

## Отзыв

### официального оппонента на работу Конечной Яны Викторовны «Особенности природной сейсмичности западного сектора арктической зоны РФ по данным станций Баренц-региона», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

г. Москва

22 марта 2016 г.

Рецензируемая диссертация посвящена изучению сейсмичности западного сектора арктической зоны РФ, т.е. территории, исследованию которой в настоящее время уделяется повышенное внимание не только в нашей стране, но в международном сообществе. Свидетельством тому является государственная программа «Стратегия развития Арктической зоны РФ». Из международных проектов стоит отметить мультидисциплинарный проект «POLENET/LAPNET» и научную программу «Международный полярный год», в работах по которым кроме российских, принимали участие исследователи 12 европейских стран. Основным направлением этих исследований было изучение структуры земной коры Европейской Арктики и детальный анализ сейсмически активных арктических районов. На сегодняшний день строение литосферы и проявление сейсмичности в Европейской Арктике все еще не достаточно изучены из-за плохого покрытия территории сейсмическими станциями. Хотя, согласно данным региональных- финского, норвежского, шведского и российского каталогов, природные землетрясения с локальной магнитудой  $M_L < 3$  и события техногенного происхождения в исследуемом районе наблюдаются достаточно часто.

Все вышесказанное делает работу Конечной Я.В. актуальной и своевременной.

Диссертационная работа состоит из 4 глав, введения, заключения, списка литературы из 147 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. Объем работы 217 страниц, включая 3 приложения.

**Во введении** обозначена актуальность работы, поставлены цели и задачи исследования. Сформулированы защищаемые положения, приведен перечень публикаций и конференций, где работа была апробирована. В разделе **актуальность** вводится понятие Виртуальная арктическая сеть (ВАСС). При этом в автореферате отмечается «организация такой сети является предметом диссертации..», в то время как в тексте самой диссертации эта фраза отсутствует, что вызывает некоторое недоумение.

Цель диссертации сформулирована достаточно конкретно и понятно, так же как и задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели.

**В первой главе** приведена геолого-геофизическая изученность северных и арктических территорий, изложены сведения о геологическом строении и геодинамике Западного сектора арктической зоны РФ, достаточно подробно описаны и обобщены имеющиеся представления о сейсмоактивных зонах Арктики. Значительная часть первой главы посвящена современному состоянию сейсмологических наблюдений: описаны действующие в арктической зоне сейсмические сети, их аппаратное оснащение. Проанализированы региональные каталоги, содержащие информацию о сейсмичности арктического региона, описаны их достоинства и недостатки. Следует отметить высокий уровень проведенного анализа литературных данных, что свидетельствует об эрудиции автора и его профессиональном уровне. В заключении к главе 1 делается совершенно справедливый вывод о недостаточности и необходимости данных о слабых сейсмических событиях, которые как известно, с одной стороны являются важным индикатором тектонической активности региона, а с другой- достаточно быстро позволяют собрать статистически обоснованный материал для построения графика повторяемости.

**Во второй главе** автор достаточно подробно излагает историю создания и развития Архангельской сейсмической сети (АСС): задачи, аппаратное оснащение, систему сбора данных, структуру регионального сейсмического мониторинга, проводимого на базе станций АСС, в том числе регламент обработки, отраженный в специально разработанном методическом пособии. Приводится сравнение сейсмического каталога АСС с каталогами сейсмологических служб NOR SAR и ГС РАН.

Основным результатом, изложенным в этой главе можно считать изменение конфигурации АСС после 2010 г, что связано с установкой трех новых сейсмических станций. Особое внимание следует уделить станции ZFI, установленной на Земле Франца Иосифа.

Как уже отмечалось соискателем в первой главе- общий недостаток всех сейсмических сетей, ведущих мониторинг в Арктическом регионе- это узкий азимутальный охват. Наблюдения на станции «Земле Франца Иосифа» в значительной мере помогают устранить эту проблему. Появление этой станции принципиально изменило условия регистрации сейсмических событий, что позволило понизить магнитудный порог регистрируемых событий в Западном секторе арктической зоны РФ, расширить зону охвата мониторинга – существенно увеличилось количество выделяемых событий восточнее 30° в.д..

В данной главе подробно описан предлагаемый регламент обработки результатов регистрации сейсмических событий, состоящий из двух этапов: 1- просмотр записей сейсмических пунктов, составление индивидуальных станционных бюллетеней, которые объединяются в общий промежуточный бюллетень. Обработка ведется с помощью программного пакета WSG, используемого на сейсмических станциях ГС РАН. Затем, как

пишет автор «Анализ полученного общего промежуточного бюллетеня определяет необходимость использования данных ВАСС для дальнейшей совместной обработки» Что означает «необходимость использования данных ВАСС»?

