

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экологических проблем Севера
Уральского отделения Российской академии наук

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук

Н.К. Капустян

Архангельск – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1	ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ.....	11
1.1	Роль геолого-геофизических исследований в освоении Арктики.....	11
1.2	Общие закономерности геодинамики, строения и сейсмичности арктической окраины России.....	14
1.3	Сейсмологические наблюдения в высоких широтах и задачи, требующие решения.....	24
1.4	Анализ каталогов, используемых для изучения Арктики.....	35
1.4.1	Международный Сейсмологический Центр (ISC).....	36
1.4.2	Норвежская сейсмологическая служба NORSAR.....	38
1.4.3	Объединение европейских сейсмологических обсерваторий и исследовательских Центров (ORFEUS).....	39
1.4.4	Геофизическая Служба РАН.....	40
1.5	Выводы.....	43
Глава 2	АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ И ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА АРКТИКИ.....	44
2.1	История развития, особенности и задачи Архангельской региональной сейсмической сети.....	44
2.2	Особенности систем сбора данных Архангельской сейсмической сети....	51
2.3	Структура системы регионального сейсмического мониторинга на основе данных Архангельской сейсмической сети.....	53
2.4	Программное обеспечение, применяемое при обработке сейсмологических данных АСС.....	58
2.4.1	Основные элементы WSG, используемые при обработке сейсмических событий.....	59
2.4.2	Использование дополнительных возможностей WSG и программы-утилиты.....	64
2.5	Чувствительность Архангельской сейсмической сети при мониторинге западного сектора арктической зоны РФ.....	66
2.6	Расчет теоретических значений M_{min} для станций Баренц-региона и возможности оптимизации Архангельской сети.....	81
2.7	Выводы.....	85
Глава 3	ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕТИ.....	87
3.1	Особенности обработки арктических землетрясений без учета полярных сейсмических станций.....	87

3.2	Выбор оптимального регионального и создание локального годографов для обработки сейсмических событий.....	92
3.2.1	Анализ существующих годографов для обработки арктических землетрясений.....	92
3.2.2	Построение локального годографа для территории Архангельской области.....	96
3.2.3	Проверка локального годографа.....	101
3.3	Анализ записей заполярных станций Архангельской сейсмической сети..	103
3.3.1	Сейсмическая станция “Амдерма”.....	103
3.3.2	Сейсмическая станция “Земля Франца-Иосифа”.....	108
3.3.3	Сейсмическая станция “Нарьян-Мар”.....	113
3.4	Совокупная обработка арктических землетрясений по данным станций Архангельской сети и других станций Баренц-региона.....	116
3.5	Выводы.....	122
Глава 4	УТОЧНЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРА РУССКОЙ ПЛИТЫ И ЗАПАДНОГО СЕКТОРА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ.....	123
4.1	Результаты регионального сейсмического мониторинга, проводимого на базе станций Архангельской сейсмической сети.....	123
4.2	Анализ тектонических землетрясений на севере Русской плиты.....	128
4.2.1	Землетрясение 22.10.2005 г. с $ML=2.9$	131
4.2.2	Землетрясение 28.03.2013 г. с $ML=3.4$	134
4.2.3	Сопоставление эпицентров с тектоническими данными.....	137
4.3	Анализ землетрясений в районе Полярного Урала 24.12.2012 г. и 28.01.2014 г.....	140
4.3.1	Землетрясение 24.12.2012 г. с $ML=3.8$	141
4.3.2	Землетрясение 28.01.2014 г. с $ML=3.1$	143
4.4	Землетрясение на Новой Земле 04.03.2014 г. с $ML=3.2$	145
4.5	Сейсмичность северной акватории Баренцева моря в районе желобов Франц-Виктория и Орла.....	150
4.5.1	Тектоника и геоморфологическая характеристика северной части Баренцева моря.....	150
4.5.2	Особенности обработки сейсмологических данных и анализ сейсмичности северной части Баренцева моря.....	154
4.6	Выводы.....	161
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	162
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	164
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	176
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	214
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	217

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В настоящее время на государственном уровне уделяется большое внимание освоению и развития арктических и приарктических территорий России. Обширные арктические континентальные шельфы – самая большая малоисследованная область из оставшейся на Земле (*Нефть и газ Российской Арктики, 2007*), 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*). Арктические территории долгое время использовались как могильники отработанного ядерного топлива и твердых радиоактивных отходов. С 1961 по 2003 гг. в Арктике затоплено около 18000 различных радиоактивных объектов, до сих пор не решен вопрос об их техническом состоянии и необходимости реабилитации. Одной из важных проблем безопасности природопользования в Арктике является близость расположения могильников к углеводородным районам, природная сейсмичность которых изучена недостаточно. Кроме того, при разработке месторождений возможен эффект техногенной и наведенной сейсмичности (*Богоявленский, Богоявленский, 2014*).

На приарктических территориях (в Архангельской и Мурманской областях) располагаются ответственные объекты Северного флота ВМФ, пограничных войск, оборонные предприятия по производству и ремонту атомных подводных лодок (г. Северодвинск), функционирует космодром “Плесецк”. Функционирование промышленных объектов в Арктике требует проведения экологического мониторинга для сохранения природы и климата Арктики. Изменение климата уже происходит: известны явления образования воронок (*Богоявленский, 2014*) на земной поверхности вследствие оттаивания вечной мерзлоты п-ва Ямал, где ведется активная добыча природного газа.

Государственная программа “Стратегия развития Арктической зоны РФ” нацелена на комплекс геолого-геофизических исследований, в том числе сейсмологических. Это важно как в практическом аспекте – для обеспечения сейсмической безопасности районов размещения промышленных объектов, так и в фундаментальном – для построения геолого-геофизической картины региона. При

этом сейсмологический мониторинг территории дает важную информацию о строении и геодинамике, но требуется определенная конфигурация сетей наблюдений (*Антоновская, Конечная, Морозов, 2013; Юдахин, Морозов, Конечная, 2012*). Существующие отечественные циркумполярные сейсмологические сети существенно отстают от зарубежных по количеству станций и их оснащению, что отражается на регистрации арктических землетрясений – магнитудной пространственной чувствительности. Кроме повышения магнитудной чувствительности, использование максимально возможного числа станций в обработке повышает и разрешающую способность регистрации землетрясений.

Каждая существующая сейсмологическая сеть проводит мониторинг определенной территории и, как правило, не охватывает всю территорию Арктики. Исключения составляют телесеismicические сети, но они имеют высокий магнитудный порог. А именно слабая сейсмичность ($M_L < 3.5$) важна для оценки сейсмического режима, его связи с геологическим строением и геодинамикой. (*Ассиновская, 1994; Аветисов, 1996; Юдахин, Французова, 2006; Mitchell et al, 1990*). В западном арктическом секторе РФ количество станций явно для этого недостаточно. Открытие одиночных станций на арктических архипелагах позволяет лишь увеличить число регистрируемых землетрясений в западном секторе российской Арктики. Существенно, что открытие каждой островной станции в Арктике – сложная инженерная и экономическая проблема, количество возможных пунктов невелико. При этом не достигается приемлемая точность локации эпицентров, что, прежде всего, относится к слабым землетрясениям.

Решение следует искать в изменении подхода в получении и обработке данных. Традиционно для локации землетрясений используют кинематические параметры записей – времена вступлений волн, данные собираются со всех доступных станций из разных сетей. При этом на станционных записях вступления должны быть достаточно отчетливы, плохо читаемые или слабые события к обработке не принимаются. Переход от интерпретации вступлений к анализу непосредственно волновых форм существенно меняет ситуацию. Даже если событие записано “хорошо” только на единичной станции, предпринимается поиск “слабых” вступлений на других станциях, что позволяет включить событие в

обработку. При наличии сейсмических групп, возможно “улучшение” вступления путем корреляционной процедуры.

Развитие современных технологий позволяет создать, так называемую, виртуальную сеть станций, суть которой состоит в использовании доступных данных станций региона. Причем, наиболее эффективно использование не времен вступлений, а исходных цифровых записей. Организация виртуальной арктической сейсмической сети (далее по тексту - ВАСС) позволяет объединить усилия каждой региональной сети сейсмических станций, снизить магнитудный порог, повысить разрешающую способность сетей и получить более полную картину сейсмичности Арктики.

Цель диссертационной работы: совершенствование методики анализа данных о землетрясениях западного сектора арктической зоны РФ на базе записей Архангельской сейсмической сети (АСС) с привлечением станций соседних регионов и зарубежных служб (GEOFON, IRIS и NORSAR) для выявления особенности пространственного распределения землетрясений и связи с морфологией дна Баренцева и Карского морей.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

– провести анализ регистрационных возможностей сейсмических станций в Баренц-регионе путем как теоретических расчетов, так и анализа экспериментальных данных;

– 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;

– 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.

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

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

По записям карьерных взрывов представлен локальный годограф для территории Архангельской области;

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 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).

На защиту выносятся следующие 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 (M_L 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 двух 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; Новханы, 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 диссертации опубликовано 60 печатных работ, в том числе глава в монографии (в соавторстве), два руководства (в соавторстве), семь статей в журналах, рекомендованном ВАК РФ, из них - две статьи в зарубежных рецензируемых журналах:

1. Юдахин Ф.Н., Морозов А.Н., Конечная Я.В. Возможности Архангельской сейсмической сети для мониторинга Арктического региона // Геофизические исследования. Москва: ИФЗ РАН, 2012. Т.13, № 3. С. 74-84.

2. Alexey N. Morozov, Yana V. Konechnaya. Monitoring of the Arctic region: contribution of the Arkhangelsk seismic network // Journal of Seismology. April 2013, Volume 17, Issue 2, pp. 819-827.

3. Конечная Я.В. Анализ сейсмичности в районе архипелага Земля Франца-Иосифа // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия “Естественные науки”. – Архангельск: САФУ им. М.В. Ломоносова, 2013. – №1. – С. 10–13.

4. 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. Санкт-Петербург: Государственный научный центр РФ “ААНИИ” Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. С. 16-25.

5. 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.

6. Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Конечная Я.В. Сейсмичность северной акватории Баренцева моря в районе трогов Франц-Виктория и Орла // Геотектоника. Москва: Геологический Институт РАН №3. 2014. С. 78-84.

7. Alexey N. Morozov, Natalya V. Vaganova, Yana V. Konechnaya, Vladimir E. Asming. 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. January 2015, Volume 19, Issue 1, pp. 219-230.

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.

Глава 1. ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ И СЕВЕРА РОССИИ

1.1. Роль геолого-геофизических исследований в освоении Арктики

Арктика – это стратегически важный регион, в котором сплетены политические и экономические интересы 8 циркумполярных (приарктических) государств: России, США, Канады, Норвегии, Дании, Финляндии, Швеции, Исландии. Этот регион включает морские пространства, в том числе Северный Ледовитый океан (СЛО) с островами, и прилегающие к северным морям материковые территории Евразии и Северной Америки.

Арктика – перспективный регион для разработок природного сырья. В 2008 г. представлена оценка возможных мировых запасов нефти и газа в Арктике (*U.S. Geological Survey*). С учетом будущих открытий новых месторождений в глубинах Арктики находится около 50 млн баррелей нефти и/или сжиженного газа. На нефтеносность исследованы береговые области России, Канады и Аляски (в основном, севернее от Северного полярного круга), но большая часть Арктики, особенно на удалении от береговой линии, по запасам сырья изучена значительно менее детально.

Северный полярный круг охватывает приблизительно 6 % поверхности Земли - область более 21 млн км², из которых около 8 млн км² принадлежит суше и более 7 млн км² – континентальному шельфу на глубинах в менее 500 м от поверхности воды. Обширный арктический континентальный шельф – самая большая географически малоисследованная и перспективная на углеводороды территория. (*Нефть и газ Российской Арктики, 2007*). Добыча углеводородов и связанные с ней сооружения инфраструктуры требуют проведения детального изучения территорий, в том числе геологических, геофизических и, в частности, сейсмических исследований по разным направлениям – от глубинного строения до сейсмрайонирования и оценки сейсмических воздействий на сооружения.

В соответствии с энергетической стратегией России на период до 2020 г. (*Об утверждении Энергетической стратегии РФ, 2003*), приоритетами энергетической политики в Северо-Западном федеральном округе будет развитие

нефтегазовой промышленности на побережье Северного Ледовитого океана и шельфах арктических морей. Национальные интересы России в Арктике заключаются также в том, что здесь имеется единственный безопасный, полностью контролируемый Россией выход в Мировой океан. Поэтому Арктика является важнейшей акваторией базирования морских стратегических ядерных сил Российской Федерации. Арктика – это арктический оборонный щит России: в Архангельской и Мурманской областях располагается Северный военно-морской флот (ВМФ), находятся пограничные войска, оборонные предприятия по производству и ремонту атомных подводных лодок (г. Северодвинск, г. Североморск), функционирует космодром “Плесецк”.

Планируемое освоение арктических шельфовых территорий может значительно усилить антропогенное воздействие на окружающую среду, повысить риски возникновения чрезвычайных ситуаций, вследствие природно-техногенных землетрясений и техногенных явлений: грязевого вулканизма, дегазации дна, процессов деструкции (Маловичко и др., 2014; Махутов и др., 2014). Все эти неблагоприятные явления, сопровождающие промышленную деятельность, ложатся на особо экологически “хрупкую” среду Севера. По оценкам специалистов нашего института (ИЭПС УрО РАН) восстановительные мероприятия требуют в разы больше времени и материальных вложений, чем в центральных областях РФ (Материалы совместного заседания Совета РАН..., 2010).

