

На правах рукописи



КОНЕЧНАЯ Яна Викторовна

**ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗАПАДНОГО
СЕКТОРА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ
ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ БАРЕНЦ-РЕГИОНА**

Специальность 25.00.10 – Геофизика,
геофизические методы поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Архангельск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: **Капустян Наталия Константиновна**
доктор физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории методов прогноза землетрясений

Официальные оппоненты: **Сенин Лев Николаевич**
доктор технических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией сейсмометрии

Санина Ирина Альфатовна
доктор физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер Российской академии наук, заведующая лабораторией сейсмологических методов исследования литосферы

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук

Защита диссертации состоится «07» апреля 2016 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д.002.001.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте института <http://www.ifz.ru/>. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при министерстве образования и науки Российской Федерации <http://vak.ed.gov.ru> и на сайте ИФЗ РАН.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в 2-х экземплярах направлять по адресу: 123242, Москва, Большая Грузинская ул., д. 10, стр.1., ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета Владимиру Анатольевичу Камзолкину.

Автореферат разослан « » _____ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
Кандидат геолого-минералогических наук



В.А. Камзолкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время освоение и развитие арктических и приарктических территорий России является государственным приоритетом. Арктические континентальные шельфы – самая большая малоисследованная область из оставшейся на Земле (*Нефть и газ Российской Арктики, 2007*), в том числе, перспективная на нефть. Географические границы шельфа, определяющие территории государств, сейчас являются спорными. Для обоснования их положения активно ведутся геолого-геофизические исследования (*Артюшков, 2015*).

Государственная программа “Стратегия развития Арктической зоны РФ” нацелена на комплекс исследований, в том числе сейсмологических. Это важно как в практическом аспекте – для обеспечения сейсмобезопасности районов размещения промышленных объектов, так и в фундаментальном – для уточнения геолого-геофизической картины региона. Сейсмологический мониторинг дает важную информацию о строении и геодинамике Земли, но требуется соответствующая конфигурация сетей наблюдений (*Антоновская, Конечная, Морозов, 2013; Юдахин и др., 2012*). Существующие отечественные циркумполярные сейсмические сети значительно отстают от зарубежных по количеству станций и их оснащению, что отражается на регистрации арктических землетрясений – локация очагов, магнитудной чувствительности. Каждая из сейсмических сетей проводит мониторинг конкретной территории и, как правило, не охватывает всю Арктику. Исключения составляют телесеismicкие сети, но они имеют высокий магнитудный порог. Тем не менее, именно слабая сейсмичность ($M_L < 3.5$) важна для оценки сейсмического режима, его связи с геологическим строением и геодинамикой региона (*Ассиновская, 1994; Аветисов, 1996; Юдахин, Французова, 2006*). В западном арктическом секторе РФ количество станций явно недостаточно для решения подобных задач. Открытие одиночных станций на арктических архипелагах позволяет увеличить число регистрируемых землетрясений в западном секторе российской Арктики, но при этом не достигается приемлемая точность локации эпицентров, что, прежде всего, относится к слабым землетрясениям.

Развитие современных технологий позволяет создать так называемую виртуальную сеть станций, суть которой состоит в использовании данных станций разных сетей. При этом наиболее эффективно использование не времен вступлений, а волновых форм исходных цифровых записей, что позволяет привлечь к обработке “некачественные” записи событий. Организация такой сети является предметом диссертации, причем помимо арктических территорий данный подход актуален и для других труднодоступных районов.

Цель диссертационной работы

Совершенствование методики анализа данных о землетрясениях западного сектора арктической зоны РФ на базе записей Архангельской сейсмической сети (ACC) с привлечением станций соседних регионов и зарубежных служб (GEOFON, IRIS и NORSAR) для выявления особенностей

пространственного распределения землетрясений и связи с морфологией дна Баренцева и Карского морей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Провести анализ регистрационных возможностей сейсмических станций в Баренц-регионе путем как теоретических расчетов, так и анализа экспериментальных данных.

2. Повысить точность локации эпицентров путем совершенствования методов обработки: составления набора станций, используемых виртуальной сетью, подбора высокочастотных фильтров и выбора регионального годографа для существующих скоростных моделей региона.

3. Создать каталог землетрясений для западного сектора арктической зоны РФ и оценить энергетический уровень землетрясений, пространственное распределение слабой сейсмичности и сопоставить с морфологией дна.

Научная новизна и практическая значимость

1. Представлена уточненная картина распределения эпицентров землетрясений в западном секторе арктической зоны РФ за 2011–2014 гг.

2. Предложен новый методический подход – создание виртуальной наблюдательной сети с анализом волновых форм, позволяющий существенно повысить точность определения параметров землетрясений.

3. По записям карьерных взрывов представлен локальный годограф для территории Архангельской области.

4. Впервые изучена и введена в научный оборот слабая сейсмичность северных акваторий Баренцева и Карского морей в районе желобов Орла, Франц-Виктория и Св. Анны, выявлена ее связь с морфологией дна Баренцева моря.

Кроме того, существенной новацией явилось создание группой сотрудников Института экологических проблем Севера (ИЭПС) УрО РАН по инициативе и при участии автора собственного регионального сейсмического каталога АСС, что позволило включить сеть в систему глобального мониторинга, в том числе International Seismological Center (ISC).

Защищаемые положения

1. Оптимизированная конфигурация наблюдательной арктической сейсмической сети, включающая Архангельскую сейсмическую сеть, дополненную станциями Баренц-региона, создает основу для расширения географии сейсмического мониторинга, прежде всего восточнее 30° в.д., при понижении уровня представительной магнитуды до 2.7 и улучшении точности локации эпицентров землетрясений в западном Арктическом секторе РФ.

2. Методический подход к обработке землетрясений западного сектора арктической зоны РФ, позволяющий выявить особенности проявления сейсмичности и связать их с морфологией морского дна, включает комплекс научных мер, в том числе, обоснованное использование регионального годографа Varents, а также локального годографа, полученного по наблюдениям карьерных взрывов; применение набора высокочастотных фильтров;

привлечение цифровых записей станций с нечетким вступлением сейсмических волн.

3. Слабая сейсмичность (ML от 0.9 до 3.5) шельфа северных акваторий Баренцева и Карского морей в районах желобов Орла, Франц-Виктория и Св. Анны приурочена к устьевым частям желобов шельфа и к о. Белый.

Личный вклад автора

Автором выполнен сбор и обработка записей землетрясений Арктического региона. Предложены методы совершенствования анализа сейсмологических данных, выпущено пособие по обработке сейсмограмм станций АСС. Внедрены идеи для реорганизации системы проведения регионального мониторинга в ИЭПС УрО РАН. Составлен общий каталог сейсмических событий за период функционирования сети. Кроме того, автор участвовала в экспедиционных работах, в том числе на архипелаге Земля Франца-Иосифа в 2014 г.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Объем работы 217 страниц, включая 84 рисунка, 23 таблицы и 3 приложения. Список литературы содержит 153 источника, из них 36 – иностранных.

Апробация результатов работы и публикации

Исследования, выполняемые в рамках диссертационной работы, частично поддержаны ФЦП Министерства образования и науки по ГК-14.740.11.0195; Грантом президента РФ “Сейсмический режим Западно-Арктического сектора РФ по данным станций арктических сетей” МК-930.2014.5; грантами РФФИ “Взаимосвязь геофизических полей с сейсмичностью Евро-Арктического региона” №14-05-93080 и “Определение параметров сейсмичности Северо-Арктического региона по данным наземных сейсмических станций” №14-05-98801.

Результаты работы были представлены на российских и международных конференциях: 33-rd General Assembly of the European Seismological Commission (Moscow, 2012); 26th General Assembly IUGG (Prague, 2015); Международная сейсмологическая школа (Иркутск, 2009; Владикавказ, 2010; Апатиты, 2011; Нарочь, 2012; Геленджик, 2013; Новоханы, 2015); Уральская молодежная научная школа по геофизике (Екатеринбург 2010, 2014; Пермь, 2009, 2011, 2013, 2015); VII научные чтения памяти Ю.П. Булашевича (Екатеринбург, 2013); Всероссийская конференции “Геологические опасности” (Архангельск, 2009); Международный симпозиум “Экология арктических и приарктических территорий” (Архангельск, 2010); Международные молодежные научные конференции “Экология 2011” и “Экология 2015” (Архангельск, 2011, 2015); Международная конференция “Актуальные вопросы мониторинга геологической среды и безопасности урбанизированных территорий” (Калининград, 2011); Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов “Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана” (Санкт-Петербург, 2012).

Всего по теме исследования опубликовано 60 печатных работ, в том числе глава в монографии (в соавторстве), два руководства (в соавторстве), 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ (их них – две статьи в зарубежных рецензируемых журналах).

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю д.ф.-м.н. Н.К. Капустян.

Автор благодарит зав. лабораторией сейсмологии ИЭПС УрО РАН к.т.н. Г.Н. Антоновскую за всестороннюю поддержку; к.т.н. А.Н. Морозова за помощь в обработке и интерпретации материала; к.ф.-м.н. Е.О. Кременецкую за ценные советы, к.ф.-м.н. В.И. Французову за проявленный интерес к работе. Автор благодарит сотрудников лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН за дружескую поддержку, ГС РАН и особенно чл.-корр. А.А. Маловичко за организацию международных сейсмологических школ.

Автор хранит светлую память о чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахине, который основал Архангельскую сеть и горячо поддерживал ее развитие.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Геолого-геофизическая изученность северных и арктических территорий

Несмотря на особый интерес к Арктике в прошлом веке и в настоящее время, представления о геолого-геофизической изученности, в том числе, о районе исследований – западном секторе Российской Арктики, мозаичны и требуют обобщения.