Далее следует второй этап- «Работа с базами данных волновых форм и промежуточным бюллетенем». Иллюстрация этого протокола приведена на рис.2.4. Как видно из рисунка в совместной обработке от АСС участвует только с/с ZF12, расположенная на Земле Франца-Иосифа, остальные станции принадлежат другим сейсмическим сетям. Ниже на этом же рисунке приведена «карта эпицентров сейсмических событий по данным АСС». Не понятно причем здесь АСС, если все данные чужие?

Эффективность работы АСС после введения в эксплуатацию с/с «Земля Франца-Иосифа» показана на рис.2.19. Хорошо видно, как проявились события на хребте Гаккеля, что являлось своего рода «белым пятном» в сейсмичности приполярной зоны. Но после анализа рис. 2.4 по совокупной обработке, подпись под рис.2.19 « карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных АСС» , возникает вопрос : это данные самой АСС или с привлечением ВАСС и в каком объеме?

На рис. 2.2 представлены теоретические карты минимальных магнитуд землетрясений, и территорий «доступных» для регистрации при различных конфигурациях сетей, что хорошо иллюстрирует необходимость совокупной обработки данных.

По нашему мнению, это самая выигрышная глава диссертации.

Материалы и выводы второй главы обосновывают первое защищаемой положение, кроме «улучшения точности локации ...», что рассмотрено в третьей главе.

**Третья глава** посвящена повышению точности определения пространственно-временных и энергетических параметров землетрясений по данным АСС. Достаточно подробно рассмотрен вопрос оценки достоверности в локации эпицентров сейсмических событий в Арктике, регистрируемых АСС, в том числе, подбор регионального годографа на основании расчетов для существующих скоростных моделей.

Для оценки точности лоцирования в зависимости от использованного годографа использованы координаты 35 сейсмических событий из каталога международного сейсмологического центра ISC. К сожалению, автор не указывает магнитуду рассматриваемых событий. Каталог ISC формируется на основе региональных каталогов, которые к ним поступают. Для событий с локальной магнитудой меньше 3.5 пересчет координат не производится и приводятся данные, как правило, ближайшей сети. Начиная с событий с магнитудой больше 3.5, в тех случаях, когда имеется большой разброс в параметрах, проводится пересчет координат гипоцентра на основе годографа Джеффриса-Буллена или, в последнее время АК-135. Хорошо известно и неоднократно доказывалось, что использование

обобщенных годографов для всей Земли, дает очень большую погрешность при лоцировании событий на региональных расстояниях. Таким образом, использование данных из каталога ISC в качестве эталонных на наш взгляд не правомерно.

Годограф NORP, согласно ссылке на источник (Морозов, Ваганова, 2011), построен по данным АСС с использованием методики функции приемника. Эта методика позволяет построить вертикальный скоростной разрез под с/станцией. Полученные разрезы под несколькими с/станциями можно аппроксимировать в некую модель. И эта модель будет очень хороша для лоцирования событий внутри сети и малой окрестности вне ее, но только не для событий на расстояниях в сотни километров и более. Поэтому не удивительно, что «победил» годограф Varents, при построении которого использовались данные от ядерных взрывов, и взрывы на рудниках, т.е. события на региональных расстояниях с известными, как минимум координатами. При оценке точности лоцирования при расположении событий, как показано на рис.3.6 конфигурация сети в данном случае существенной роли не играет, т.к. все станции расположены с одной стороны от эпицентров, что существенно ухудшает точность определения координат.

В этой главе также представлен построенный локальный годограф для континентальной части Архангельской области по записям карьерных взрывов. При его построении использован единственно правильный подход - использовании разности времен вступления отдельных фаз сейсмических волн от одного взрыва на двух станциях. Но при тестировании годографа, автор указывает, что, как правило, каждый взрыв регистрируется только одной станцией, тогда не ясно по каким данным построен годограф?

Наиболее важным результатом главы 3 является проведенный автором анализ сейсмических записей станций АСС, установленных на арктических территориях ("Земля Франца-Иосифа" и "Амдерма"), т.к. именно они являются основой при обработке региональных землетрясений и формировании каталога. Представлены примеры записей сейсмических событий на этих станциях. Из текста подписи под рисунками неясно, какие координаты приведены - это локация по данным станций, или из бюллетеней рис.3.23, 3.24?

В параграфе 3.4 даны примеры совокупной обработки арктических землетрясений с привлечением станций Баренц-региона. В таблице 9 представлены эллипсы ошибок для каждого события. К сожалению автор не сопровождает таблицу описанием азимутального охвата и на каком расстоянии расположена ближайшая станция, присутствуют ли региональные фазы для расстояний до 250 км для каждого землетрясения. В противном случае эллипсы ошибок не могут адекватно характеризовать точность локации, а лишь статистическую сходимость данных.

Приведенный негативный опыт открытия пункта сейсмических наблюдений «Нарьян-Мар», указывает на необходимость более тщательного анализа уровня шума и условий установки пункта наблюдений, несмотря на его очевидную необходимость для повышения регистрационной возможности сети.