Арктические территории долгое время использовались как могильники отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и твердых радиоактивных отходов (ТРО). Согласно данным С.В. Антипова и В.Л. Высоцкого (ИБРАЭ РАН), представленным в докладах на совещании по “Комплексной безопасности - 2014”, за период с 1961 по 2003 гг. в Арктике затоплено около 18000 различных радиоактивных объектов (реакторы и суда с ТРО). До сих пор не решен вопрос об их техническом состоянии и необходимости их реабилитации.

Одной из важных проблем безопасности природопользования в Арктике является близость расположения могильников к углеводородным районам, перспективным в дальнейшем к разработкам. Эти территории связаны с проявлениями техногенной и априродной сейсмичности. Пример такой ситуации,

прежде всего, вокруг арх. Новая Земля (рис. 1.1). Все эти доводы придают особую актуальность и практическую важность сейсмическому мониторингу региона.

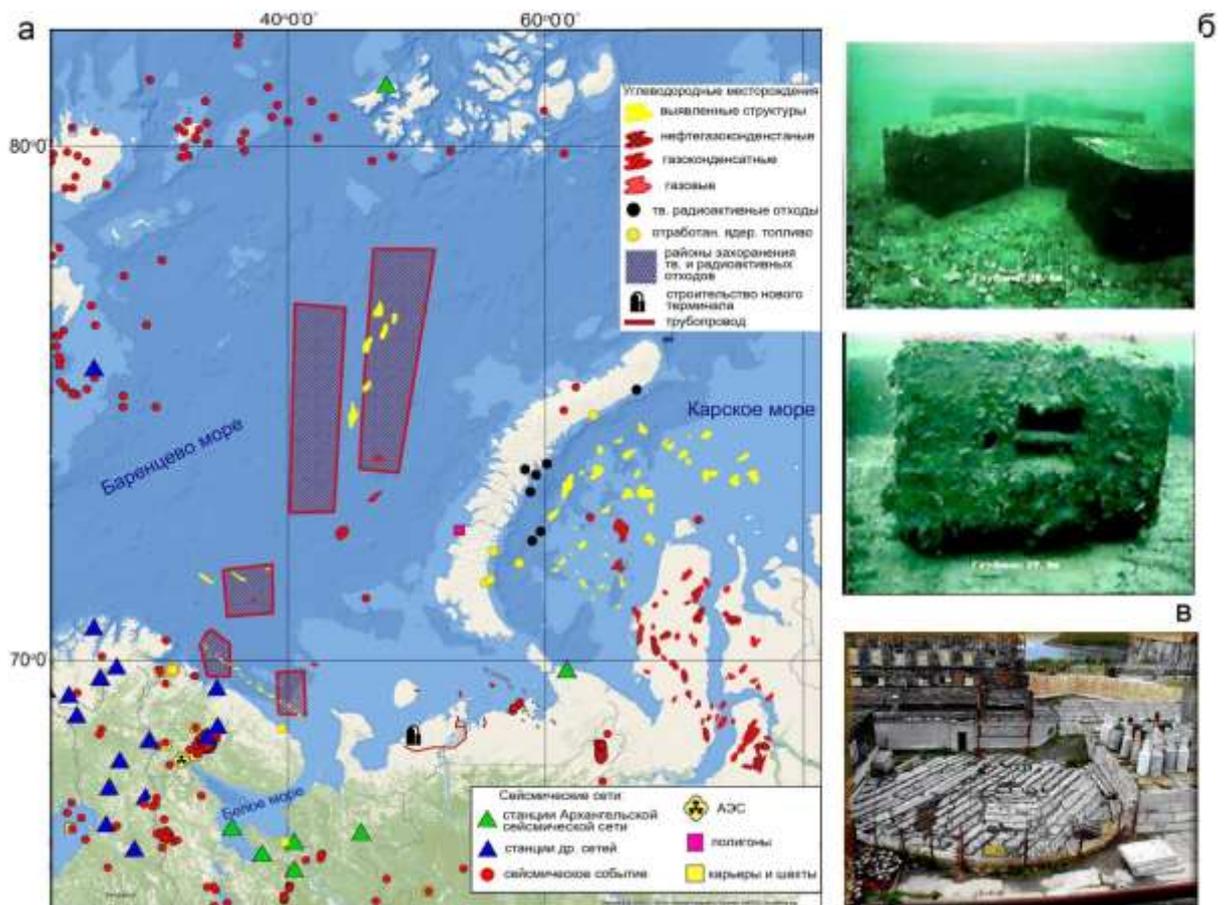


Рис. 1.1. Ответственные объекты акватории Западно-Арктического сектора РФ (Антоновская, Капустян, Кременецкая, 2014):

а – размещение объектов и сейсмическая активность (по данным NOR SAR, Архангельской сети); б – фото контейнеров ТРО на дне (по данным ИБРАЭ РАН); в – блок “сухого” хранения ОЯТ, Мурманская область (по данным ИБРАЭ РАН)

Основным предметом нашего исследования является западный сектор арктической зоны РФ, часть которого составляют платформенные территории с мощным осадочным чехлом и платформенным типом тектоники (Артюшков, Чехович, 2015), а преобладающую часть – акватории Северного Ледовитого океана.

Современные знания о геофизических процессах, происходящих в арктическом бассейне все еще недостаточно полны для понимания и формирования геолого-геофизической картины, как на глобальном уровне, так и по отдельным арктическим регионам (Лаверов и др. 2013). Активное изучение Баренцева Евро-Арктического региона приходится на период 80-90-х гг. прошлого столетия и, в основном, связано с геологоразведочными работами, по результатам

которых были открыты крупнейшие газовые и газоконденсатные месторождения (Дзюбло, 2009).

Разрозненность сведений, неполнота геолого-геофизических представлений и особо важный статус региона определяют первоочередную задачу диссертации – выполнение обзора с анализом изученности региона, возможностей использования имеющихся геолого-геофизических материалов и с указанием актуальных направлений исследований.

1.2. Общие закономерности геодинамики, строения и сейсмичности арктической зоны России

Уже в сводной работе 20-летней давности (*Геологическое строение СССР...*, 1989) показано, что шельфы окраинных морей Арктики не просто подводные продолжения платформ суши, случайно обрезанные океаном, как это представлялось ранее, а закономерное переходное звено в геодинамической системе, объединяющей древний Евразийский материк и активно развивающийся, молодой Северный Ледовитый океан.

В работе (*Геология и полезные ископаемые России, 2004*) выполнено деление арктической окраины на три составных части, различных по внутреннему строению и геодинамике: Западно-Арктический сектор (географически – Баренцево и Карское моря), Восточно-Арктический сектор (Восточно-Сибирское и Чукотское моря) и пограничную между ними область (море Лаптевых). Различия между секторами проявляются по всему набору поверхностных и глубинных параметров, начиная с рельефа дна. Остановимся более подробно на Западно-Арктическом секторе – предмете нашего исследования.

Шельф Западно-Арктический сектор – это гигантская чаша, ограниченная со стороны океана цепью окраинно-шельфовых островных поднятий, разделенных глубокими отрогами. Рельеф сильно расчленен, часто имеет блоковый характер. В неотектоническом плане Западно-Арктический сектор является проявлением высокоградиентной дизъюнктивной тектоники, связанной с океанообразованием в Евразийском суббассейне. Отсюда наличие переуглубленных желобов, глубины

моря до 500 м и т.п. Седиментация неустойчива, наблюдается донный перемыв осадков.

Эти особенности выражены и в геофизических полях (*Геология и полезные ископаемые России, 2004*). На западе на сводной карте аномального магнитного поля преобладают интенсивные положительные и отрицательные аномалии, как линейные (близкие к простиранию Новой Земли), так и изометричные. На востоке интенсивность аномалий существенно ниже, преобладают изометричные формы. Рельеф поверхности Мохоровичича в Западно-Арктическом секторе резко расчленен, в центральной и северной частях Баренцева моря и в Карском море наблюдаются области значительного утонения коры (“базальтовые окна”). Восточный блок характеризуется спокойными округлыми формами рельефа поверхности Мохоровичича.

Геодинамическая модель развития Арктического бассейна и строение основных тектонических структур наиболее полно отражены в работах (*Лаверов и др., 2013; Никишин и др., 2015; Артюшков, Чехович, 2013*). В глубоководной части Арктического океана выделяют три домена (рисунок 1.2): Канадский бассейн, Северный Амеразийский бассейн и Евразийский бассейн. В геологической истории развития (*Лаверов и др., 2013*) Арктики наиболее детально изучен кайнозойский спрединг хребта Гаккеля, который возник в результате вклинивания в Арктику Срединно-Атлантического хребта, что привело к образованию глубоководного Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана (рис. 1.2). Предполагается, что в процессе рифтогенеза и последующего спрединга от Баренцево-Карской континентальной окраины был отколот и затем отодвинут линейно вытянутый блок хребта Ломоносова, который в результате занял свое нынешнее пограничное положение, разделяющее два разновозрастных и различных по тектоническому генезису бассейна – Евразийский и Амеразийский. Происхождение Канадской котловины объясняется отрывом микроплиты “Чукотка – Арктическая Аляска” от Канадского Арктического архипелага с ее последующим столкновением с Евразией (*Никишин и др., 2015*).

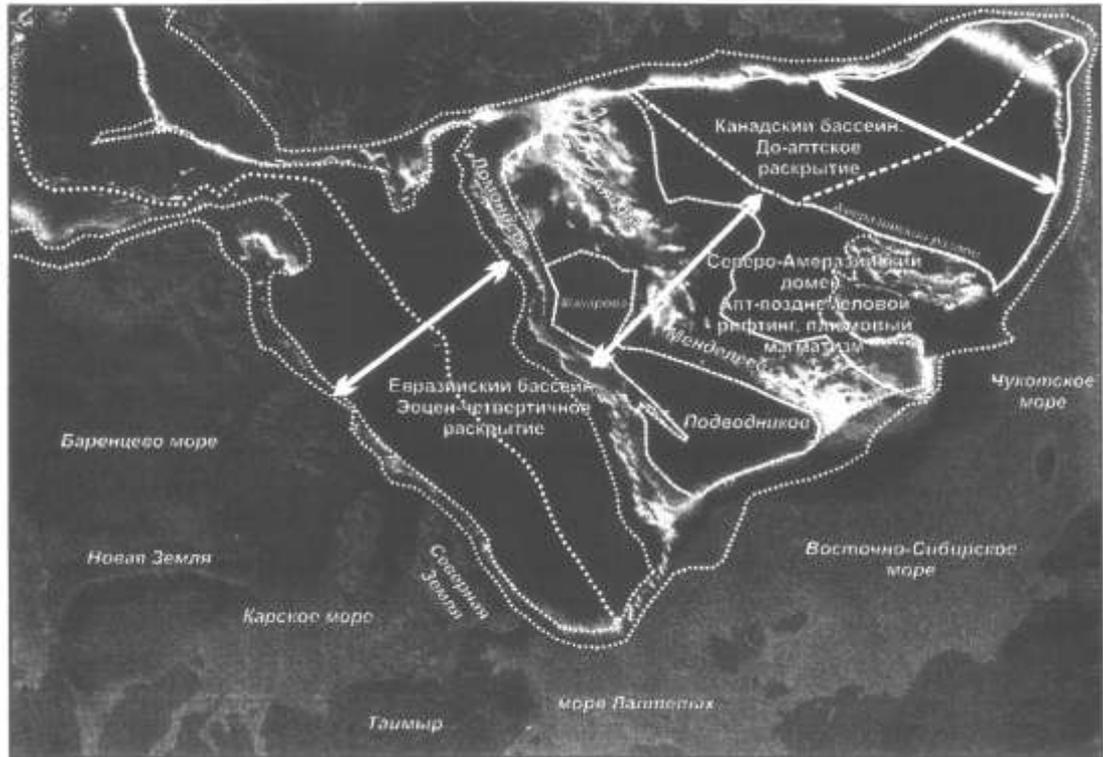


Рис. 1.2. Схема расположения трех основных доменов Арктического океана (Никишин и др., 2015)

На современную геодинамическую обстановку Баренц-региона влияют сеймотектонические деформации, происходящие в зоне Срединно-Арктического хребта. В его пределах отчетливо выделяются Верхоянский хребет, хребты Гаккеля, Книповича, Мона и Исландско-Янмайенский хребет. Сейсмодеформации в этих хребтах совпадают, на фоне сдвиговых деформаций отчетливо проявляется чередование участков с деформацией сжатия с участками растяжения (Беленович, 2005). В пределах области сочленения Северо-Атлантической и Арктических систем зафиксирована миграция очагов землетрясений по полукруговой траектории в направлении по часовой стрелке от севера хребта Книповича до его центральной части, а далее на север к Шпицбергенской зоне разломов (Мирлин, Синева, 1990). На рис. 1.3 представлена схема современного геодинамического режима Арктического сегмента (Кутинов, Беленович, 2005).