Сведения о строении и геодинамической модели Северного Ледовитого океана наиболее полно отражены в работах (*Лаверов и др., 2013; Никишин и др., 2015, Артюшков, Чехович, 2013*). В глубоководной части океана выделяют три домена: Канадский бассейн, Северный Американо-Евразийский бассейн и Евразийский бассейн.

Привлечение к рассмотрению характеристик сейсмического режима, пространственно-временного распределения очагов, выделяемой энергии и пр. дает существенный вклад в общую картину процессов. Современные представления о сейсмоактивных зонах Арктики отражены в исследованиях (*Аветисов, 1996; Ассиновская, 1994; Юдахин и др., 2003*). Согласно (*Аветисов, 1996; Mitchell et al, 1990*), подавляющее большинство землетрясений связаны с сейсмоактивной зоной, протягивающейся через глубоководную часть Арктического бассейна до шельфа моря Лаптевых. В работе Б.А. Ассиновской дано подробное описание зон сейсмичности, обрамляющих Баренцево море (*Ассиновская, 1994*). Рассмотрены не только срединно-океанические хребты, как основные зоны сейсмичности в регионе, но и детально описаны области стыков тектонических структур и их граничные зоны. Как и в (*Аветисов, 1996*), отмечены лишь единичные случаи регистрации землетрясений с $M > 4.5$ из района континентального уступа Брусилова. Проведенное в (*Ассиновская, 1994*) обобщение сейсмичности и геолого-геофизических данных позволило

сформировать представление о зонах возможных очагов землетрясений (ВОЗ) (Ассиновская, 1999). Однако, пока нет столь подробных данных о сейсмически активной зоне подводного хребта Гаккеля. Возобновление работы сейсмической станции на архипелаге Земля Франца-Иосифа позволяет пополнить знания о сейсмичности в районе архипелага, а в дальнейшем и уточнить параметры этой зоны ВОЗ.

Далее в главе 1 проведен анализ развития сейсмологических наблюдений в Арктике и существующих каталогов. Сейсмические сети, проводящие мониторинг сейсмичности Евразийского, Норвежско-Гренландского бассейнов арх. Шпицберген и прилегающих районов, расположены на Скандинавском полуострове (в Норвегии – NORSAR и сеть Бергенского университета; национальные сейсмические сети Швеции и Финляндии), на о. Гренландии (сейсмическая сеть Дании), на арх. Шпицберген (NORSAR). Одиночными станциями на этих территориях представлена международная служба IRIS и сейсмическая сеть Польши. В России региональный мониторинг арктической зоны несколько десятилетий ведет Кольский филиал (КФ) Геофизической Службы (ГС) РАН (Виноградов и др., 2012) и, с недавнего времени – ИЭПС УрО РАН.

Анализ основных сейсмологических каталогов, содержащих информацию о сейсмических событиях в Евразийском и Норвежско-Гренландском бассейнах, показывает следующее. Данные о событиях предоставляют несколько европейских сейсмологических центров: ISC, NORSAR, Observatories and Research Facilities for European Seismology (ORFEUS), ГС РАН (в том числе КФ) и АСС, имеющая региональный статус. Каждая из служб имеет свои особенности, связанные с режимом формирования каталогов и бюллетеней (срочный, оперативный или уточняющий), зоной мониторинга, системой сбора данных (поступление информации в режиме on-line, сбор данных из других сейсмологических центров и т.д.).

Выводы

1. Литературный обзор показал, что из современных источников доступна информация о сейсмичности Арктики с магнитудой выше 3.5. Практически отсутствуют данные о слабой сейсмичности.

2. На основании обзора сформулированы задачи диссертации, в первую очередь – необходимость изменения конфигурации АСС, а также создание виртуальной арктической сейсмологической сети (ВАСС), способной осуществлять региональный мониторинг западного сектора арктической зоны РФ, дополняя знания о сейсмичности данными о слабых землетрясениях региона.

Глава 2. Аппаратурно-методическое обеспечение Архангельской сейсмической сети и возможности мониторинга Арктики

Результаты сейсмологических наблюдений во многом определяются аппаратурным оснащением станций и методами обработки записей. Именно поэтому в главе 2 приведено описание АСС: этапы изменения пространственной конфигурации, аппаратурного оснащения, системы сбора

данных и используемого программного обеспечения. Особое внимание уделено региональному сейсмическому мониторингу на базе станций АСС.

Изменение конфигурации АСС и методики обработки отразились на чувствительности и разрешающей способности сети. В период 2003–2010 гг. станции устанавливались исключительно в Архангельской области южнее Северного полярного круга, что не сказалось на регистрации землетрясений из районов Арктики. С 2011 г. были запущены сейсмические станции (с/с) в Заполярье: “Амдерма” (AMD) и на арктическом архипелаге – с/с “Земля Франца-Иосифа” (ZFI), а также изменен принцип обработки поступающей информации. Опробовались различные схемы, в результате чего получен, на наш взгляд, оптимальный регламент. В соответствии с ним анализ региональных сейсмических событий условно разбивается на два этапа.

1. Просмотр записей каждой из сейсмических станций и формирование промежуточного бюллетеня, максимально полно отображающего все, зарегистрированные на станциях АСС события.

2. Совокупная обработка зарегистрированных событий по набору станций ВАСС, формирование окончательного сейсмического бюллетеня и построение карты сейсмичности. Несмотря на то, что локация эпицентров производится по данным ВАСС, расчет магнитуды проводится только на станциях АСС (по техническим причинам).

Рассмотрим эффективность предложенного регламента на примере землетрясения в районе арх. Новая Земля 04.03.2014 г. (рис. 1). Анализ волновых форм с/с ZFI выявил наличие на записях сейсмического события, имеющего четкие вступления объемных волн на фильтре 4–8 Гц (рис. 1). Эпицентральное расстояние от станции ZFI 680 км. Предварительная оценка по данным одиночной станции ZFI предполагала, что, вероятнее всего, это землетрясение произошло либо вблизи арх. Шпицберген, либо в районе океанических хребтов Гаккеля или Книповича. Привлечение станций ВАСС (на арх. Шпицберген и в Норвегии) и совместная обработка показали, что эпицентр находится на Новой Земле.

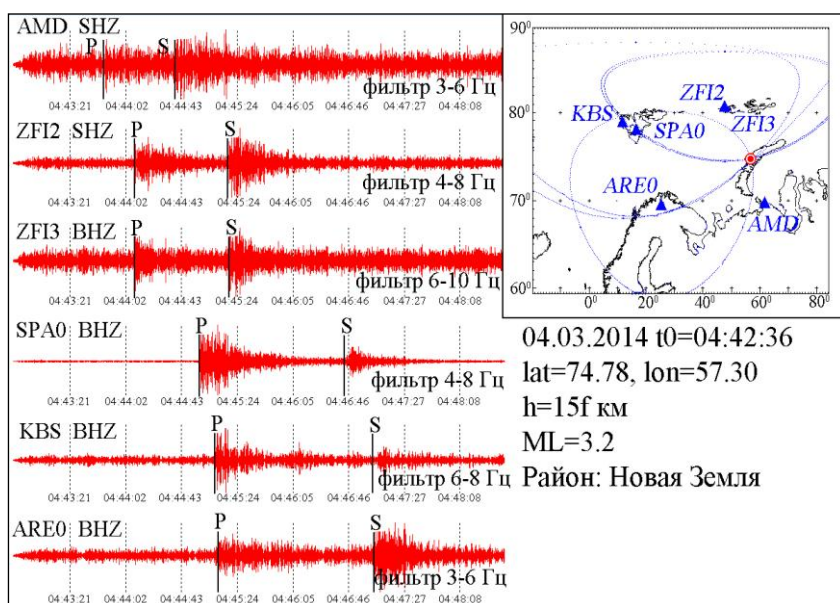


Рис. 1. Волновые формы и фрагмент обработки землетрясения на арх. Новая Земля 04.03.2014 г. AMD – с/с “Амдерма” ZFI2 – с/с “Земля Франца-Иосифа-2” ZFI3 – с/с “Земля Франца-Иосифа-3” SPA0 – центральный датчик группы SPITS KBS – с/с “Kingsbay” ARE0 – центральный датчик группы ARCESS

Все эти мероприятия привели к изменению количества регистрируемых землетрясений с арктических территорий. Представлена оценка чувствительности АСС в конфигурации 2003–2010 гг. (Юдахин и др., 2012; Morozov, Konechnaya, 2013), а затем с 2011 г. по настоящее время. Оценка магнитудной чувствительности при мониторинге западного сегмента Арктического региона проведена с помощью следующих подходов.

1. Составление и анализ сейсмического каталога АСС для основных районов Арктики, откуда регистрируются сейсмические события.

2. Сравнение каталога АСС с каталогами сейсмологической службы NORSTAR и ГС РАН, а также построение сравнительных диаграмм числа зарегистрированных событий разными службами.

3. Вычисление минимальных значений магнитуд.

4. Вычисление значения представительного уровня магнитуды путем построения графика повторяемости и пространственное распределение $M_{пред}$ для отдельных районов.

Помимо пространственной конфигурации сети станций, география мониторинга каждой сейсмологической службы определяется аппаратурной оснащенностью и задачами, стоящими перед ней. Станции и группы службы NORSTAR, благодаря своему расположению, позволяют вести мониторинг Скандинавского полуострова, Норвежского моря, арх. Шпицберген, Исландии, а также океанических хребтов Книповича, Мона. В каталогах АСС, как и в NORSTAR, отмечены события из Скандинавского и Кольского полуострова, но лишь наиболее сильные. После 2011 г. АСС стала охватывать территорию хр. Гаккеля, в то время как в NORSTAR эта зона представлена лишь частично. АСС наравне с NORSTAR проводит мониторинг хр. Книповича и арх. Шпицберген. Кроме того, в каталогах NORSTAR встречаются лишь сильные события с Урала и из северной акватории Баренцева моря, что успешно наблюдает АСС. ГС РАН регистрирует сильные землетрясения из разных районов Арктики, включая территорию Гренландии, Аляски и Северной Канады. Это объясняется большим числом станций, входящих в систему глобального сейсмического мониторинга. В отличие от ГС РАН, Архангельская сеть не способна проводить мониторинг столь удаленных районов.