Выводы третьей главы должны обосновывать частично первое и второе защищаемые положения.

На наш взгляд вопрос об улучшении точности локации особенно слабых событий ( $M < 3$ ) недостаточно обоснован.

Сама формулировка второго положения звучит несколько странно – это какая-то комбинация тезисов, не объединенных единой целью. Методический подход – он уже описан во второй главе; связь с морфологией – об этом ни слова; комплекс научных мер, куда включена фильтрация – но что здесь защищать – фильтрация используется повсеместно с середины прошлого века; привлечение цифровых записей станций с нечетким вступлением – упоминается один раз при построении локального годографа и неудачно, т.к. подходы применяемые в ГСЗ при взрывах с распределенными зарядами неправомерны. В выводах к третьей главе это положение практически не отражено.

Комплекс мер для повышения точности, о котором говорит автор в выводах – тривиален для решения задач мониторинга в любом регионе. А вот если бы были представлены результаты тех мер, на которые автор указывает в порядке дальнейшего совершенствования, можно было бы получить оригинальные методические результаты.

**Четвёртая глава** содержит анализ сейсмологических наблюдений, полученных на базе станций модернизированной АСС; представлен сейсмический каталог за 2011-2014 гг. В частности, проведен детальный анализ двух землетрясений, произошедших на континентальной части севера Русской плиты в 2005 и 2013 гг., с использованием методов, предложенных в во второй главе. Также были рассмотрены критерии, позволяющие отнести анализируемые события к тектоническим.

Достаточно подробно рассмотрены землетрясения, произошедшие на Полярном Урале. Для сейсмических событий в акватории Баренцева моря предпринята попытка сопоставления эпицентров землетрясений с геолого-геофизическим строением региона. Наиболее подробно проведено сопоставление эпицентров землетрясений с тектоническими структурами в районе желобов Франц-Виктория и Орла. Кстати автор желоб Орла называется каждый раз по-разному Орла, Орли, Орле. Анализ рисунков 4.16 и 4.17 (номер рис. 4.16 в тексте встречается трижды) показывает, что наиболее достоверная информация о сейсмических событиях имеется только для территории между грабенами Франц-Виктория и Орла в виду хорошего азимутального охвата регистрирующими станциями, для грабена Св. Анны ситуация намного

хуже. События лоцируются по данным одной станции или сети, расположенной односторонне, что не дает возможности полностью принять интерпретацию автора об их связи с данной структурой.

Связь географии очагов сейсмических событий с тепловым потоком представляется интересной и возможно конструктивной, но нечеткость рис.4.18б затрудняет понимание этого результата.

Автор предлагает объяснение выявленной в ходе исследования слабой сейсмичности как проявление изостатической компенсации лавинного осадконакопления в зоне перехода «континент-океан». На наш взгляд этот вывод должен быть подтвержден более длинным рядом наблюдений.

Выводы четвертой главы обосновывают третье защищаемое положение.

В целом диссертация посвящена изучению сейсмичности Арктики по данным наблюдений различных сейсмических сетей. Основным результатом является расширение зоны уверенной регистрации и появление на карте сейсмичности хребта Гаккеля. В этом и заключается новизна и практическая значимость результатов.

Отмеченный автором в Научной новизне п.2 . «Предложен новый методический подход – создание виртуальной наблюдательной сети....» звучит достаточно амбициозно и в то же время содержит тривиальный прием для многих сейсмологических служб, т.к. они, как правило, используют при локации данные других сетей для улучшения азимутального охвата.

Этот подход новый для Архангельской сейсмологической сети- так и следовало бы формулировать второй пункт «Научной новизны».

По существу, на защиту выносятся два признака диссертационного исследования: расширение района исследований и новый сейсмологический «инструмент» Архангельская сейсмическая сеть (АСС) ИЭПС УрО РАН, дополненная станциями других сетей.

Личный вклад автора в первую очередь связан с разработкой всех вопросов, связанных с обработкой материала и привлечением данных других сетей. Автор участвовала в составлении общего каталога сейсмических событий за весь период функционирования АСС. Установка новых сейсмических станций проходила при ее непосредственном участии.

Несмотря на сделанные замечания, учитывая большой объем проделанной работы и важность новых данных, полученных автором по исследованию сейсмического режима территории Арктики считаю, что 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 ее автор Я,В, Конечная достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук

Официальный оппонент:  
доктор физико-математических наук,  
заведующая лабораторией сейсмологических методов исследования литосферы  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН),  
Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский пр., д. 38, корп. 1.  
Тел.: 8(495)939-75-82.  
E-mail: irina@idg.chph.ras.ru



Санина Ирина Альфатовна

«Я, Санина Ирина Альфатовна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку».

Подпись Саниной Ирины Альфатовны удостоверяю:

Директор ИДГ РАН

Д.ф.м.н.



С.Б. Турунтаев