В результате анализа (Беленович, Кутинов, 2010) в пределах Евроазиатской литосферной плиты выделено четыре региональные зоны с левосторонним вращением: район о. Шпицберген; морфоструктурный узел сочленения Беломорского геоблока и Балтийско-Мезенской трансблоковой зоны; Полюдовское поднятие; Лаптевоморский шельф. Эти зоны создают локальные, региональные и

глобальные (в пределах Евразийской литосферной плиты) левосторонние вращения. Расчеты значений сдвиговых деформаций хр. Гаккеля и хр. Книповича. показывают, что требуется достаточно небольшое приложение сил (в геодинамическом смысле) для превышения реального порога прочности пород, при которых происходят землетрясения. Данные заключения подтверждаются активностью сейсмических событий в пределах этих зон.

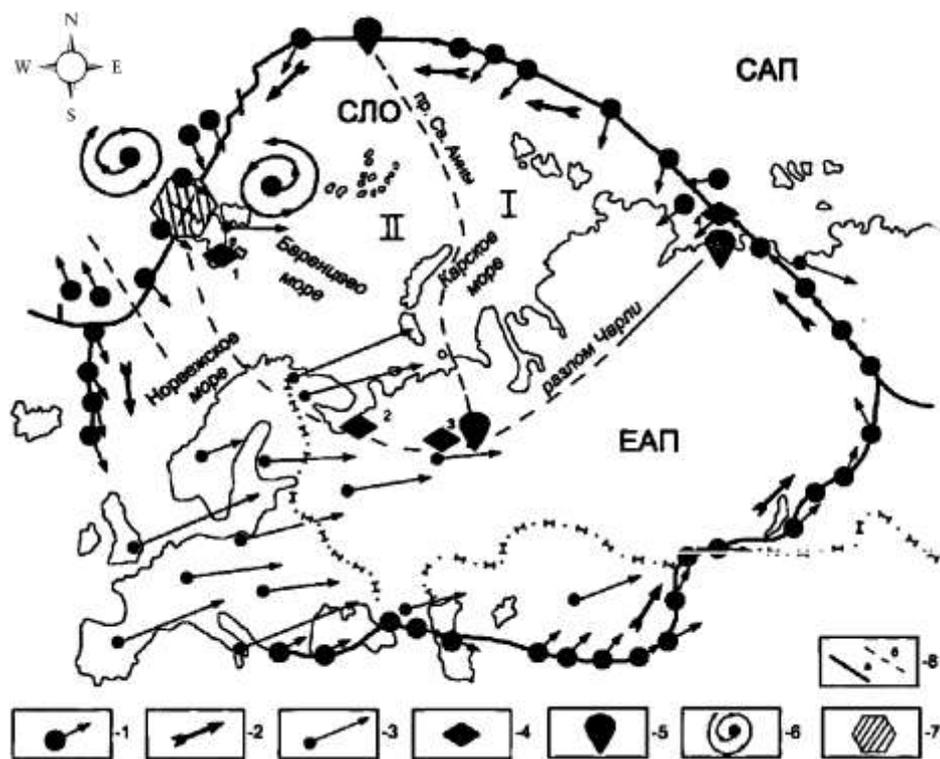


Рис. 1.3. Схема современного геодинамического режима Арктического сегмента по данным землетрясений за период 1964–1992 гг. вдоль северной и южной границ Евразийской плиты (Беленович, Кутинов, 2010)

1 – направления векторов скольжения горных масс в очагах сильных ($M > 5.0$) землетрясений; 2 – генерализованное направление векторов; 3 - направление векторов движения по данным спутниковой сети GPS; 4 – региональные зоны, в пределах которых проявились левосдвиговые смещения; 5 – полюса вращения литосферных плит; 6 – схемы разнотипной (лево – правосторонней) миграции в очагах слабых ($M = 2.8–3.5$) землетрясений; 7 – зона перемычка, разграничивающая разнотипную миграцию; 8 – граница Евразийской литосферной плиты (а); граница, выделенных микроплит и суперблоков (б).

ЕАП – Евразийская литосферная плита; САП – Северо-Американская плита.

Специфичность геодинамики спрединга Срединно-Арктического хребта проявляется и в характере сегментации (Мирлин, Синева, 1990; Мухамедиев и др., 2008). Срединно-океанические хребты (СОХ) с малыми скоростями спрединга (до 6.5–7.0 см/год) отличаются от быстро спрединговых хребтов большим количеством разломов на единицу длины. Это является следствием параметров

термопластичности литосферы, более холодная литосфера имеет большую плотность разломов. Рост рифтогенных структур, как континентальных, так и океанических, идет одновременно в двух направлениях: поперечное расширение (спрединг) и ортогональное продвижение в области более древней литосферы (модель продвигающегося рифта) (Аглонов, 1990; Мухамедиев и др., 2008).

Краткий обзор данных о геодинамике и общих закономерностях строения арктической окраины России демонстрирует их неполноту и значительную фрагментарность.

Привлечение к рассмотрению характеристик сейсмического режима, пространственно-временное распределение очагов, выделяемой энергии и пр. дает существенный вклад в общую картину процессов. Современные представления о сейсмоактивных зонах Арктики отражены в работах многих исследователей (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 (рис. 1.4).

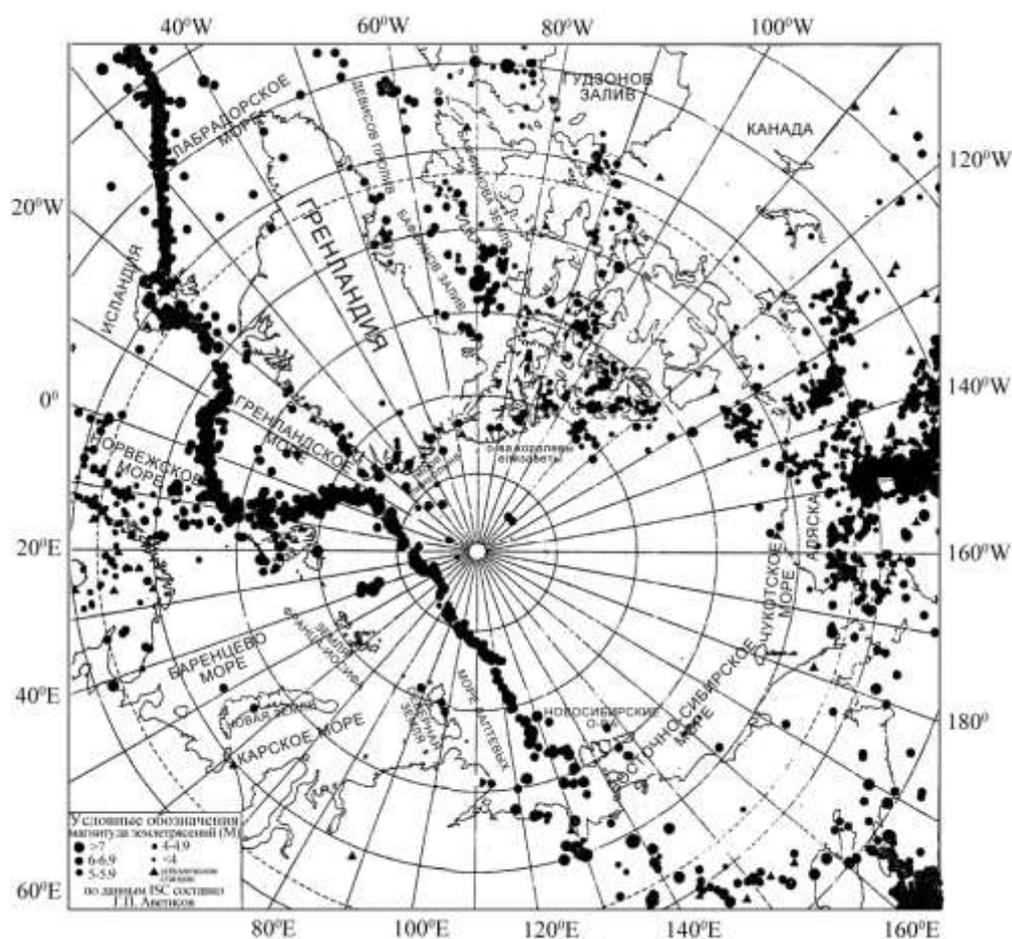


Рис. 1.4. Карта эпицентров землетрясений Арктики и субарктики (Аветисов, 1996)

Указанная зона является фрагментом глобального сейсмического пояса срединно-океанических хребтов, трассирующего дивергентные границы литосферных плит. В глубоководной части Северного Ледовитого океана она приурочена к гребню подводного хребта Гаккеля, являющегося продольной осью Евразийского суббассейна. По ней проходит граница Евразийской и Североамериканской литосферных плит. Срединно-Арктический пояс землетрясений, являющийся самым северным фрагментом глобальной системы рифтогенных сейсмических поясов, представляет собой единственную в Арктике область современной межплитной сейсмичности. Считается, что все остальные, достаточно многочисленные в Арктике, сейсмоактивные зоны не связаны с какими-либо межплитными границами и порождены воздействием на литосферу различного рода внутриплитных напряжений (*Аветисов, 1996*). Яркими примерами сейсмоактивных зон являются: Фенноскандия, архипелаг Шпицберген, Новосибирские острова, море Лаптевых, Баффинов залив и Баффинова земля, острова Королевы Елизаветы.

По общепринятому в настоящее время мнению возникновение напряжений, как следствие проявления сейсмичности, в основном обусловлено различной степенью воздействия трех факторов: частичной разрядкой напряжений, генерируемых в трансарктической межплитной зоне, разгрузкой от древнего оледенения и реакцией литосферы на давление мощных толщ осадков (*Bungum H., Lindholm, 1997*).

В работе Ассиновской Б.А. 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 единиц и граничные зоны. Однако, как и в (*Аветисов, 1996*), отмечены лишь единичные случаи регистрации землетрясений с $M > 4.5$ из района континентального уступа Брусилова. Проведенное обобщение сейсмичности и геолого-геофизических данных позволило сформировать представление о зонах возможных очагов землетрясений (ВОЗ) (рис. 1.5).

Как видно из рис. 1.5, распределение зон ВОЗ в Баренцевоморском регионе весьма неравномерно. Большая часть региона относится к асейсмичным областям,

причем, в основном, эти области располагаются в центральной его части. Сейсмически активны некоторые районы Балтийского щита, большая часть Свальбардской платформы и архипелага Шпицберген, районы, примыкающие к зоне Сеня и континентальному уступу Брусилова, локальные области Новой Земли. Ширина зон ВОЗ определена в (Ассиновская, 1994). Для хребтов Мона и Книповича она составляет около 50 км (при погрешности определения эпицентров 25-50 км); в зоне Земли Геера (арх. Шпицберген) 25-30 км. Ширина рифтовой долины в пределах отрезка Северо-Атлантического хребта, составляет 15-35 км, протяженность Шпицбергенского склона шельфа в поперечном сечении – 60 км. Таким образом, на основании этих данных для $m_{b_{max}}=6.0$ ширина зоны ВОЗ принята равной 50 км; $m_{b_{max}}=5.5$ – 23 км; $m_{b_{max}}=5.0$ – 5 км.



Рис. 1.5. Схема сейсмоактивных зон (зон ВОЗ) Баренцевоморского региона (Ассиновская, 1999).

Зоны, охватывающие узлы и линеаменты с различными значениями $m_{b_{max}}$: 1 – 6.0-6.2; 2 – 5.7-5.9; 3 – 5.4-5.6; 4 – 5.1-5.3; 5 – 4.8-5.0; 6 – 4.5-4.7. Линеаменты: 7 – уверенные с $m_{b_{max}}=4.0-4.4$; 8 – то же, неуверенные. Поля вне узлов и линеаментов с оценками $m_{b_{max}}$: 9 – 4.3-4.4; 10 – 3.9-4.2, уверенно; 11 – то же, неуверенно; 12 - $m_{b_{max}} < 3.9$.

Приведенные выше исследования (*Ассиновская, 1994*) являются примером выполнения детального анализа исследуемых территорий. Однако пока нет столь подробных данных о сейсмически активной зоне подводного хребта Гаккеля. Возобновление работы сейсмической станции на арх. Земля Франца-Иосифа позволяет пополнить знания о сейсмичности в районе архипелага, а в дальнейшем и уточнить параметры этой зоны ВОЗ.

На Европейском Севере сейсмичность имеет, в основном, техногенную природу и связана с выработкой полезных ископаемых. Наиболее сильные сейсмические события регистрируются из районов Швеции, Хибинского горного массива (Кольский полуостров). С возобновлением работы с/с “Амдерма” появилась возможность регистрации техногенных сейсмических событий Полярного Урала (район г. Воркута) (*Юдахин, Конечная, 2011*). Некоторые естественные, достаточно сильные, события, произошедшие на континентальной части арктического региона, являются отражением эффекта наведенной сейсмичности. Их возникновение напрямую связано с промышленной деятельностью (*Баранов и др., 2011*).

Очевидно, что открытие новых станций в районах с малой плотностью точек наблюдений дает новые сведения и позволяет уточнить существующие представления. Архангельская сейсмическая сеть (АСС) ИЭПС УрО РАН, функционирующая на севере европейской части России, за 10 лет работы показала способность решать задачи регионального сейсмического мониторинга Западной Арктики (*Сейсмологические исследования..., 2011*). В целом, распределение эпицентров землетрясений только по данным Архангельской сейсмической сети укладывается в современную картину сейсмичности региона. Таким образом, АСС дает возможность использовать преимущественно собственные данные для получения представительной картины сейсмичности и обосновывает принятый в диссертации подбор данных. Достоинства такого подхода состоят в следующем:

- известно качество данных и особенности регистрации сейсмических событий для каждой станции, полосы частот при подборе эффективной фильтрации и пр.;

- постоянный тотальный просмотр записей создает представление о мини-событиях, присущих для каждого пункта, что позволяет углубить обработку и

оценить статистические параметры потоков событий с определенного азимута или из конкретной зоны как, например, в (*Юдахин, Капустян, Шахова, 2008*).