Сравнение каталогов дает лишь общую информацию о возможностях АСС по сравнению с другими сетями. Наиболее объективную информацию о чувствительности сети можно получить, используя экспериментально полученные значения магнитуд. Оценка магнитудной чувствительности сети проводилась путем анализа значений минимальных магнитуд в разных районах Арктики (табл. 1) и построением графика повторяемости. Из анализа таблицы 1 видно, что регистрационные способности АСС улучшились в 2011–2013 гг. для районов хребта Гаккеля, архипелага Шпицберген и северной акватории Баренцева и Карского морей. Поскольку хребет Мона после реорганизации системы мониторинга попал в зону “тени”, сложно судить об уровне минимальных магнитуд. В табл. 1 приведены коды станций, используемых в приоритетном порядке при обработке землетрясений. Очевидные изменения

произошли в западном секторе арктической зоны РФ и в районах хребта Книповича и архипелага Шпицберген. Изменение приоритета станций АСС позволило улучшить регистрационные возможности и точности локаций.

Таблица 1

Значения минимальных магнитуд землетрясений и коды станций для разных регионов Арктики

Регион	2003–2010 гг.		2011–2013 гг.	
	M_{\min}	станции АСС*	M_{\min}	станции ВАСС*
хр. Книповича	2–3	KLM, LSH, SLV	2–3	ZFI, SPA0, KBS
хр. Мона	2–3	KLM, LSH, SLV	–	KLM, LSH, SLV
хр. Гаккеля	3–4	KLM, LSH, TMC	2–3	ZFI, SPA0, KBS
арх. Шпицберген	3–4	KLM, LSH, TMC	2–3	ZFI, SPA0, KBS
Кольский п-ов	2–3	TMC, SLV, KLM	2–3	SLV, ARE0, KLM
Скандинавский п-ов	2–3	TMC, SLV, KLM	2–3	SLV, ARE0, KLM
сев.-зап. склон шельфа Баренцева моря	3–4	KLM, LSH, SLV	2–3	ZFI, SPA0, KBS
сев. склон шельфа Баренцева моря	–	KLM, LSH, TMC	1–2	ZFI, SPA0, KBS
Полярный Урал, Новая Земля	3–4	PRG, LSH, KLM	2–3	AMD, SYKT, PRG

*- станции, используемые в приоритетном порядке при обработке

Информация о минимальных магнитудах сейсмических событий, зарегистрированных АСС, позволяет судить о ее чувствительности. Однако, чтобы определить, события какой магнитуды для данного региона регистрируются достоверно без пропусков, необходим другой подход. В частности, на основе данных каталога АСС был построен кумулятивный график повторяемости событий (рис. 2).

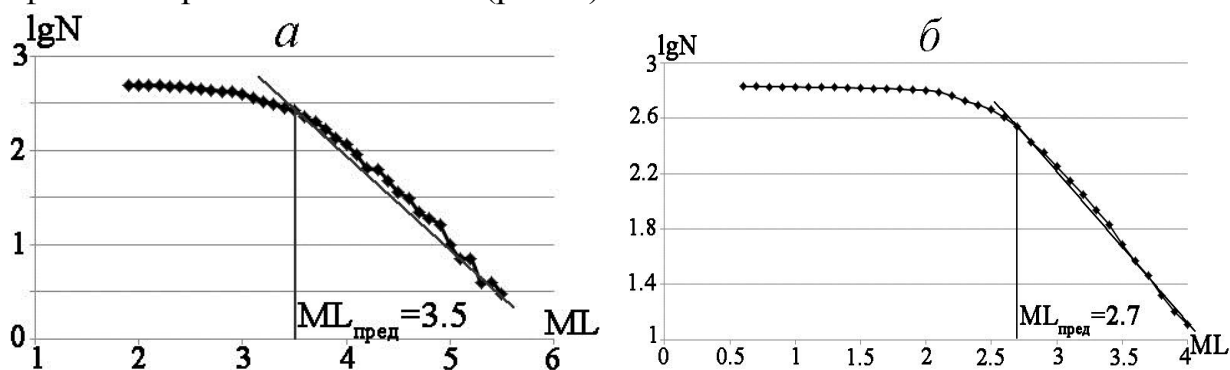


Рис. 2. Кумулятивный график повторяемости сейсмических событий Арктического региона за период: а – 2003–2010 гг.; б – 2011–2013 гг.

Для периода 2003–2010 гг. представительный уровень магнитуды M_L определен как равный 3.5 (рис. 2а). После изменения конфигурации сети и системы обработки данных представительный уровень магнитуды АСС снизился до значения 2.7 (рис. 2б).

Более подробно в гл. 2 рассмотрена зона хр. Гаккеля ввиду ее “появления” на картах сейсмичности после установки станции на арх. Земля Франца-Иосифа. Распределение представительного уровня магнитуды (рис. 3б)

соотносится со значениями минимальных значений магнитуд ML_{\min} (рис. 3а): так же, как и для ML_{\min} , по мере удаления очагов от станции, значения представительного уровня растут. На ближайших расстояниях (около 600 км от станции ZFI) уровень $ML_{\text{пред}}$ варьируется от 2.1 до 2.4. По мере удаления от сейсмических станций (0–6° в.д.), значения $ML_{\text{пред}}$ увеличиваются. Это объясняется либо недостаточной чувствительностью станции ZFI в регистрации слабых землетрясений этого района, либо особенностями сейсмического режима (возможно, что эта зона более активна и преобладают более сильные события). Для уточнения этого вопроса необходимо дальнейшее накопление данных в течение нескольких лет.

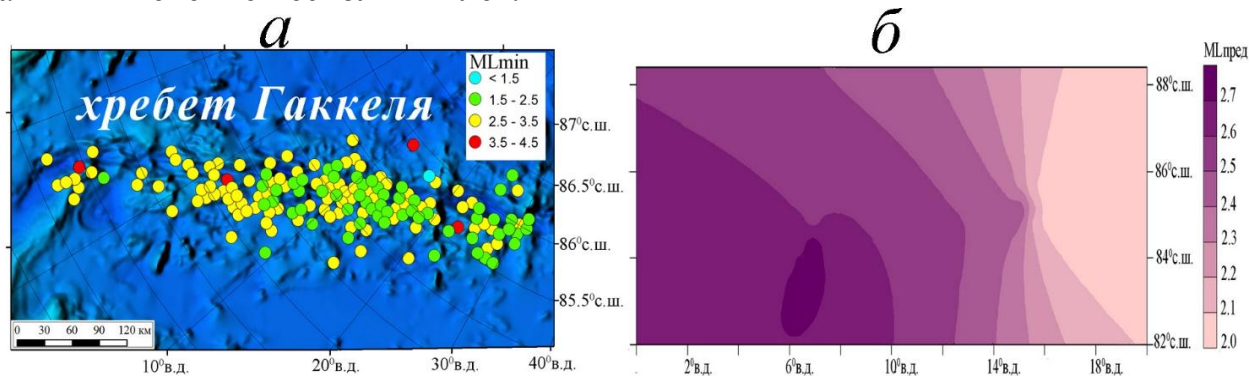


Рис. 3. Распределение магнитуды землетрясений ML вдоль хр. Гаккеля за 2012–2014 гг.: а – минимальные значения в ячейке размером 10×10 км; б – представительный уровень магнитуды

Кроме вычисления реальных значений ML_{\min} и $ML_{\text{пред}}$ полезно провести теоретические расчеты значений M_{\min} для сетей, занимающихся мониторингом Арктики (рис. 4).

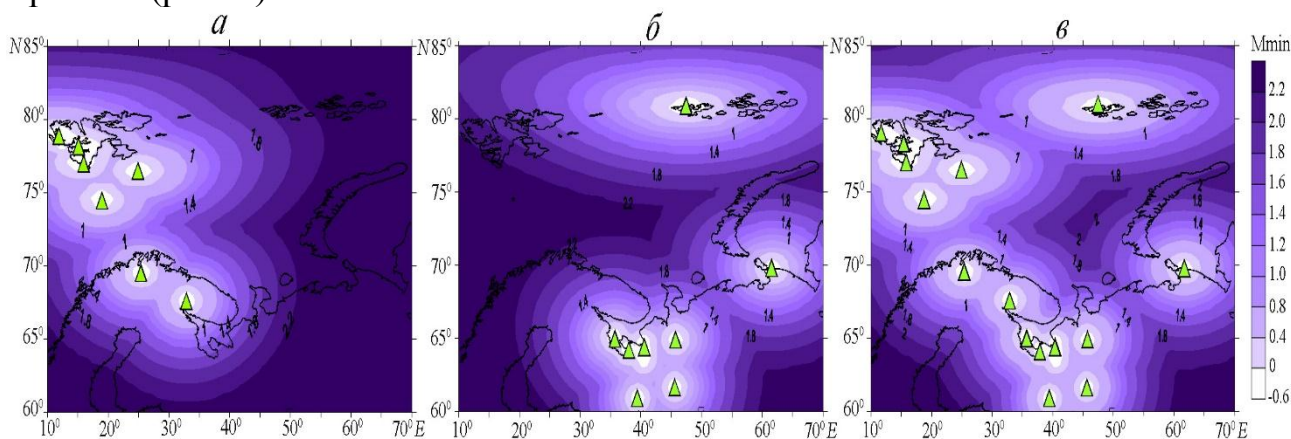


Рис. 4. Карты значений M_{\min} землетрясений, рассчитанных теоретически по программе (Бурмин, 2012), использовались данные станций: а – без учета АСС, б – только АСС, в – совокупности отечественных и зарубежных станций ВАСС

Методика вычисления подробно описана в работе (Бурмин, 2012). Расчеты M_{\min} позволяют оценить не только возможности отдельных станций, но и понять географию мониторинга. Сопоставление рис. 4,а и 4,б наглядно показывает, что АСС охватывает преимущественно Евразийский бассейн и Баренцево-Карский регион, станции, расположенные на арх. Шпицберген, севере Норвегии и на Кольском полуострове – Норвежско-Гренландский

бассейн и арх. Шпицберген. Совокупность сейсмических станций ВАСС (рис. 4в) позволяет, помимо регистрации сильных событий, проводить мониторинг слабой сейсмичности с $M_{\min}=2.0$ в Баренцевом и Карском морях.

