилегающих территорий РФ, которая позволяет регистрировать сейсмические события на территории Карелии с магнитудой от 1 и выше и с достаточной точностью определять координаты эпицентров.

Детально рассмотрена совокупность критериев дискриминации записей промышленных взрывов и землетрясений, зарегистрированных на территории Карелии. Составлена схема распознавания природы сейсмических событий. Впервые создан альбом волновых форм записей промышленных взрывов на территории Карелии.

Выделены районы тектонической и взрывной сейсмичности и построена карта современной сейсмичности для исследуемого региона.

Установлено, что современная природная сейсмическая активность характерна для Лоухского и Калевальского районов. Единичные случаи зарегистрированы в Белом море и в районе г. Костомукша.

Полученные результаты позволяют с уверенностью констатировать, что защищаемые положения диссертации являются хорошо обоснованными. Это позволит получать кондиционную информацию о динамике сейсмических процессов различной природы на территории Карелии. Можно считать, что цель и показатели новизны, указанные в диссертации, вполне достигнуты.

## **7. Соответствие автореферата диссертации**

Представленный автореферат диссертации соответствует диссертационной работе.

## **8. Практическая ценность результатов**

Полученные результаты используются для получения обоснованных данных о природе сейсмических событий, что крайне необходимо при выполнении мониторинга сейсмологической обстановки на территории Карелии. Это, в свою очередь, важно для выявления очагов наведенной сейсмичности, которая может быть спровоцирована большим объемом взрывных работ в карьерах региона.

## **9. Апробация работы**

Материалы диссертации прошли апробацию в период с 2011 по 2022 годы на восьми международных конференциях, шести всероссийских и на трех молодежных конференциях и школах молодых ученых.

## **10. Замечания по диссертации**

1. Приводятся данные о значениях скоростей в различных слоях земной коры. В тоже время, было бы весьма полезным поместить здесь информацию о структурных особенностях строения земной коры, изложенную в работах Литвиненко И.В., Шарова Н.В. и др.

2. Представляется излишне полной информация о работах, которые выполняются Единой Геофизической Службой РАН и в Институте сейсмологии в Хельсинки.

3. В последнем разделе первой главы приведен обзор методов идентификации взрывов и землетрясений, который следовало бы поместить в главу 3.

4. Программа ELRESS и, для сравнения, обрабатывающая система WSG использовались при обработке записей землетрясения на Сахалине. Глубины гипоцентров составили соответственно 34 и 10км. Какое значение более достоверно? Вопрос остаётся открытым.

5. Излишне подробно рассматриваются особенности геологии разрабатываемых карьеров.

6. Не совсем корректно границами техногенной сейсмичности различного магнитудного уровня считать административные границы районов.

7. Оппоненту из личного опыта хорошо известно, что использование систем локальных годографов продольных, поперечных и поверхностных волн заметно уменьшают погрешность в определении пространственных координат эпицентра. В тоже время в диссертации нет количественной информации об эффективности применения различных скоростных моделей при обработке одного и того же сейсмического события.

## **11. Заключение**

Диссертация Зуевой Ирины Александровны «Идентификация сейсмических событий на территории Карелии» содержит решение актуальных научных и практических задач, связанных с идентификацией сейсмических событий, что является необходимым инструментом при

изучении сейсмологической ситуации в регионе. Работа является завершенным научным исследованием и содержит новые научные и практически результаты, выдвигаемые на защиту, что свидетельствует о значимом личном вкладе автора в решение ряда важных вопросов, связанных с сейсмологическим мониторингом.

Отмеченные замечания не умаляют достоинств диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, указанным в «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г, №842) и «О внесении изменений в положение о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 21.04.2016 г, №335) и предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации Зуева Ирина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности по специальности 1.6.9 – Геофизика.

Дубянский Александр Игоревич 

кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет». Адрес места работы: 394018, РФ, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный», геологический факультет, кафедра геофизики. Тел.: +7(473) 2-208-385; e-mail: [alex.dub.1942@yandex.ru](mailto:alex.dub.1942@yandex.ru)

Я, Дубянский Александр Игоревич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись Дубянского А.И. заверяю