На рис. 1.6 представлены фрагменты карт сейсмического районирования РФ. Существенно, что здесь нашли отражение имевшиеся детальные исследования (например, *Ассиновская, 1994*), но они фрагментарны. Хорошо видно, что арктические территории (в частности, арх. Земля Франца-Иосифа) менее изучены в этом аспекте, чем континентальные.

Результаты сейсмического мониторинга требуют детального сопоставления с геодинамическими и морфологическими данными изучаемого района. При этом важно убедиться, что сейсмические события, лоцируемые по данным АСС, приурочены к основным тектоническим структурам, что, помимо уточнения геодинамических процессов, является характеристикой эффективности и надежности получаемых данных.

Существенным является получение новых сведений о слабосейсмичных районах западного сектора арктической зоны РФ. Конечно, в пределе, при развитии сети желательно получить равномерное по представительной магнитуде покрытие региона, причем включая слабую сейсмичность. Реальным, по-видимому, на ближайшее десятилетие является концентрация исследований слабой сейсмичности в районах, связанных с промышленной сейсмобезопасностью (добыча углеводородов, строительство инфраструктуры, контроль районов захоронения отходов и пр.). Исследования последних лет обращены и на решение геополитической проблемы, связанной с картированием границ шельфа России.

Таким образом, общие закономерности сейсмического мониторинга Арктики для решения фундаментальных и прикладных задач определили задачу оптимизации конфигурации АСС. Одним из существенных аспектов этого является сложность установки станции в высоких широтах, ее содержание и передача данных.

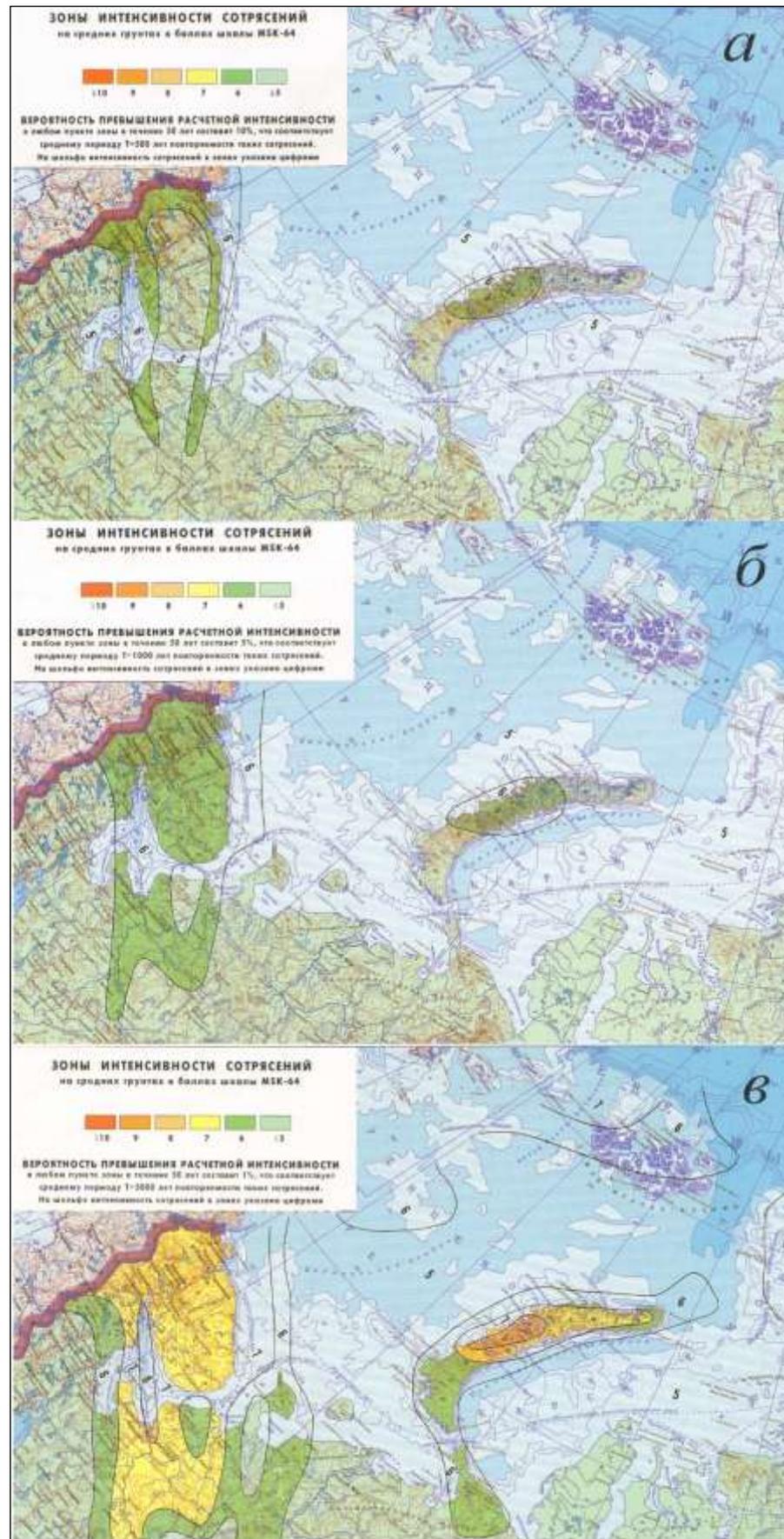


Рис 1.6. Карты сейсмического районирования территории РФ:
а – ОСР-97-А; б – ОСР-97-В; в – ОСР-97

1.3. Сейсмологические наблюдения в высоких широтах

Сейсмическая изученность территории в первую очередь определяется количеством и расположением наблюдательных пунктов. Сейсмологические исследования в Арктике начались с установки в 1906 г. станции “Abisko” в Швеции. Вместе со станцией “Scoresbysund”, установленной в 1928 г. в Гренландии, они были единственными полярными станциями до 1950 г. за исключением временных станций (1911–1912 гг.) на архипелаге Шпицберген (*Ассиновская, 1994; Виноградов и др., 2012*). Магнитудный порог регистрации землетрясений 5.5-6, что, конечно же, могло дать только поверхностное представление о сейсмичности Арктики.

Значительный вклад в понимание сейсмичности Арктике внесли работы Н.В. Райко и Н.А. Линден (*Райко, Линден, 1935*), которые, помимо подробной информации о сильнейшем землетрясении в Арктике от 20 ноября 1933 г. в море Баффина ($M_s=7.3$), составили каталог и карты, содержащие 88 землетрясений за период 1910–1934 гг. Анализ результатов опубликованных материалов доказывал существование сейсмического пояса, простирающего от Исландии через острова Ян-Майен, западный край Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа на север побережья азиатского континента (*Аветисов, 1996*).

Серьезная работа по обобщению данных о сейсмичности Арктики была осуществлена Д.И. Мушкетовым. Сведения, собранные И.В. Мушкетовым и А.П. Орловым (*Мушкетов, Орлов, 1893*), легли в основу каталога, содержащего 178 землетрясений (подавляющее большинство эпицентров располагалось за Северным полярным кругом). Этот каталог является наиболее полным обобщением сейсмичности Арктики на тот период. В работе (*Аветисов, 1996*) также отмечается, что Д.И. Мушкетов подчеркивал важность изучения сейсмичности Арктики и необходимость установки сейсмических станций в Арктике, в частности, на Земле Франца-Иосифа, мысе Челюскина, в Маточкином Шаре, в северной части Норвегии, Финляндии и Гренландии.

Следующий серьезный шаг в изучении сейсмичности Арктики связан с МГГ – Международным геофизическим годом (1957-1959 гг.). Несмотря на то, что

количество станций в Арктике увеличилось за десятилетие более чем в пять раз, сейсмические сети все еще были довольно редкими. Магнитудный порог регистрации уменьшился до $M=4.5-5$, для территории Фенноскандии, например, сейсмологам удалось регистрировать события с магнитудами до 3-3.5 (Ассиновская, 1994; Виноградов и др., 2012). В 1961-1970 гг. установка новых станций в Арктике была продолжена, однако их было по-прежнему очень мало, и интервалы их наблюдений не превышают нескольких лет или даже месяцев. В частности сеть из трех станций расположенных в 4 км друг от друга была развернута в 1961 г. на о. Ян-Майен. Существенное расширение сети в течение этого десятилетия произведено в арктической части Канады и на Аляске (Аветисов, 1996). Аналогичные количественные изменения в сети произошли в восточном полушарии - в Фенноскандии, на Шпицбергене, Северной России (Luosto, Huvönen, 2001; Виноградов и др., 2012).

Таким образом, к началу 1970-х годов в Арктике функционировало 20 станций. Магнитудный порог регистрации землетрясений соответствовал значениям $M=4-4.5$ в Арктике и $M=3-3.5$ в Фенноскандии (Ассиновская, 1994; Виноградов и др., 2012). В работе (Линден, 1959) на основе тщательного подхода к отбору и анализу фактического материала представлено наиболее полное и достоверное обобщение сейсмичности Арктики за период 1908-1958 гг. Данная работа была в течение нескольких десятилетий фактически основой для многих других работ, посвященных сейсмичности Арктики. В работе (Аветисов, 1996) говорится, что Н.А. Линден (1963) представляет каталоги сильных и слабых землетрясений Арктики за период МГГ. Среди публикаций, подводящих итоги МГГ, следует отметить работу (Hodgson, 1965), содержащую наиболее ценную информацию о координатах и основных параметрах всех арктических и субарктических станций. Важную роль играет также работа (Sykes, 1965), содержащая каталог и карту распределения эпицентров 281 землетрясения в Арктике, произошедшие с января 1955 по март 1964.

В течение двух следующих десятилетий (1970-1990) расширение сети наблюдений в Арктике проводилось только в Северной Америке, в первую очередь, на Аляске. Это расширение сети не сильно повлияло на общий

магнитудный порог для Арктики ($M=4-4.5$). В Канаде и на Аляске порог магнитуды снизился до 3.5–3.7 (Аветисов, 1996).

В Восточном полушарии к концу 1980-х годов были установлены станции на территории Норвегии (арх. Шпицберген). Российскими сейсмологами были открыты станции на арх. Шпицберген, на Кольском полуострове, а также после двадцатилетнего перерыва, ИЭПС УрО РАН возобновлена работа станции “Амдерма” (Юдахин, Конечная, 2011; Ассиновская, 1994; Аветисов, 1996).

В 1985–1988 гг. в северной Якутии начала функционировать региональная сейсмическая сеть, состоящая из 8 станций. Благодаря этой сети существенно увеличилась эффективность регистрации местных землетрясений вблизи континентальной части срединно-арктического пояса (Аветисов, 1996).

Важным событием стала договоренность о регулярной публикации каталогов землетрясений Арктики в таких изданиях как “Землетрясения в СССР”, “Землетрясения Канады” и “Землетрясения в Фенноскандии”. В (Аветисов, 1996) отмечается, что наиболее полное обобщение исследований в Арктике американских, канадских и скандинавских ученых сделано в монографии “The Arctic ocean region”.

Таким образом, в конце 1980-х годов в Арктическом регионе работали 43 станции, из которых 22 станции были расположены в Западном и, соответственно, 21 – в Восточном полушарии. В итоге, магнитудный порог чувствительности сейсмических станций в Арктике достиг $M=3.9-4$. В тоже время, в Северной Канаде и на Аляске магнитудный порог равен $M=3-3.5$, а в Фенноскандии не выше $M=2-2.5$ (Аветисов, 1996). К сожалению, в 1990 г. количество русских станций в Арктике резко сократилось. Из-за отсутствия финансирования закрылись станции “Kheis” на Земле Франца-Иосифа, “Пирамида” на Шпицбергене и несколько станций в окрестности г. Тикси (Аветисов, 1996; Виноградов и др., 2012; Маловичко и др. 2014).

За весь период инструментальных наблюдений с 1900 по 2000 гг. севернее полярного круга зарегистрировано более 14 тыс. землетрясений (*International Seismological Centre*). Для характеристики динамики наблюдений нами были построены карты распределения числа зарегистрированных землетрясений по десятилетиям XX в. по данным каталогов британской сейсмологической службы

ISC (*International Seismological Centre*). Согласно рис. 1.7 в первые два десятилетия XX в. суммарно было зарегистрировано не более 20 сильных землетрясений, произошедших севернее Полярного круга. По мере развития сети сейсмических наблюдений в Арктике, сведения о сейсмичности региона существенно расширились. Так в период 1920-40 гг. каждые 10 лет фиксировалось уже порядка 50 сильнейших событий, а начиная с конца 1950-х гг. отмечается резкий скачок записанных землетрясений: в 60-е, 70-е и 80-е гг. В XX в. наблюдалось от 1000 до 2000 событий, а в 1990-х гг. - уже 9000.