Таким образом, приведенные оценки позволяют обосновать эффективность организации ВАСС для решения как частных (использовании исходных данных станций для улучшения локации), так и глобальных задач (создание общего сейсмического каталога арктического региона).

Выводы

1. Архангельская региональная сейсмическая сеть является полноценной сформировавшейся и действующей структурой, позволяющей вести сейсмический мониторинг Евро-Арктического региона. Существенно, что сеть расширяет географию мониторинга: играет важную роль в Баренц-регионе и обеспечивает наблюдения восточнее 30° в.д.

2. Развитие Архангельской сети и изменение ее конфигурации после 2010 г. положительно сказались на регистрационных возможностях сети и повышении ее магнитудной чувствительности ($M_{L_{\text{пред}}}$ снизилось со значений 3.5 до 2.7).

3. Разработан и отлажен постоянно действующий регламент обработки с выпуском ежедекадных промежуточных бюллетеней и итоговых ежемесячных каталогов. На сайте ИЭПС УрО РАН публикуются карты сейсмичности по данным АСС.

Результаты исследований, описанных во второй главе, обосновывают первое защищаемое положение.

Глава 3. Повышение точности определения пространственно-временных и энергетических параметров землетрясений по данным станций Архангельской сети

До установки сейсмических станций в Заполярье при оперативной обработке существовала проблема расхождения локации событий из арктического региона по данным станций только АСС и других сейсмологических центров. Для более подробного анализа ситуации были проведены тест-исследования (Ваганова, Конечная, 2009) с рассмотрением 35 событий, записанных АСС за февраль и март 2008 г. (рис. 5).

При первичной обработке координаты эпицентров были вычислены только по данным станций АСС. Как видно из рис. 5а, эпицентры не совпадают с данными каталогов NOR SAR и ССД ГС РАН.

Для улучшения локации эпицентров приняты некоторые меры. Во-первых, дополнительно привлечены данные станций виртуальной сети. При использовании станций ВАСС, близких к очагу, расширяется азимутальный створ. Во-вторых, применялись разные методики обработки данных: метод засечек и метод полного перебора. Показано, что оптимальным является метод засечек. В результате сокращается разброс эпицентров по долготе, координаты приблизились к таковым по данным NOR SAR – службы, ориентированной именно на данный район (рис. 5б). Сделан вывод о необходимости использования регионального годографа вместо мирового IASPEI91.

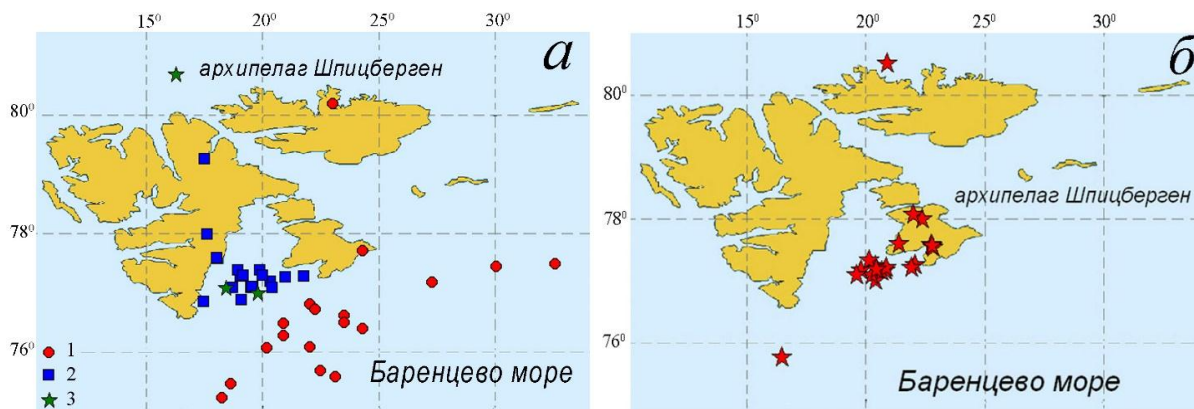


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Баренцева моря и Шпицбергена, на записях АСС в феврале-марте 2008 г., локация по данным:

а – АСС (1), NORSAR (2), ССД ГС РАН (3); б – сводной обработки ВАСС

Таким образом, тест показал пути возможного решения проблемы локации арктических событий. Были предложены к реализации следующие действия.

1. Подбор регионального и вычисление локального годографов.
2. Установка новых, предпочтительно островных, сейсмических пунктов наблюдений, что позволило бы решить, как минимум, две задачи: получить записи близкорасположенных к арктическим очагам станций и расширить узко азимутальный створ.
3. Активное привлечение в обработку данных сейсмических станций других сетей, преимущественно тех, которые расположены на арктических островах и приарктических зонах.

Подбор регионального годографа осуществлялся на основании расчетов для существующих скоростных моделей. Анализировались две модели – полученные в ИЭПС УрО РАН (Морозов, Ваганова, 2011) и в КФ ГС РАН (г. Апатиты) (<http://www.krsc.ru/defmon.htm>). Для проверки эффективности локации событий подготовлена подборка землетрясений (35 шт.), эпицентры которых находятся на разных расстояниях от станций АСС. В качестве “эталонных” координат эпицентров приняты данные каталога ISC (<http://www.isc.ac.uk>). Все события обработаны с помощью годографов NORP (ИЭПС УрО РАН) и Varents (КФ ГС РАН) по данным континентальных станций АСС (без учета заполярных станций, т.к. последние работают относительно недавно, не удастся составить хорошую подборку событий). Для сравнения эти же события были обработаны с помощью годографа IASPEI91, использовавшегося ранее в АСС. Сравнение результатов обработки, проведенной по трем годографам (IASPEI91, NORP и Varents) показывает, что, несмотря на явные недостатки в конфигурации АСС (без заполярных станций), наиболее приемлемым вариантом является использование годографа Varents, имеющего минимальное количество серьезных расхождений в расчете координат (рис. 6а) и времени в очаге (рис. 6б).

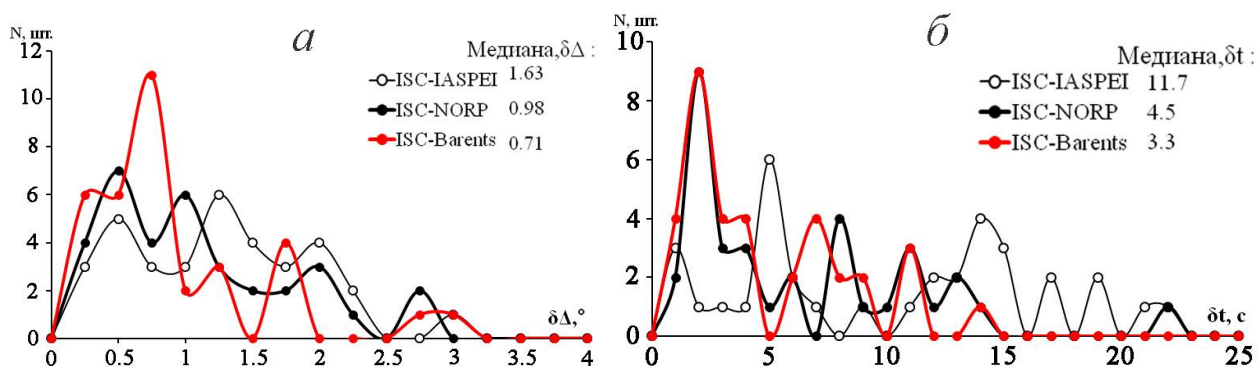


Рис. 6. Распределение отклонений при определении параметров эпицентров:
а – по эпицентральному расстоянию; б – по времени в очаге
черная линия – отклонения между расчетом ISC и ACC по годографу IASPEI
жирная черная линия – отклонения между расчетом ISC и ACC по годографу NORP
красная линия – отклонения между расчетом ISC и ACC по годографу Barents

При обработке взрывов из известных карьеров в Архангельской области по соотношению времен вступлений Р- и S-волн был вычислен локальный годограф. Его сравнение с региональными годографами показало, что для локации взрывов применим как локальный годограф, так и Barents.

Установка новых сейсмических пунктов наблюдений в Заполярье началась в конце 2010 г. с открытия станции в пос. Амдерма – с/с AMD, затем в 2011 г. в г. Нарьян-Мар – с/с NRM и на о. Земля Александры арх. Земля Франца-Иосифа – с/с ZFI. Записи каждой из них имеют свои особенности и регистрируют события из определенных районов. В западном секторе арктической зоны РФ – это уникальные станции, поэтому в гл. 3 аппаратное оснащение и характеристики получаемых записей для каждой из них рассмотрены подробно.

Тестовая эксплуатация с/с AMD начата с ноября 2010 г. (Юдахин, Конечная, 2011; Французова и др. 2013). Первоначально она была оснащена комплектом широкополосных сейсмометров CMG-3ESP (Guralp), полоса частот 0.033–20.6 Гц, что позволило оценить уровень естественных низкочастотных микросейсм. Позже, в 2012 г., аппаратура заменена на короткопериодную – CMG-40-T (Guralp), частоты 1–20.6 Гц, в связи с выявленной сложностью эксплуатации высокочувствительного датчика в суровых природных условиях и трудностей выполнения частой наладки.