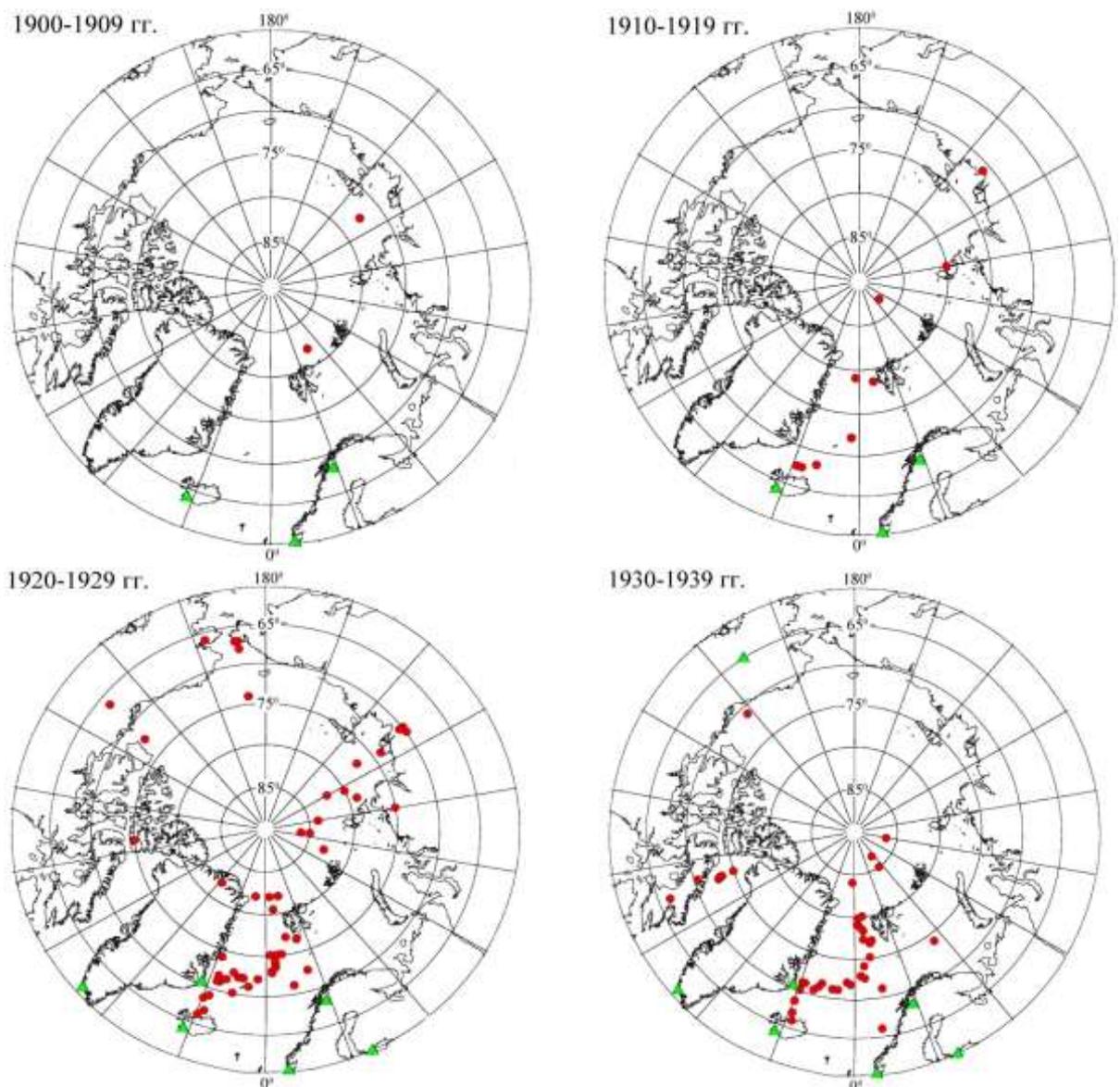


Рис. 1.7. Карты динамики сейсмической изученности Арктики в XX в.: кружки – эпицентры землетрясений, треугольники – сейсмические станции

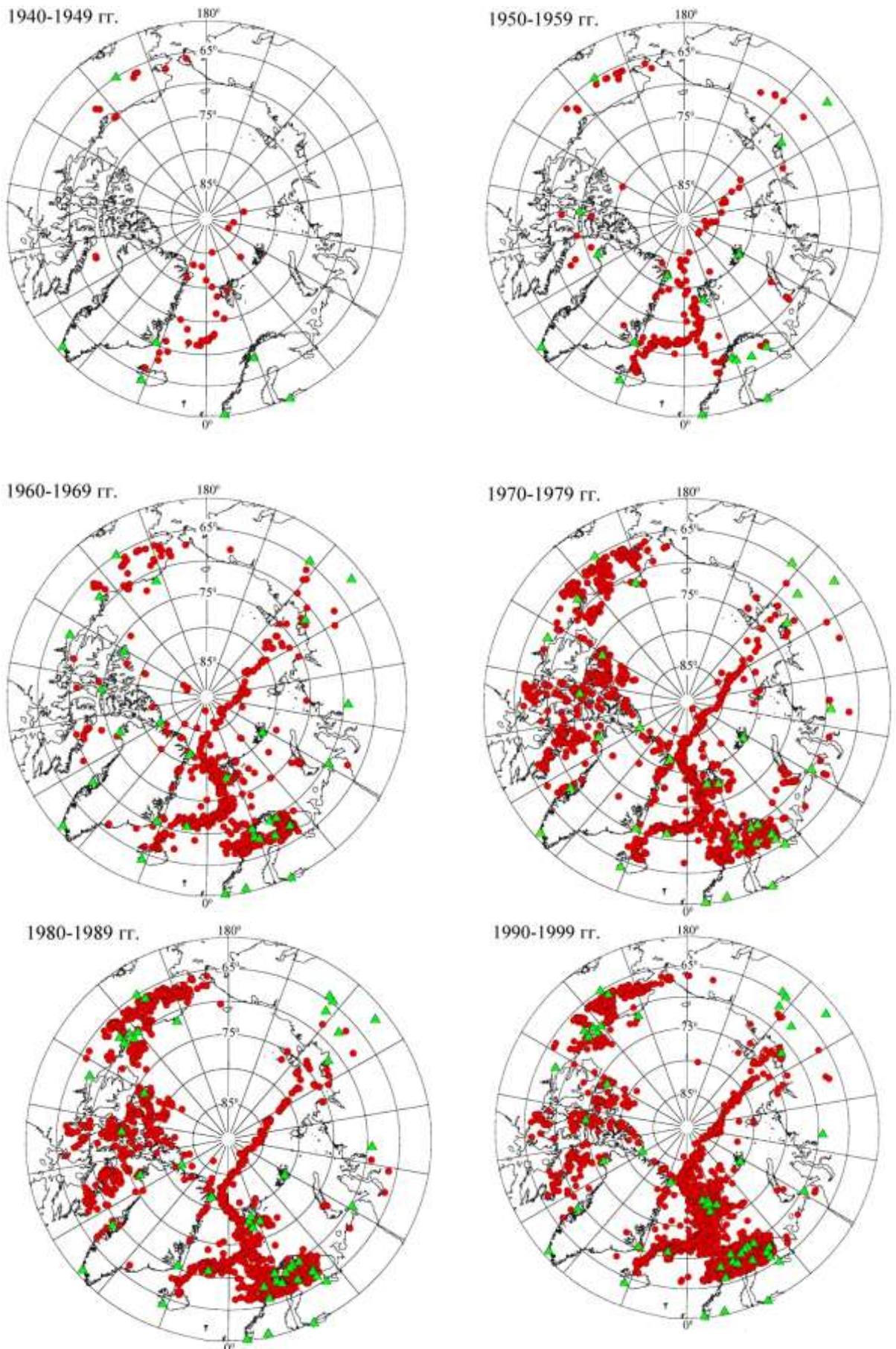


Рис. 1.7. (продолжение) Карты динамики сейсмической изученности Арктики в XX в.: кружки – эпицентры землетрясений, треугольники – сейсмические станции

Безусловно, количественный рост зафиксированных землетрясений позволяет составить современные представления о сейсмичности арктического региона, с выделением новых сейсмоактивных зон. С другой стороны, снижение магнитудного порога, более точное определение эпицентров землетрясений, а также определение глубины очага, дают возможность совершить качественный прорыв в задачах сейсмического мониторинга Арктики, т.е. получить основу для построения пространственно-временной картины миграции сейсмичности.

Основные сейсмические сети, ведущие сейчас мониторинг Евро-Арктического региона, представлены в таблице 1.

Анализ таблицы 1 показывает насколько в плачевном состоянии находится мониторинг сейсмичности Арктической зоны РФ (как западной, так и восточной части). Архангельская региональная сейсмическая сеть ИЭПС УрО РАН в настоящее время частично закрывает “брешь” между станциями Кольского полуострова и республикой Коми, но вопрос по улучшению качества сейсмологического мониторинга севера России по-прежнему требует решения.

Таблица 1

Сводная таблица Западно-Арктических сейсмических сетей

Название сети	Кол-во станций	Краткое описание	Принадлежность станций	Источник
Сейсмическая сеть Финляндии	21	Сейсмологическая сеть Финляндии состоит из 15 станций, 4 станции (<i>OUL, MSF, RNF, SGF</i>) и станции AAL Университета Упсала. Датчики: -трехкомпонентные широкополосные STS-2 или CMG-3T; -короткопериодные S-13 или GS-13. Разработаны автоматизированные системы обнаружения и обработки сейсмических событий	Институт сейсмологии Геофизическая обсерватория Соданкюля Университет Упсала	http://www.seismo.helsinki.fi/english/observation/stations.html
	FINESS array	Входит в сейсмологическую сеть Финляндии, диаметр 2 км, в центре 3-комп. сейсмометр SP, вокруг (3 круга) 15 вертикальных датчиков SP	Институт сейсмологии	http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_1995_31_1_071_tiira.pdf
Локальная сейсмическая сеть	22	17 станций с 22 датчиками (3-комп) расположенных на о. Олкилуото	Posiva Oy	http://www.posiva.fi/en/databank/search_of_material/local_seismic_network_at_the_olkiluoto_site_annual_report_for_2012.xhtml
Сейсмическая сеть Швеции	61	Шведская национальная сейсмическая сеть состоит из широкополосных сейсмометров CMG-3TD, STS-2.	Университет Упсала, Исследовательское агентство обороны Швеции	http://www.guralp.com/the-swedish-national-seismic-network/ http://snsn.geofys.uu.se/

Продолжение табл. 1

Сейсмическая сеть Норвегии	34	Норвежская национальная сейсмическая сеть состоит из датчиков: Trillium 120P, SS-1 Ranger, Güralp 6TD	Университет Берген Ассоциация Норвежской нефтяной промышленности	http://www.geo.uib.no/seismo/naar-jorden-skjelver/index.php?topic=nnsn&language=es
	4 сейсмические группы	<p><i>NOA</i> (PS27): диаметр 60 км, состоит из 7 подгрупп, 42 датчика: 35 CMG-3T hybrid (вертикальные SP), 7 CMG-3T (3-комп., BB)</p> <p><i>NORES</i>: диаметр 3 км, состоит из 17 датчиков: 8 GS-13 (horizontal, SP), 9 GS-13 (3-комп.)</p> <p><i>ARCES-PS28</i>: диаметр 3 км, состоит из 25 CMG 3T hybrid (3 комп., BB)</p> <p><i>SPITS</i> (AS72) совместно с радионуклидной станцией RN49.</p> <p><i>SPITS-AS72</i>: диаметр 1 км, состоит из 9 датчиков: 3 Guralp-BB (вертикальный), 6 Guralp-BB (3 комп.).</p> <p><i>RN49</i>: NOP49 (CINDERELLA автоматический пробоотборник воздуха для обнаружения радиации) и NOX49 (SAUNA полностью автоматическая система обнаружения радиоактивного ксенона)</p>	NORSAR	http://www.norsardata.no/
	3	<p><i>JMIC</i> (AS73): сейсмометр STS2 BB.</p> <p><i>AKN</i>: сейсмометр Guralp ESPC.</p> <p><i>TROLL</i>: широкополосный сейсмометр STS2.5.</p>		
	Инфразвуковая группа	<i>IS37</i> : диаметр 1 км, состоит из 10 пунктов, в которых установлены микробарометры		

Продолжение табл. 1

Сейсмическая сеть Дании (о. Гренландия).	15	<p>Датская сейсмологическая сеть: Дания: <i>BSD</i>: датчик STS-2 (3 комп.) с регистраторами Nanometrics HRD24-32 <i>LLD</i>: короткопериодный датчик S-13 (вертикальный) с регистратором Nanometrics RD3 <i>COP</i>: 3 сейсмометра STS-1 VBB с регистраторами Nanometrics HRD24-32 <i>GID</i>: короткопериодный сейсмометр GBV-316 (3 комп.) <i>MUD</i>: 3 короткопериодных сейсмометра S-13 с регистраторами Nanometrics RD3 Гренландия: <i>SFJ</i>: 3 сейсмометра STS-1 VBB <i>NRS</i>: STS-2 с регистратором Nanometrics HRD24-32 <i>DAG</i>: STS-2 (3 комп.) <i>SCO</i>: STS-2 (3 комп.) с регистратором Nanometrics HRD24-32</p>	Геологическая служба Дании и Гренландии	http://seis.geus.net/station_book.html
	25	<p>25 широкополосных станций с датчиками STS-2 (преобладающая часть). Гренландская арктическая сейсмическая сеть мониторинга GLISN.</p>	<p>Дания (The Geological Survey of Denmark and Greenland), Канада (Natural Resources Canada), Германия (GEOFON), Франция (GEOSCOPE), Япония (JAMSTEC, National Institute of Polar Research), Норвегия (NORSAR), Швейцария (Swiss Seismological Service), Польша (Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences), США (IRIS, PASSCAL, LDEO Columbia University)</p>	<p>http://glisn.info/ http://www.iris.edu/gmap/DK http://geofon.gfz-potsdam.de</p>