Из региональных событий с/с AMD, в основном, регистрирует землетрясения арктического региона (рис. 7). На записях с/с AMD хорошо выделяются фазы региональных землетрясений по фильтру 1.5–3 Гц. В обработки также используются фильтры 1–3 Гц и 2–4 Гц. Несмотря на то, что амплитуда первого вступления Р-волны меньше, чем амплитуда вступления S-волны, это не мешает уверенному определению времени ее вступления. Использование записей с/с AMD в совместной обработке с другими станциями (рис.7) существенно улучшает локацию эпицентра за счет выгодного ее расположения. С запуском станции значительно улучшилась ситуация по обработке землетрясений из районов архипелагов Новая Земля и Земля Франца-

Иосифа, расширилась зона сейсмического мониторинга Ненецкого автономного округа и Полярного Урала.

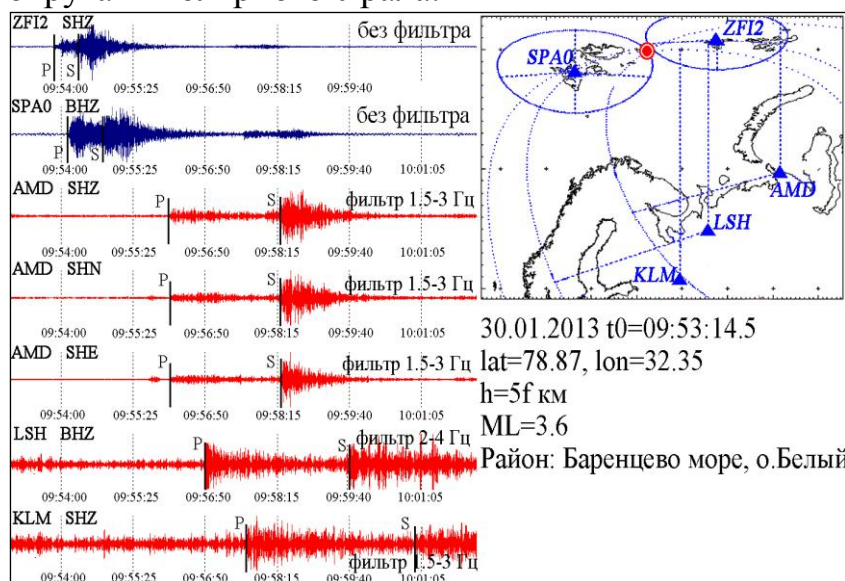


Рис.7. Сейсмические записи станции “Амдерма” в сводной обработке арктического землетрясения 30.01.2013г. ZFI2 – с/с “Земля Франца-Иосифа-2” SPA0 – центральный датчик группы SPITS AMD – с/с “Амдерма” LSH – с/с “Лешуконское” KLM – с/с “Климовская”

Наличие в 250 км от пос. Амдерма Воркутинского горнопромышленного узла обусловило регистрацию с/с AMD большого количества промышленных взрывов с магнитудами от 1.0 до 2.2. Большая часть техногенных событий, предположительно, приурочена к одному карьеру, находящемуся на эпицентральной расстоянии 2.4° . Для остальных взрывов значения эпицентральных расстояний составляют 2.6° и 2.7° . Ежемесячно на с/с AMD регистрируется до 45 техногенных сейсмических событий. Вступления этих событий хорошо выделяются при фильтрации в полосе 2–8 Гц и 3–6 Гц, а огибающие волновых форм разных событий имеют большое сходство. Таким образом, считаем что с/с AMD перспективна для мониторинга природных и техногенных событий.

На о. Земля Александры пункт сейсмических наблюдений ZFI – “Земля Франца-Иосифа” состоит из трех комплектов аппаратуры – два широкополосных сейсмометра CMG-6TD (Guralp), полоса частот 0.033–20.6 Гц, и один короткопериодный CMG-40-T (Guralp), полоса частот 1–20.6 Гц (Данилов и др., 2013). На записях, в основном, регистрируются региональные землетрясения из Арктики. Вступления фаз объемных волн (P и S) на сейсмограммах выделяются уверенно как по исходному сигналу, так и с помощью высокочастотных фильтров (2–8 Гц, 4–8 Гц, 3–6 Гц, 6–10 Гц и т.д.).

Локальные землетрясения ($\Delta < 200$ км), регистрируемые с/с ZFI, происходят в северной акватории Баренцева и Карского морей, в основном в районе склона континентального шельфа (более подробно пространственное распределение эпицентров рассмотрено в гл. 4). На записях с/с ZFI уверенно выделяются P- и S-волны, как на исходном сигнале, так и с помощью фильтров 6–10 Гц и 8–12 Гц. Амплитуда первого вступления P-волны меньше амплитуды вступления S-волны для локальных событий в отличие от записей региональных землетрясений, где амплитуды P- и S-волн довольно велики и сопоставимы. Поверхностных волн на записях станции не наблюдается.

На записях некоторых землетрясений, произошедших в районе океанического хребта Гаккеля, наблюдается присутствие так называемой Т-фазы (рис. 8), ассоциируемой с гидроакустической волной (Соловьев, 1980). Более подробный анализ записей Т-фазы показал, что ее длительность составляет порядка 3 минут, огибающая описывает сначала плавное нарастание амплитуды, а затем, плавный спад. Спектральный анализ выявил наличие высокочастотной компоненты в спектре Т-фазы. Диапазон частот, присутствующих в Т-фазе, достаточно широк – от 0.7 до 8 Гц, что, в целом, соответствует представлениям о ее природе.

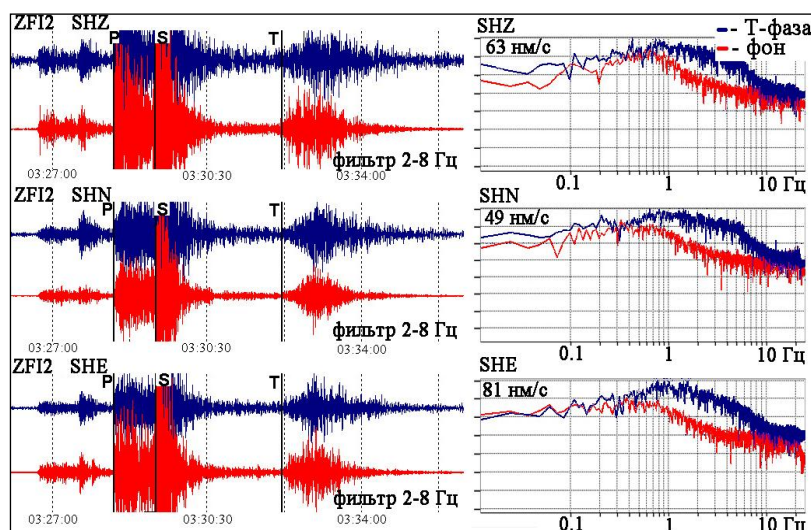


Рис. 8. Пример записи регионального землетрясения на с/с ZFI (26.05.2012 г., район арх. Шпицберген, $\varphi=86.04^\circ$ с.ш., $\lambda=30.80^\circ$ в.д., $m_b=5.2$) и амплитудный спектр Т-фазы в сравнении с микросейсмическим фоном ZFI2 – с/с “Земля Франца-Иосифа-2” SHZ, SHN, SHE – короткопериодные каналы с/с “Земля Франца-Иосифа-2”

Сейсмическая станция “Нарьян Мар” (с/с NRM) была открыта в 2011 г. на окраине г. Нарьян-Мар. Непрерывно получаемые в течение 2 лет сейсмические данные показали неудовлетворительное качество регистрации различного рода сейсмических событий. Для телесеизмических землетрясений, согласно построенному графику повторяемости, $m_{b,пред}=6.1$. При регистрации событий из Арктики и с приарктических территорий ($3^\circ \leq \Delta \leq 20^\circ$) на записях с/с NRM удастся выделять лишь наиболее сильные землетрясения ($m_b \geq 5.0$) на фильтре 0.7–1.4 Гц. Техногенные события из Воркутинского горнопромышленного узла зарегистрированы не были. Также на записях не было отмечено землетрясение, произошедшее на Полярном Урале в декабре 2012 г. с магнитудой $M_L=3.8$.

Из-за низкой эффективности для регионального мониторинга с/с “Нарьян-Мар” была закрыта в декабре 2013 г. Данный пример иллюстрирует оптимизацию конфигурации сети за счет избавления от “плохих” станций.

Привлечение волновых форм других сейсмических сетей (NORSAR, IRIS и др.) для уточнения координат эпицентров. Показано, что обработка землетрясений по данным ВАСС, включающей станции Баренц-региона, вполне достаточна для получения качественных данных о сейсмичности. При этом основу составляют данные АСС с заполярными станциями и использование годографа Varents. Для демонстрации эффективности ВАСС была проанализирована подборка землетрясений из основных сейсмоактивных районов Арктики: хр. Гаккеля и хр. Книповича, арх. Шпицберген и части приарктических территорий. Было проведено сравнение параметров событий

при обработке данных ВАСС с таковыми по каталогу NOR SAR путем построения распределений отклонений параметров (рис. 9). Средние отклонения координат эпицентров составляют около 30 км, время в очаге отличается в среднем на 3 с. Для региональных землетрясений такие отклонения принято считать хорошим результатом. В единичных случаях бывают большие отклонения. Например, событие на хр. Гаккеля 13.12.2012 г. службой NOR SAR лоцировано на расстоянии 400 км от эпицентров служб ССД ГС РАН, Orfeus и ВАСС. Основное число эпицентров имеет отклонения до 40 км по эпицентральному расстоянию и до 6 с по времени в очаге.