Продолжение табл. 1

Кольский Филиал Геофизической Службы РАН	5	APA: трехкомпонентная широкополосная сейсмостанция в г. Апатиты, GFR: короткопериодная станция на Кировском руднике, Хибинский массив, RASV: короткопериодная станция на руднике Расвумчорр, Хибинский массив. - Тириберка -Ковдор	КФ ГС РАН	http://www.krsc.ru/
	2	арх. Шпицберген в районе пос. Баренцбург две трехкомпонентные сейсмостанции BRBA и BRBB.	КФ ГС РАН	
	1	трехкомпонентная широкополосная сейсмостанция "Ловозеро" (LVZ)	IRIS	
	Апатитский ARRAY	АРАО:сейсмическая группа в 17 км от г. Апатиты состоит из 9 вертикальных короткопериодных сейсмометров S-500 фирмы Geotech и трехкомпонентной станции в центре группы.	КФ ГС РАН	
	акустический комплекс	три микробарографа, установлены неподалеку от датчиков внутреннего круга сейсмической группы АРАО		
Сейсмостанции и Карельского научного центра РАН	4	три цифровые станции Cossack Ranger II с датчиками CM3-KB: KOS (Костомукша), PIT (Питкяранта) и KEM (п. Кривой Порог, Кемский р-н). PTRZ г.Петрозаводск – CMG-6TD, CMG-3ESPS (GSR-24)	лаборатория геофизики Институт геологии КарНЦ РАН	(Юдахин и др., 2003; Шаров и др., 2007)

Окончание табл. 1

Сейсмостанции и Коми научного центра УрО РАН	2	Сейсмостанция в г. Сыктывкар (СҮК) и в районе окраины с. Бакур, находящемся на левом берегу р. Ижма (ИЖМА)	Геофизическая обсерватория “Сыктывкар”	(Удоратин, 2004)
Архангельская сейсмическая сеть	7	СМГ6ТD; СМГ3ЕСРС (3 шт), СМГ-40Т с регистраторами GeoSIG	Лаборатория сейсмологии ИЭПС УрО РАН	http://www.iepn.ru/?page=25
	4	СМЗ-КВ, СМЗ-ОС (см. подробнее гл. 2)	Лаборатория сейсмологии ИЭПС УрО РАН и ГС РАН	

При снижении магнитудного порога и увеличении числа регистрируемых сейсмических событий началось изучение внутриплитной сейсмичности и, в частности, слабоактивных сейсмических зон (*Юдахин, Капустян, Шахова, 2008*). Кроме регистрации тектонических землетрясений, в конце XX в. наметилась тенденция к наблюдению техногенных сейсмических событий чувствительными цифровыми сейсмическими приборами (*Виноградов и др., 2012*). С ростом промышленной деятельности на приарктических территориях и с уплотнением сети сейсмических наблюдений количество техногенных сейсмических событий неуклонно растет. Это влечет за собой проблему “засоренности” сейсмических каталогов взрывами и, как следствие, искажает представления о слабой сейсмичности платформенных территорий.

Развитие мировой сети сейсмических станций, несомненно, позволяет расширить географию мониторинга, повысить точность локации сейсмических событий, выявить зоны разного уровня сейсмичности, в том числе слабой. Однако расширение сетей в Арктике в последнее время является непростым делом, поскольку установка аппаратуры проходит в крайне сложных климатических условиях и в труднодоступных районах. Тем не менее, расширение сети и изменение ее конфигурации является, как было показано выше, главным фактором, определяющим качество мониторинга.

Исследования, посвященные оптимизации региональных сетей, проводились В.Ю. Бурминым в ИФЗ РАН (*Бурмин, 2012*). Данное направление, связанное с теоретическими расчетами конфигурации сетей и их потенциальными возможностями, с оценкой эффективности регистрации сейсмических событий и ошибок в локации их гипоцентров, успешно апробировано в Армении и Вьетнаме (*Аветисян и др., 2012; Бурмин, 2012*).

Для Архангельской сети подобные исследования являются крайне важными, поскольку установка станций, в основном, осуществляется в труднодоступных районах и требует существенных финансовых затрат. Кроме того, не все районы требуют одинаковой детальности мониторинга (см. рис. 1.1). В связи с этим, при решении одной из задач диссертации – анализе географии пунктов наблюдений при расширении Архангельской сети, существенно выяснить, в каком направлении эффективно развитие сети – по территории, по аппаратурно-методическому

оснащению и пр. Эти результаты внедряются в планирование развития АСС, что имеет несомненную практическую ценность.

Одним из вариантов улучшения качества мониторинга является углубление обработки и анализа сейсмологических данных (как исходных записей, так и каталогов). Это важная проблема, на которую нацелена часть диссертации. При этом необходимо решение методических вопросов получения и обработки записей: в первую очередь – применение фильтрации, выбор регионального годографа, привлечение данных разных станций Баренц-региона.

Вопросам аппаратного оснащения пунктов наблюдения посвящена гл. 2. Ниже приведен обзор сейсмологических каталогов для решения задачи мониторинга Арктики: определить на базе имеющегося мирового опыта требования к каталогам, создаваемым в АСС.

1.4. Анализ каталогов, используемых для изучения Арктики

Для изучения сейсмического режима территории, его изменении во времени и связи с геологическими структурами необходимо, в первую очередь, создание сейсмического каталога, содержащего данные о землетрясениях и, отмеченных особым образом, событиях техногенного характера. По существу, практически любое сейсмологическое исследование начинается с анализа каталога, и, в значительной мере, этим и заканчивается, что подчеркивает роль хорошего каталога как основы мониторинга. Рассмотрим характеристики основных каталогов с целью принятия для каталога АСС наиболее подходящих параметров и возможности привлечения других данных при обработке.

Информацию о сейсмических событиях, произошедших в Норвежско-Гренландском и Евразийском бассейнах в настоящее время предоставляют: несколько европейских сейсмологических центров, Геофизическая служба РАН (в том числе Кольский филиал ГС РАН) и Архангельская сейсмическая сеть, имеющая региональный статус. Каждая из перечисленных служб имеет свои особенности, связанные, как правило, 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.). Каталоги сейсмологических служб используются как при проведении регионального мониторинга, так и при отдельных исследованиях, исторических обзорах.

1.4.1. Международный Сейсмологический Центр (ISC)

Наиболее крупным сейсмологическим центром, занимающимся обобщением каталогов различных служб, является Международный Сейсмологический Центр – International Seismological Centre (ISC) (Великобритания, г. Беркшир). Данные различных сейсмологических служб поступают в него в виде каталогов и бюллетеней, как правило, в текстовом формате. Далее происходит совместная обработка полученных данных и формирование итоговых бюллетеней и каталогов. Очень многие сейсмологи при проведении исследований обращаются к данным каталогов ISC ввиду того, что там собрана наиболее полная информация о произошедших сейсмических событиях. Важным является и то, что в своих каталогах специалисты ISC разделяют землетрясения и техногенные события (в основном, это различного рода взрывы). Каталоги находятся в общем доступе на сайте ISC (*International Seismological Centre*).

На рис. 1.8а показаны землетрясения из каталога ISC за 2013 год.

Хорошо видно, что совместная обработка данных различных сейсмологических центров позволяет охватывать территорию всей Арктики при проведении сейсмического мониторинга, в т.ч. хорошо представлен район архипелага Шпицберген и Западная арктическая зона РФ.

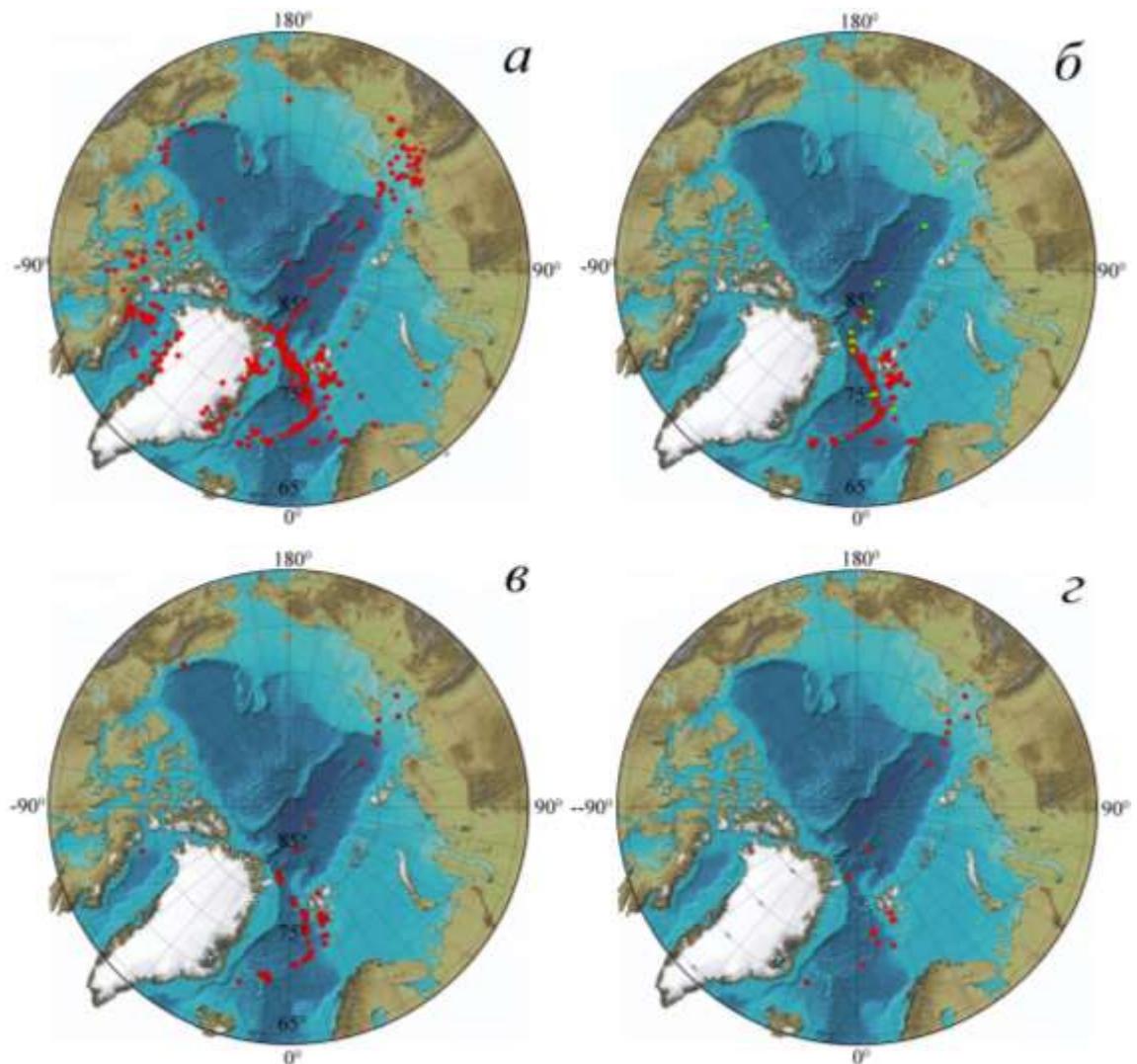


Рис. 1.8. Распределение эпицентров землетрясений за 2013 г. по данным: а – ISC; б – NOR SAR (зеленые кружки – телесеismicический каталог; красные кружки – региональный каталог); в – Orfeus; г – ССД ГС РАН

Международным Сейсмологическим Центром выпускаются только уточненные бюллетень и каталог, доступные на официальном сайте организации. Бюллетень (*ISC Bulletin: bulletin search*) содержит подробную информацию о каждом событии: дату, время в очаге, координаты и другие параметры по каждой зарегистрировавшей службе. В отдельной таблице находятся значения магнитуд разных типов и службы, их рассчитавшие. Также можно просмотреть более полную информацию: список всех записавших его станций, времена вступления фаз, амплитуды, периоды, азимуты, магнитуды и другие характеристики по каждой из них.

Каталог (*ISC Bulletin: event catalogue search*) содержит более краткую информацию о выбранных землетрясениях и состоит из следующих столбцов:

идентификатор события, зарегистрировавшая служба, дата, время в очаге, координаты, глубина, тип магнитуды, ее значение и служба, ее рассчитавшая. По нажатию на идентификатор события можно также просмотреть более подробную информацию о нем. Отличительной особенностью ISC является низкие значения магнитуд, т.е. доступны сведения не только о крупных событиях, но и о событиях с небольшими магнитудами ($ML > 0.5$). После совместной обработки сейсмологических бюллетеней разных служб публикуется окончательный каталог. В нем содержится вся имеющаяся информация, включая параметры эпицентра, определенного как каждой службой в отдельности, так и по данным ISC. Временная задержка в выпуске такого каталога составляет примерно 2.5 года, дата последних загруженных данных отображена на сайте.

1.4.2. Норвежская сейсмологическая служба NOR SAR

Одной из крупнейших сейсмологических служб в Европе, занимающихся мониторингом Арктики, является норвежская служба NOR SAR (Норвегия, г. Кьеллер). В основе бюллетеней и каталогов NOR SAR лежат данные собственных сейсмических станций и групп этой организации. На рис. 1.8б показаны землетрясения, содержащиеся в телесеismicком и региональном каталогах NOR SAR (на карте представлены сейсмические события на широте 70° и выше за 2013 г.).

Карта, показывает, что мониторинг службы NOR SAR полностью охватывает зону архипелага Шпицберген, Норвежского моря и района Исландии (см. рис. 1.8б). Однако Западная арктическая зона РФ остается “белым пятном” на картах норвежской службы. Происходит это ввиду удаленности сейсмических станций NOR SAR от эпицентров землетрясений этого района и относительно небольших значений магнитуд.

На официальном сайте сейсмологической службы NOR SAR публикуются разного рода каталоги (*NOR SAR Available bulletins*): срочный каталог, уточненные региональный и телесеismicкий каталоги. Срочный каталог (*NOR SAR Available bulletins*) содержит информацию о событиях, зарегистрированных за последнюю неделю на территории Скандинавии, северо-запада России и арктических морей.

Данные в каталоге – это результат срабатывания автоматического детектора событий. Координаты эпицентров получены по данным двух или более сейсмических групп и требуют дальнейшего уточнения. Недостатком этого каталога является наличие некоторого числа ложных срабатываний детектора и пропуск слабых событий из интересующих районов. Уточненный региональный каталог (*NORSAR Available bulletins*) формируется ежемесячно с задержкой примерно в две недели. Некоторые события из срочного каталога могут отсутствовать в уточненных из-за отбраковки ложных срабатываний детектора. Особенностью всех каталогов является отсутствие информации о глубине события.

Следует отметить, что при хорошем охвате событий с небольшой магнитудой (минимальная магнитуда составляет порядка 1.0) в региональном каталоге NORSAR не проводится выбраковка взрывов и иных проявлений техногенной сейсмичности. Это обстоятельство заставляет обращать особое внимание при использовании данных каталога для анализа сейсмичности арктических и приарктических территорий. Каталог охватывает территорию архипелага Шпицберген, Норвежского моря, полностью Скандинавский полуостров и северо-запад России.

Землетрясения, происходящие в Арктике, можно найти не только в региональном, но и в телесеismicком каталоге (*NORSAR Available bulletins*), что зависит от их удаленности от сейсмических групп NORSAR. В телесеismicком каталоге отражены данные о сильных землетрясениях, произошедших в районе хребтов Гаккеля и Книповича.

1.4.3. Объединение европейских сейсмологических обсерваторий и исследовательских Центров (ORFEUS)

Объединение европейских сейсмологических обсерваторий и исследовательских Центров ORFEUS, основанное в 1987 г., является некоммерческим фондом, который координирует и направляет развитие сейсмологических исследований на базе цифровой широкополосной аппаратуры в европейско-средиземноморском регионе. В составе Объединения выделен Информационный центр ODC (ORFEUS Data Centre), занимающийся сбором,

архивированием и передачей в обработку данных в виде волновых форм, и четыре рабочие группы, координирующие собственно обработку и предоставление полученных данных. ORFEUS работает под эгидой европейской Сейсмологической Комиссии ESC (European Seismological Commission) и близко сотрудничает с ее дочерней организацией в Европе, европейско-средиземноморским Сейсмологическим Центром EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre). Каталоги, предоставляемые ORFEUS, находятся в свободном доступе на сайте (*Observatories and Research Facilities for European Seismology*).

Согласно рис. 1.8в ORFEUS предоставляет данные о сейсмичности арх. Шпицберген и района Норвежского моря, а также сведения о единичных случаях наиболее сильных событий Западной арктической зоны РФ.

На официальном сайте европейской сейсмологической службы ORFEUS (*Observatories and Research Facilities for European Seismology*) находится каталог, содержащий архивную информацию о землетрясениях. Важно отметить, что в каталог не попадают события техногенного характера, он содержит только информацию о землетрясениях. Помимо архивных данных на отдельных страницах сайта расположен список событий, зарегистрированных примерно за последний месяц.

1.4.4. Геофизическая Служба РАН

На территории Российской Федерации главной сейсмологической службой является Геофизическая Служба РАН (*Старовойт, 2005; Последние землетрясения по данным ССД*). В соответствии с правительственным постановлением 1994 г., Президиум РАН в мае 1994 г. организовал Геофизическую службу РАН (ГС РАН). Для неё определены такие задачи: научные исследования и их обеспечение данными наблюдений в области сейсмического мониторинга Земли, проведение непрерывного сейсмического мониторинга территории России и отдельных ее регионов, разработка и развитие методов и средств производства, сбора и обработки сейсмологических данных и пр. В настоящее время в состав сейсмической сети РАН входит порядка 200 сейсмических станций и десятков центров сбора и обработки данных, на основе которых формируется бюллетень

Службы Срочных Донесений ГС РАН (далее по тексту ССД ГС РАН) и оперативный телесеismicкий каталог. Оба публикуются на официальном сайте ГС РАН и требуют регистрации (*Последние землетрясения по данным ССД*).

На рис. 1.8г показана карта распределения эпицентров, зарегистрированных ССД ГС РАН в 2013 г в арктической зоне. Малое их число объясняется высокими значениями магнитуд, поскольку в обработке землетрясений участвуют телесеismicкие (удаленные) станции, значение минимальных магнитуд довольно высокое (около 4.0). Мониторинг Арктики в ССД ГС РАН проводится лишь в рамках телесеismicкого мониторинга. Однако данные их каталогов содержат такую важную информацию как глубина очага землетрясения (чего нет в каталогах NORSAR) и различные типы магнитуд (европейские сейсмологические службы предоставляют данные только о локальной магнитуде ML).

Каталог ССД ГС РАН представляет собой результаты первичной обработки и пополняется в срочном режиме. В нем содержится информация о землетрясениях, такая как: дата и время в очаге, широта, долготы, глубина, количество станций, магнитуды MS и mb, интенсивность и местоположение. Минимальная величина магнитуды события в срочном каталоге составляет 3.5. В оперативный (уточненный) каталог попадают землетрясения, для которых определено точное положение гипоцентра и магнитуды. Для его формирования привлекаются станционные бюллетени всех станций сети ГС РАН. Запаздывание составляет около полугода. Каталог представляет собой сводную обработку телесеismicких землетрясений по данным всех станций сети ГС РАН и содержит информацию о дате, времени в очаге, координатах гипоцентра, три типа магнитуды (MPSP, MPLP, MS) и район. Магнитуды MPSP и MPLP определяются по динамическим замерам первых вступлений объемных волн, MS – по замерам поверхностных.

Кроме информации на сайте, Геофизической Службой РАН регулярно публикуются в печатном виде сейсмологические бюллетени: “Сборник землетрясений Северной Евразии” (*Землетрясения Северной Евразии в 2007 году, 2013*) и “Землетрясения в России” (*Землетрясения России в 2005 году, 2007*). Указанные сборники формируются с учетом данных о различных техногенных

событиях (взрывах в промышленных карьерах, горно-тектонических ударах, наведенных землетрясениях и т.д.).

Мониторингом сейсмичности Баренцева и Норвежского морей, арх. Шпицберген на протяжении нескольких последних десятилетий занимается Кольский филиал (КФ) ГС РАН в г. Апатиты (Виноградов и др., 2012). На официальном сайте КФ ГС РАН (Сеть сейсмических станций...) размещены результаты работы автоматического детектора-локатора сейсмических событий, направленного на наблюдение за сейсмическим процессом в проливе Стур-Фьорд (Preliminary automatic Storfjorden bulletin). В данном случае исходными данными являются записи сейсмической группы SPITS норвежской службы NOR SAR. На рис. 1.9 показана карта зоны мониторинга и пример бюллетеня за октябрь 2014 г. В нем содержится следующая информация: дата, время в очаге, времена прихода Р и S волн на группу SPITS, широта, долгота, магнитуда ML. Данная информация является оперативной и содержит много ложных срабатываний детектора. На странице сайта представлены некоторые диаграммы, позволяющие судить о числе детектированных событий в течение месяца и их магнитуде. Доступ к бюллетеню свободный и не требует регистрации.

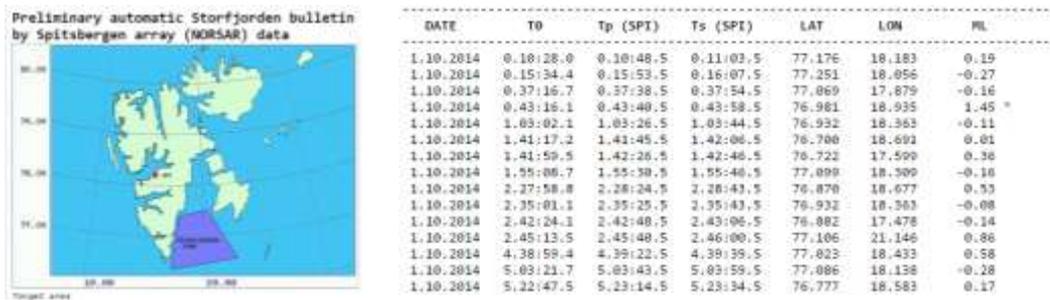


Рис. 1.9. Бюллетень Кольского филиала геофизической службы РАН с результатами автоматической локации землетрясений из района Стур-Фиорд

При формировании собственных подходов к обработке данных и разработке макета каталога Архангельской сейсмической сети была поставлена задача учитывать опыт различных сейсмологических центров, возможность привлечения исходных записей или данных каталогов в обработку. Были сформулированы следующие требования. Во-первых, необходимо привлечение в обработку исходных данных станций других сетей. Эффективность их использования будет доказана ниже в гл. 3, п.3.1. Для возможности привлечения исходных записей других сетей необходимо следить за изменениями, происходящих записей на

интересующих нас станциях. Во-вторых, форматы исходных сейсмических данных АСС и получаемых каталогов и бюллетеней должны быть максимально стандартизированы. Это упростит обмен информацией между различными сейсмологическими центрами, в т.ч. международными. И наконец, выпускаемый сейсмологический бюллетень должен максимально полно отражать информацию не только о сейсмическом событии, но и все нюансы обработки, которые могут быть полезны сторонним пользователям (например, число станций и фаз, используемых в обработке). Более подробно о структуре бюллетеня см. в главе 2.

1.5. Выводы

Литературный обзор, проведенный в рамках диссертации, показал, что в современных источниках доступна информация о сейсмичности Арктики с магнитудой выше 3.5. Практически отсутствуют данные о слабой сейсмичности.

Архангельская сейсмическая сеть в современном ее состоянии способна решать основные задачи мониторинга Арктики. Но для получения хороших результатов необходимо:

- количественно и качественно оценить ее регистрационные возможности;
- выработать подходы к получению и обработке данных, учитывающие региональные особенности (конфигурацию сети, специфику района исследования, аппаратные возможности и специфику станций, подбор региональных годографов и т.д.);
- заложить основы сейсмического мониторинга западного сектора арктической зоны РФ на базе создания методических инструкций по обработке записей, процедуры формирования каталогов природных и техногенных событий, практических рекомендаций по расширению сети и пр.
- тщательно проанализировать получаемые результаты мониторинга, уделив отдельное внимание не только известным сейсмоактивным зонам Арктики, но и слабоизученным регионам, в первую очередь, районам, существенным для сейсмобезопасности РФ (морские месторождения углеводородов и возможные области их хранения, транспортировки, захоронения радиоактивных отходов, определение границ шельфа).

Глава 2. АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ И ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА АРКТИКИ

2.1. История развития, особенности и задачи Архангельской региональной сейсмической сети

Благодаря усилиям чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина и поддержке академика Н.П. Лаверова впервые в Архангельской области были начаты фундаментальные исследования в области сейсмологии, с заложением стационарных сейсмологических пунктов наблюдений. Актуальность становления и развития сейсмологической науки в Архангельской области неоднократно отмечалась в работах (*Землетрясения и микросейсмичность, 2007; Сейсмологические исследования..., 2011; Материалы совместного заседания Совета РАН..., 2010*).

Первая сейсмическая станция была установлена в подвальном помещении ИЭПС УрО РАН в г. Архангельске в конце 2002 года. Сотрудники ГС РАН (*Юдахин, Французова и др., 2004; Юдахин, Старовойт и др., 2004*) принимали непосредственное участие в установке с/с “Архангельск” и активно поддерживали формирование трех последующих сейсмологических пунктов. Основное развитие Архангельской сейсмической сети (далее по тексту - АСС) проходило в рамках различных научных проектов, выполняемых сотрудниками лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН.

Базовые сейсмологические пункты на территории Архангельской области были сформированы с 2003 по 2007 гг. – это сейсмические станции “Климовская”, “Тамица”, “Пермогорье”, “Соловки”, “Пермилово”. Второй этап развития Архангельской сети – это выход преимущественно на арктические и субарктические территории – “Амдерма”, “Нарьян-Мар”, “Земля Франца-Иосифа”. В итоге, к концу 2011 г. Архангельская региональная сеть насчитывала 11 сейсмологических пунктов (рис. 2.1).