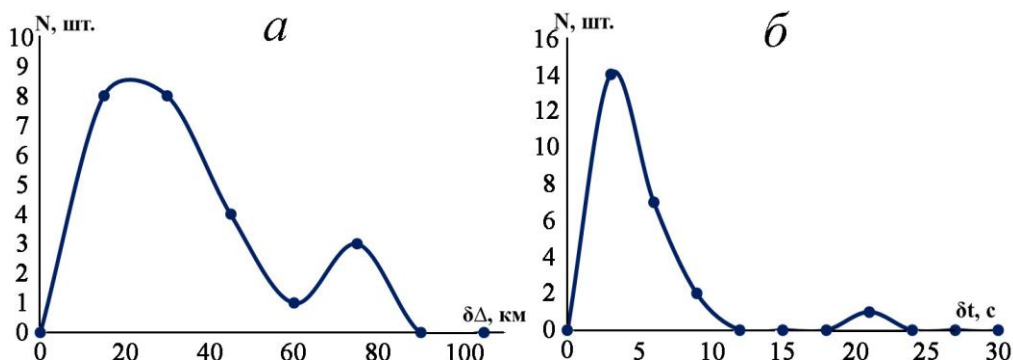


Рис. 9 – Распределение отклонений при определении параметров эпицентров по данным ВАСС и NOR SAR:

а – по эпицентральному расстоянию; б – по времени в очаге

Расчет абсолютной погрешности в локации эпицентров проведен для типичных землетрясений (высокое соотношение сигнал/шум при выделении вступлений, обработка минимум по трем станциям, $M_L \approx 3.0$) из разных районов Арктики. Оценка ошибок метода проводилась путем расчета эллипса ошибок в программе LocSAT (Bratt S.R., Bache T.C., 1988). Расчетные параметры эллипсов ошибок для набора землетрясений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры землетрясений и значения эллипсов ошибок

Дата	Время в очаге	φ , °N	λ , °E	h, км	Большая полуось a, км	Малая полуось b, км	Площадь эллипса, S , км ²	Район
03.11.14	03:40:00	79.55	3.93	10f	7.1	3.6	79.4	хр.Книповича
15.11.14	11:41:53	81.65	-3.25	10f	4.3	7.9	106.9	хр.Книповича
09.10.14	02:03:05	78.80	3.60	10f	5.0	7.3	116.0	хр.Книповича
11.10.14	01:42:02	80.01	-1.66	10f	4.3	8.0	108.0	хр.Книповича
04.10.14	12:05:43	77.16	19.16	10f	4.4	3.6	50.0	арх.Шпицберген
15.10.14	21:30:21	79.79	20.60	10f	3.8	3.2	38.4	арх.Шпицберген
14.11.14	14:28:21	77.06	19.27	10f	2.2	2.1	14.7	арх.Шпицберген
10.11.14	05:51:35	85.63	23.83	10f	8.5	5.6	149.5	хр.Гаккеля
10.11.14	22:04:17	84.53	3.11	10f	6.1	6.5	123.0	хр.Гаккеля
17.10.14	01:00:30	84.97	9.6	10f	8.2	6.4	166.5	хр.Гаккеля
18.10.14	15:52:38	85.02	11.11	10f	9.7	4.6	139.4	хр.Гаккеля
28.10.14	22:55:00	85.27	54.10	10F	7.1	5.6	124.0	хр.Гаккеля
30.10.14	15:10:36	86.54	51.29	10f	8.5	6.0	159.7	хр.Гаккеля
10.11.14	19:33:56	81.59	35.93	5f	7.5	2.8	66.3	желоб Франц-Виктория

Для хр. Книповича площадь эллипса ошибок (с 90% вероятностью) составляет порядка 100 км²; для арх. Шпицберген – ошибки минимальны (до 50 км²) при оптимальном расположении станций относительно очагов землетрясений. Наибольшие значения латеральных погрешностей характерны для района хр. Гаккеля (120–160 км²). Эпицентры землетрясений в данном случае удалены от регистрирующих станций на 600–700 км, причем и азимутальное расположение станций не позволяет повысить точность локации.

Таким образом, решение методических вопросов сейсмологических наблюдений (организация ВАСС и усовершенствование обработки данных) позволяет проводить сейсмический мониторинг арктического региона и сопредельных территорий с большей надежностью, чем по данным каждой из служб. Получаемый материал не только подтверждает данные об известной сейсмичности Арктики, но и дает сведения о малоизученных районах (восточнее 30° в.д.), а регистрация слабой сейсмичности позволяет исследовать более детально природные процессы.

Выводы

1. Использование регионального годографа Varents позволяет получать достоверные параметры эпицентров, регистрируемых сейсмических событий.
2. Вновь установленные станции “Амдерма” и “Земля Франца-Иосифа” являются ключевыми в АСС для регионального сейсмического мониторинга.
3. Для повышения точности локации необходимо включение в обработку дополнительных сейсмических станций ВАСС.

Результаты исследований, описанных в третьей главе, обосновывают второе защищаемое положение.

Глава 4. Уточненные представления о сейсмичности севера Русской плиты и западного сектора арктической зоны РФ

Результатом регионального сейсмического мониторинга с применением разработанных методических подходов стала регистрация около 1700 землетрясений, более, чем для 900 – получены координаты эпицентров. Анализ карты эпицентров с декабря 2011 г. по июнь 2014 г., т.е. фактически с момента ввода с/с ZFI (рис. 10), показывает, что наблюдаются проявления как межплитной, так и внутриплитной сейсмичности.

ВАСС позволяет получить новую информацию о сейсмическом режиме хр. Гаккеля, дополнить имеющиеся данные о землетрясениях хр. Книповича, Шпицбергенской зоны разломов. Хр. Мона лишь частично отображен на карте эпицентров, поскольку находится на более далеких расстояниях от станций ВАСС и регистрация всей группы объемных волн, необходимых для локации события, затруднена.

Основное количество сейсмических событий, регистрируемых в приарктических регионах (рис.10), имеют техногенную природу, связанную с добычей полезных ископаемых в шахтах и открытых карьерах.

Зарегистрировано несколько тектонических землетрясений в Архангельской области, в районе Полярного Урала и Новой Земли. Для каждого из них проведены обзор исторической сейсмичности и сопоставление с

тектоникой и данными других сейсмологических служб. Параметры эпицентров представлены в табл.3. (Конечная и др. 2012; Носкова, Пономарева, 2014; Конечная, 2015; Конечная и др., 2015).

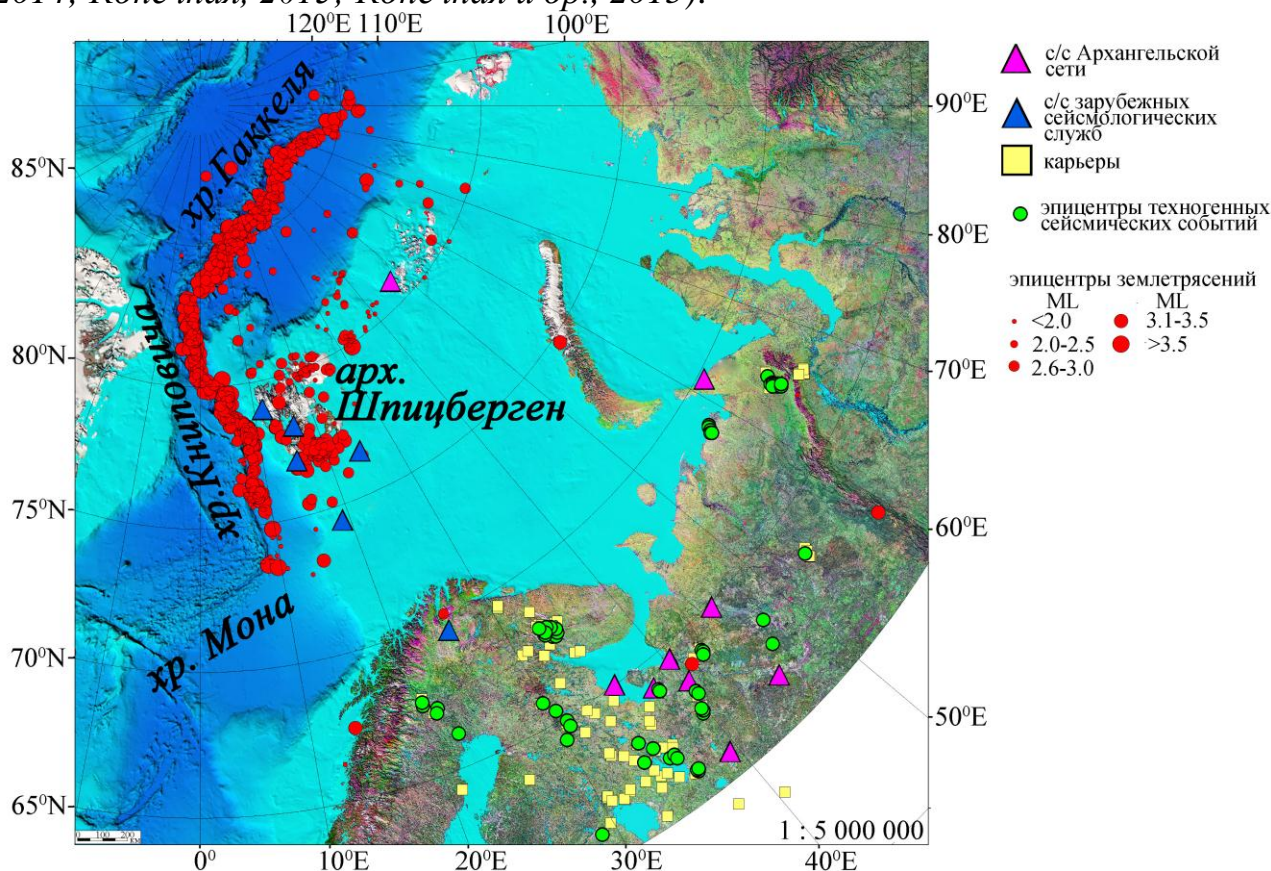


Рис. 10. Карта эпицентров сейсмических событий по результатам сейсмического мониторинга ВАСС с декабря 2011 г. по август 2014 г.

Таблица 3

Параметры эпицентров землетрясений, на территории Архангельской области, Полярного Урала, Новой Земли

Дата	Время в очаге	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\lambda, ^\circ$ в. д.	h, км	Магнитуда ML	Район
22.10.2005	17:46:44.2	64.55	41.00	3	2.9	Архангельская область
11.10.2010	22:48:19.8	76.20	64.60	-	-	Новая Земля
24.12.2012	06:22:39.1	66.68	64.15	10f	3.8	Полярный Урал
28.03.2013	07:02:16.0	63.91	41.44	15f	3.4	Архангельская область
28.01.2014	04:41:43.0	62.32	59.08	5f	3.1	Северный Урал
04.03.2014	04:42:36.0	74.78	57.30	15f	3.2	Новая Земля

Для землетрясения 28.03.2013 г. в Архангельской области вычислен механизм очага по знакам первых вступлений продольных волн (программа FA2011) (рис.11). Параметры первых вступлений были определены по 15 станциям, из них на 11 зарегистрированы волны сжатия, на 4 – волны разрежения (часть вступлений была определена И.П. Габсатаровой по данным ГС РАН). Тип движения по обеим плоскостям – сдвиг. Параметры плоскостей (Strike, Dip, Slip) следующие: для 1-ой плоскости 331.18, 79.42, 165,11; для 2-ой

плоскости 63.97, 75.37, 10.94. Вычисленный фокальный механизм очага землетрясения полностью согласуется с выводами о характерном для севера Русской плиты региональном субмеридиональном сжатии и субширотном растяжении в горизонтальной плоскости (Сим, Жиров, Маринин, 2011).

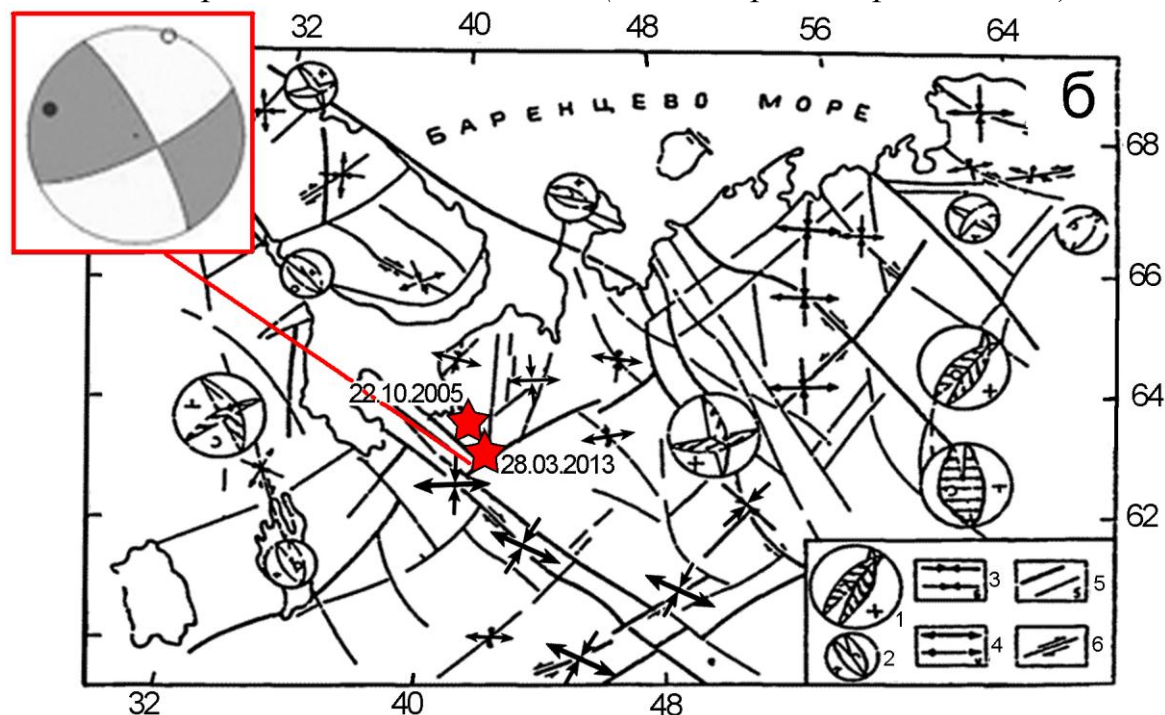


Рис. 11. Карта неотектонических напряжений европейского севера России (Сим и др., 2011) с эпицентрами землетрясений (звездочки) 22.10.2005 и 28.03.2013 гг., на врезке – механизм очага землетрясения 28.03.2013 г:

тектонические напряжения первого (1) и второго (2) порядка, восстановленные кинематическим методом по зеркалам скольжения (стереографические проекции, верхняя полусфера, оси: сжатия – крестики, растяжения – кружки; стрелки на плоскостях максимальных касательных напряжений указывают перемещение висячего крыла); субгоризонтальные оси сжатия (3) и растяжения (4) первого и второго рангов, восстановленные методом вторичных нарушений; 5 – неотектонические разломы первого и второго рангов; 6 – прогнозируемые сдвиговые смещения

Особенностью окраинных частей Баренцева и Карского морей является наличие крупных отрицательных морфоструктур, которые в литературе именуется трогами и/или грабенами. На севере – это желоба Орла, Франц-Виктория, Св. Анны, Воронина, Шокальского, Вилькицкого и Комсомольская правда (рис.12). Некоторые из этих желобов далеко впадают в шельф и разветвляются. В тектоническом отношении они представляют собой грабены, сформированные в результате одновременных тектонических и геоморфологических процессов. В работе (Верба, 2007) детально рассмотрена морфология, генезис и возраст краешельфовых желобов, обоснована их природа, связываемая с процессами рифтогенеза при зарождении Евразийского суббассейна на стадии “break-up”.

За период с октября 2011 по декабрь 2013 гг. в районе зоны перехода “континент-океан” Баренцево-Карского региона было зарегистрировано 66 землетрясений. Значения магнитуд M_L землетрясений варьируются от 0.9 до 3.6. Для каждого землетрясения были рассчитаны параметры очага. Однако из-за небольших значений магнитуд и удаленности сейсмических станций вычислить значений глубин не удалось.

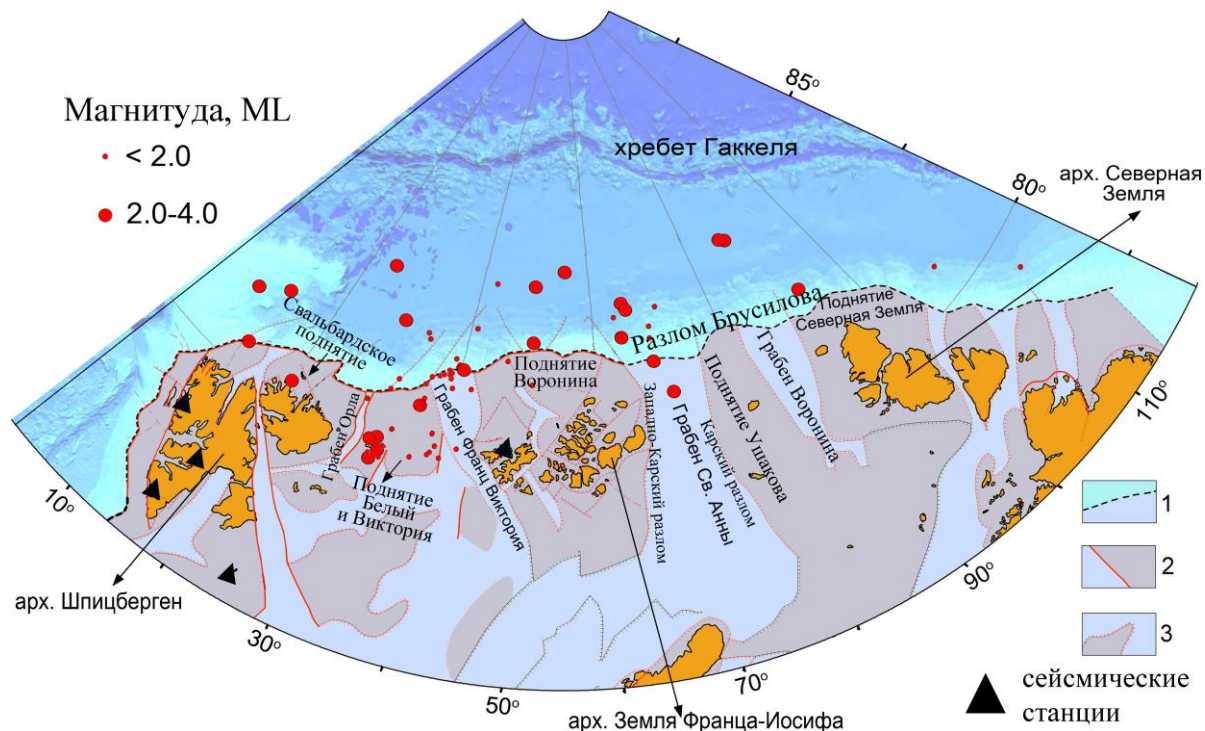


Рис. 12. Сопоставление эпицентров землетрясений в районе желобов Франц-Виктория и Орла (октябрь 2011 г. – декабрь 2013 г.), неотектонических структур и активных разломов (Атлас, 2004) в совмещении с батиметрическими данными (NOAA National Geophysical Data Center):

1 – край континентального шельфа, перегиб флексурно-разрывной зоны; 2 – главные неотектонические разломы; 3 – границы разрывных нарушений

Пространственное распределение эпицентров имеет ряд характерных особенностей (рис. 12). Точность определения эпицентров в рассматриваемом районе (площадь эллипса) – 70 км^2 (табл. 2). Прослеживается четкая приуроченность эпицентров землетрясений к отрицательным морфоструктурам континентального склона (грабенам). В районе грабенов эпицентры землетрясений расположены также неравномерно и тяготеют к их устьевым частям. Значительная часть эпицентров приурочена к поднятию Белый и Виктория между грабенами Орла и Франц-Виктория (рис. 12). В частности, можно отметить в районе поднятия зону повышенной сейсмичности около о. Белый. За период наблюдений здесь было зарегистрировано восемь землетрясений, среди них три землетрясения с магнитудами 2.8, 2.9 и 3.6. Остальные эпицентры сосредоточены в северо-восточной и юго-восточной частях поднятия.

В 2006–2009 гг. сотрудниками Геологического Института РАН совместно с Норвежским Нефтяным Директоратом были проведены три экспедиции по

уточнению строения отдельных участков зоны перехода “континент-океан” северо-западного обрамления Баренцева моря (Зайончек и др., 2010). В ходе экспедиций на континентальном склоне Северного Ледовитого океана была выявлена система крупных оползневых тел. Ранее оползневые тела были обнаружены на континентальном склоне Норвегии, в грабене Литке и на продолжении пролива Хинлопен (Hjelstuen et al., 2007; Vanneste et al., 2006; Winkelmann et al., 2007). Также в одной из экспедиций в толще грабена Орла были выявлены признаки интенсивного выноса крупнообломочного материала турбидитной фракции и формирование конусов выноса. На западном борту наблюдались нарушения, возникающие, скорее всего, из-за изостатической компенсации лавинного осадконакопления. Поэтому можно предположить, что восточные грабены, начиная с грабена Франц-Виктория, также являются своего рода каналами для транспортировки осадочного материала.

Характер проявления сейсмичности в западной части шельфа Баренцева моря в районе континентального склона изучался в КФ ГС РАН (Виноградов, Баранов, 2013). Для слабой сейсмичности ($M \leq 2.2$) в районе от пролива Стурфьорд до о. Медвежий выявлена сезонность в количестве зарегистрированных землетрясений. Выдвинута гипотеза, согласно которой большая часть слабых землетрясений является следствием оползневых процессов на крутых участках шельфа, а их сезонность – результат резкого изменения массопотока аллювиального материала в теплый сезон года. В частности, анализ записей сейсмической группы SPITS, выявил волновые формы от оползневых явлений на севере Шпицбергена (Виноградов, Баранов, 2013).

Таким образом, обобщая имеющиеся геофизические, геотектонические и полученные нами сейсмические данные, можно предположить, что преобладающим геодинамическим фактором, отвечающим за возникновение слабых землетрясений, является изостатическая компенсация лавинного осадконакопления в зоне перехода “континент-океан”.

Выводы

1. Приарктические территории не являются асейсмичными, что подтверждается произошедшими землетрясениями в Архангельской области, на Полярном Урале и Новой Земле. Большинство из них имеют магнитуду выше 3.0.

2. Полученные сейсмические данные позволили впервые изучить характер проявления слабой сейсмичности в зоне перехода “континент-океан” Баренцево-Карского региона. Регион можно охарактеризовать как сейсмически активный. В течение периода наблюдений было зарегистрировано 66 землетрясений со значениями магнитуд от 0.7 до 3.6.

3. Прослеживается четкая приуроченность эпицентров зарегистрированных землетрясений к отрицательным морфоструктурам континентального склона (грабенам). В районе грабенов эпицентры землетрясений тяготеют к их устьевым частям.

Результаты исследований, описанных в четвертой главе, обосновывают третье защищаемое положение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование конфигурации сейсмической сети, нацеленной на арктические и приарктические территории, в том числе организация ВАСС, системы сбора данных и методов обработки сейсмологической информации частично компенсируют редкое расположение отечественных станций в Баренц-регионе. ВАСС включает АСС как основную сформировавшуюся и действующую структуру. Одной из задач АСС, как составляющей ВАСС, является сейсмический мониторинг западного сектора арктической зоны РФ. Региональный каталог, получаемый в процессе обработки сейсмических данных, представляет исключительный интерес и востребован на международном уровне для изучения современных сейсмических и геодинамических процессов севера Русской плиты и западного сектора арктической зоны РФ.

Основные результаты выполненной работы и выводы состоят в следующем.

1. Изменения конфигурации Архангельской сейсмической сети (пространственного расположения станций и аппаратного оснащения) эффективны для расширения регистрационных возможностей и повышения магнитудной чувствительности ($M_{L_{пред}}$ снизилось со значений 3.5 до 2.7).

Вывод 1 обосновывает 1 защищаемое положение.

2. Региональный годограф КФ ГС РАН является оптимальным при обработке землетрясений западного сектора Арктики по данным станций Баренц-региона, в т.ч. Архангельской сейсмической сети. Локальный годограф целесообразно использовать при обработке техногенных событий на территории Архангельской области.

3. Необходимо привлечение в совокупную обработку землетрясений исходных данных (волновых форм) станций сейсмологических служб, при этом достаточно использования данных служб Баренц-региона (GEOFON, IRIS и NORSAR).

4. Предложенные методы улучшения точности локации эпицентров землетрясений успешно апробированы в ходе регионального сейсмического мониторинга и введены в регламент рутинной обработки.

Выводы 2-4 обосновывают 2 защищаемое положение.

5. В районе грабенов Орла, Франц-Виктория и Св. Анны сейсмическая активность проявляется в их устьевых частях, в остальных они асейсмичны. Концентрация эпицентров слабых землетрясений в устьевых частях грабенов и вдоль континентального склона может быть объяснена изостатической компенсацией лавинного осадконакопления в зоне перехода “континент-океан”. Выявлена зона повышенной сейсмичности у о. Белый в районе поднятия Белый и Виктория.

Вывод 5 обосновывает 3 защищаемое положение.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК для предоставления основных научных результатов диссертации

1. Юдахин Ф.Н., Морозов А.Н., **Конечная Я.В.** Возможности Архангельской сейсмической сети для мониторинга Арктического региона // Геофизические исследования. М.: ИФЗ РАН, 2012. – Т.13. – № 3. – С. 74-84.
2. **Конечная Я.В.** Анализ сейсмичности в районе архипелага Земля Франца-Иосифа // Вестник САФУ. Сер. Естественные науки. – Архангельск: САФУ, 2013. – №1. – С.10–13.
3. Антоновская Г.Н., **Конечная Я.В.**, Морозов А.Н. Сейсмическая активность Арктической зоны: новые данные по Западному сектору // Проблемы Арктики и Антарктики. – No.2. – 2013. С.-Пб.: ГНЦ РФ “ААНИИ” ФС РФ Гидромет. по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – С. 16–25.
4. Данилов А.В., Антоновская Г.Н., **Конечная Я.В.** Особенности установки пунктов регистрации сейсмических событий в Арктическом регионе России // Сейсмические приборы. 2013. – Т.49. – № 3. – С. 5–24.
5. Морозов А.Н., Ваганова Н.В., **Конечная Я.В.** Сейсмичность северной акватории Баренцева моря в районе трогов Франц-Виктория и Орла // Геотектоника. М.: Геологический Институт РАН. – №3. – 2014. – С. 78-84.
6. Morozov A.N., Vaganova N.V., **Konechnaya Y.V.**, Asming V.E. New data about seismicity and crustal velocity structure of the “continent-ocean” transition zone of the Barents-Kara region in the Arctic // Journal of Seismology. Jan. 2015. – Vol. 19. – Iss. 1. – pp. 219–230.
7. Morozov A.N., **Konechnaya Y.V.** Monitoring of the Arctic region: contribution of the Arkhangelsk seismic network // Journ. of Seismology. Apr. 2013. – Vol. 17. – Iss. 2. – pp. 819-827.

Публикации в других журналах, научных сборниках и материалах конференций

8. Конечная Я.В., Ваганова Н.В. Опыт обработки землетрясений Арктического региона Архангельской сетью сейсмических станций // Десятая уральская молодежная научная школа по геофизике: сборник науч. материалов. – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2009. – С. 109-114.
9. Юдахин Ф.Н., Конечная Я.В. Первые результаты эксплуатации сейсмической станции «Амдерма» в составе Архангельской сети // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы Шестой Междунар. сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН. – 2011. – С. 376-380.
10. Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Морозов А.Н., Носкова Н.Н. Землетрясение на Полярном Урале 24 декабря 2012 года // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Междунар. Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН. – 2013. – С. 179-183.
11. Конечная Я.В. Сейсмичность архипелага Новая Земля: исторический обзор и современные данные. Шестнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН. – 2015. – С. 183-188.
12. Konechnaya Y.V., Antonovskaya G.N. The seismic station “Franz Josef Land” // Book of abstracts 33rd General Assembly of the European Seismological Commission (GA ESC 2012), 19-24 August 2012, Moscow and Young Seismologist Training Course (YSTC 2012), 25-30 August 2012, Obninsk – M., PH “Poligrafiqwick”. – 2012. – P. 49-50.
13. Antonovskaya G., Konechnaya Y., Kremenetskaya E., Asming V., Kværna T., Schweitzer J., Ringdal F. Enhanced Earthquake Monitoring in the European Arctic. Polar Science. – 2015. – Vol. 9. – Iss. 1. – pp. 158-167.

Подписано в печать 08.02.2016
Объем: 1,0 усл. печ. л.
Тираж: 100 шт.
Отпечатано в типографии ООО «Гефест»
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, 52