В 2014 г. АСС зарегистрирована в качестве уникальной научной установки на официальном сайте “Современная исследовательская инфраструктура Российской Федерации” (<http://www.ckp-rf.ru/usu>). Статус уникальной научной

установки АСС подтверждается своеобразием решаемых задач, основная стратегическая цель которых - использование возможностей АСС одновременно для мониторинга природной и техногенной сейсмичности, причем последнее включает также инженерно-сейсмометрический мониторинг зданий и сооружения, включая площадки их размещения (Антоновская и др., 2014). Территориально главное направление – сейсмический мониторинг Западно-Арктического сектора РФ. В таблице 2 представлена основная информация по сейсмологическим пунктам АСС. В настоящее время сейсмические станции “Нарьян-Мар” и “Ломоносово” закрыты, в основном, по техническим причинам.

Часть станции (“Архангельск”, “Климовская”, “Пермогорье”, “Тамица”), находятся в совместном ведении ИЭПС УрО РАН и ГС РАН и являются частью телсейсмической сети OBN ГС РАН. В 2013 г. Архангельской сейсмической сети был присвоен международный сейсмический код АН, а каждой станции персональный международный код (*IRIS DMC MetaData Aggregator; Station book listing*).

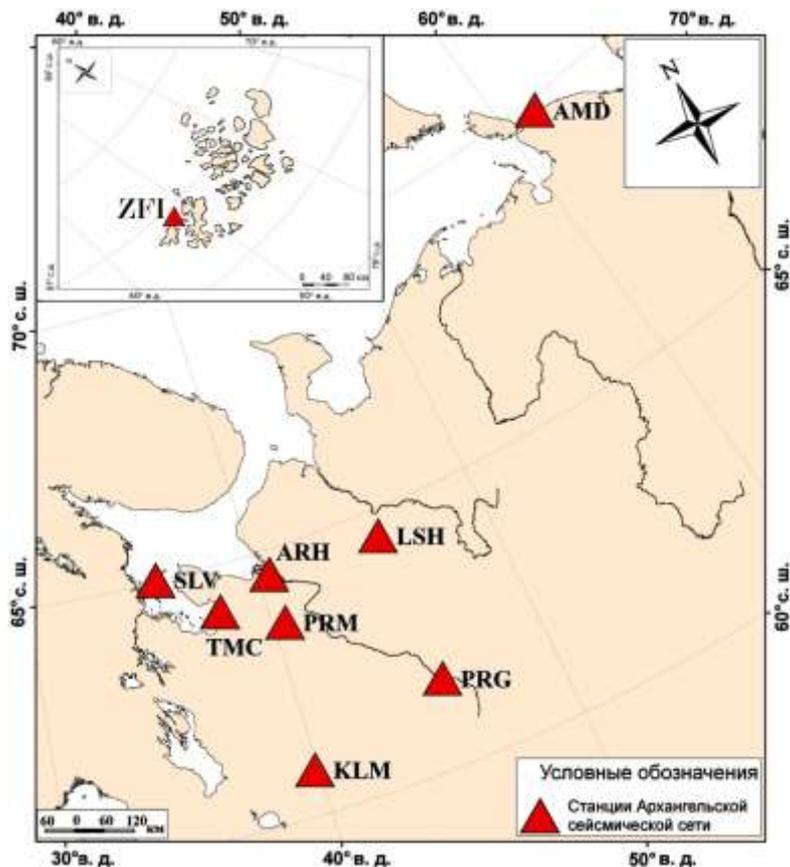


Рис. 2.1. Современное расположение станций Архангельской сейсмической сети

Работы по обеспечению безопасности функционирования производств добывающих, перерабатывающих и транспортных отраслей Арктического региона – одно из направлений научных исследований на базе АСС.

Безопасность объекта требуется при его проектировании, строительстве и эксплуатации. Существенно, что карта ОСР-97, используемая при проектировании инженерных сооружений на возможные сейсмические воздействия (ранее - СНиП II-7-81, в настоящее время - СП 14.13330.2014), для северных, в том числе арктических, территорий не отражает сейсмической ситуации и требует актуализации. В частности, как показывают результаты мониторинга (гл. 1), окраины шельфовых территорий проявляют заметную сейсмическую активность, что не отражено в картах ОСР-97 (см. рис. 1.6).

Особенность конфигурации АСС позволяет охватить обширную зону сейсмического мониторинга – территория западного сектора арктической зоны РФ. Расстояние между самой северной (ZFI) и самой южной станций (KLM) составляет приблизительно 2200 км, а между западной (SLV) и восточной (AMD) – 1200 км. Пока практически в каждом сейсмологическом пункте (кроме с/с KLM и ZFI) установлен один комплект аппаратуры, в то время, как, например, у норвежских коллег каждый сейсмологический пункт состоит из нескольких мини-array (см. глава 1, табл. 1). Этот факт совместно со значительными расстояниями между сейсмологическими пунктами, геологическими условиями в районе установки сейсмических станций и прочими причинами, обуславливает то, что слабые сейсмические события регистрируются лишь одним сейсмическим пунктом, что делает локацию эпицентра подобного события весьма затруднительным. Организация ВАСС позволяет решить эту проблему, и получить параметры сейсмического события.

Сведения о сейсмических станциях Архангельской региональной сети

№	Период функционирования	Название станции (местоположение) региональный код /международ. код	Координаты			Тип грунта	Ведомственная организация	Тип аппаратуры	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса, отсч/с	Разрядность АЦП
			φ, °N	λ, °E	h, м							
1	с 11.2002 – наст. время	Архангельск Arkhangelsk (г. Архангельск) ARH/ARHR	64.55	40.51	23	Рыхлые отложения	ИЭПС УрО РАН	SDAS CM3-KB	SH(Z,N,E) _v	0.5–7	20	16
2	с 11.2003 – наст. время	Климовская Klimovskaya (д. Климовская, Коношский р-н) KLM/KLMR	60.85	39.52	157	Валунно-галечные отложения, глины, пески	ГС РАН, ИЭПС УрО РАН	SDAS CM3-KB CM3-OC	SH(Z,N,E) _v BH(Z,N,E) _v	0.5–16 0.02–7	40 20	16
3	с 11.2003 – наст. время	Пермогорье Permogor'e (д. Пермогорье, Красноборский р-н) PRG/PRGR	61.63	45.63	84	Аргиллиты, песчаники, известняки	ГС РАН, ИЭПС УрО РАН	SDAS CM3-KB	SH(Z,N,E) _v	0.5–16	40	16
4	с 11.2003 – наст. время	Тамица Tamitsa (д. Тамица, Онежский р-н) TMC/TMCR	64.16	38.04	23	Валунно-галечные отложения, глины, пески	ГС РАН, ИЭПС УрО РАН	SDAS CM3-KB	SH(Z,N,E) _v	0.5–16	40	16
5	с 11.2005 – наст. время	Пермилово Permilovo (п. Самодед, Плесецкий р-н) PRM/-	63.62	40.52	52	Аргиллиты, песчаники, известняки	ИЭПС УрО РАН	CMG-3ESP	BH(Z,N,E) _v	0.033–20.6	50	24
6	с 10.2006 – наст. время	Лешуконское Leshukonskoe (с. Лешуконское, Лешуконский р-н) LSH/LSH	64.87	45.73	60	Глины, пески	ИЭПС УрО РАН	GSR-24 CMG-3ESP	BH(Z,N,E) _v	0.033–20.6	50	24

Окончание табл. 2

7	с 10.2007 – наст. время	Соловки Solovki (п. Соловецкий, Приморский р-н) SLV/SLVR	65.02	35.71	8	Валунно- галечные отложения, глины, пески	ИЭПС УрО РАН	GSR-24 CMG-3ESP	BH(Z,N,E)v	0.033–20.6	50	24
8	с 11.2010 – наст. время	Амдерма Amderma (п. Амдерма, НАО) AMD/AMDE	69.76	61.67	48		ИЭПС УрО РАН	GSR-24 CMG-40T-1	SH(Z,N,E)v	1–20.6	50	24
9	06.2011 – 11.2011	Ломоносово Lomonosovo (с. Ломоносово, Холмогорский р-н) LMV/-	64.23	41.73	20	Пески	ИЭПС УрО РАН	CMG-6TD	BH(Z,N,E)v	0.033–20.6	50	24
10	08.2011 – 12.2013	Нарьян-Мар Nar`yan-Mar (г. Нарьян-Мар, НАО) NRM/-	67.65	53.04	10	Пески	ИЭПС УрО РАН	CMG-6TD	BH(Z,N,E)v	0.033–20.6	50	24
11	с 09.2011 – наст. время	Zemlya Frantza- Iosifa (о. Земля Александры, арх. Земля Франца- Иосифа) ZFI/ZFI ZFI2/ZFI2	80.81	47.66	17		ИЭПС УрО РАН	CMG-6TD GSR-24 CMG-40T-1	BH(Z,N,E)v SH(Z,N,E)v	0.033–20.6 1–20.6	50	24

Часть сейсмологических пунктов АСС имеют статус временных. Это связано, прежде всего, с недостатком финансовых средств, для рекогносцировочных работ по выбору мест под новую станцию. В тестовой эксплуатации станция может находиться от нескольких месяцев до нескольких лет. В это время проводится анализ качества регистрируемых записей и одновременно подбирается наиболее оптимальное место для установки станции в стационарном режиме, если устраивает выбранный район, и удобства передачи данных в центр обработки г. Архангельска.

Сейсмологический пункт “Нарьян-Мар” в данной схеме составляет исключение. Это негативный опыт выбора пункта сейсмических наблюдений. Удобная инфраструктура (доступность, наличие электричества, связи, Internet) полностью нивелируется типом грунтов, распространенного практически на всей прибрежной части Ненецкого автономного округа и в районе г. Нарьян-Мар – мощный слой супесей (порядка 30 м). В результате данный сейсмологический пункт регистрировал события с магнитудой $m_b=6.2$ и выше.

Улучшение качества данных может быть достигнуто путем замены типа регистрирующей аппаратуры. Например, на станции “Лешуконское” короткопериодный датчик был заменен на широкополосный, что значительно улучшило качество регистрируемой сейсмической информации, в частности, в диапазоне регистрации далеких землетрясений. За счет этого стало возможно провести ряд фундаментальных исследований по изучению строения коры и верхней мантии (Ваганова, 2012).

Другой пример подбора типа оборудования – на с/с “Амдерма” первоначально стоял широкополосный чувствительный сейсмометр (СМГ-3ESP), но его достоинство – низкочастотная часть характеристики, нивелировалось “капризностью” прибора в арктических условиях, что привело к замене датчика на более “простой” короткопериодный (СМГ-40Т-1).

Опыт создания АСС позволяет сформулировать принципы установки новых сейсмических сетей:

- уточнение места постановки станции;
- подбор оборудования – широкополосные или короткопериодные сейсмометры, подбор чувствительности;

– рассмотрение возможности создания мини-аrray.

АСС способна решать следующие задачи:

1) Проведение телесеismicического мониторинга.

Эта задача стояла перед лабораторией сейсмологии ИЭПС УрО РАН с первого дня основания сети. Три сейсмические станции АСС включены в телесеismicическую сеть ГС РАН, а с/с KLM дополнительно входит в сеть Службы срочных донесений ГС РАН с 2010 года. Результатом телесеismicического мониторинга посвящен ряд публикаций (*Юдахин и др., 2011; Французова, Ваганова, 2007, Юдахин и др., 2004*) и исследовательских работ (*Французова, Ваганова, и др. 2012; Французова, Конечная и др, 2009*). Ежедекадный станционный бюллетень, содержащий информацию о зарегистрированных телесеismicических событиях, отправляется в обрабатывающий центр г. Обнинска. По статистике, ежегодно станциями Архангельской сети регистрируется более 2000 мировых землетрясений (*Сейсмологические исследования..., 2011*). Согласно (*Французова, Конечная и др, 2009; Французова и др., 2012*) представительный уровень магнитуды АСС для телесеismicических землетрясений $m_b=5.3-5.5$.

2) Мониторинг техногенной сейсмичности.

Основное внимание уделяется регистрации взрывов с добывающих предприятий Архангельской, Вологодской и Мурманской областей, Республик Коми и Карелии. АСС уверенно регистрирует техногенные события с карьеров ближайших соседей из Скандинавских и Балтийских стран. В настоящее время база данных техногенных событий включает в себя информацию более чем о 100 различных рудниках, шахт и карьеров. В лаборатории сейсмологии адаптирована методика идентификации промышленных взрывов (*Морозов, 2008*). В настоящее время продолжают исследования волновых форм взрывов и землетрясений для выявления их природы (*Морозов и др., 2012, Конечная и др., 2013*).

Ведется регистрация различного рода чрезвычайных ситуаций, штатные запуски космических объектов с космодрома “Плесецк” и падения их первых ступеней. По данной тематике в лаборатории сейсмологии представлен ряд публикаций (*Французова, Морозов и др., 2011; Французова, Фатьянов, 2010*).

3) Сейсмический мониторинг Баренц-региона и западного сектора арктической зоны РФ.

Эта задача для Архангельской сети особая, ввиду того, что в последние годы ведется активное развитие этого региона на всех уровнях (*Материалы совместного заседания Совета РАН...*, 2011). Большой вклад в развитие сейсмического мониторинга вносят вновь открытые сейсмические станции за Северным полярным кругом. В результате получился своего рода симбиоз мониторинга естественной (арктические землетрясения) и техногенной сейсмичности (взрывы на приарктических территориях). Более подробно результаты мониторинга западного сектора арктической зоны РФ будут рассмотрены в главе 4.

2.2. Особенности систем сбора данных Архангельской сейсмической сети

Основные технические характеристики станций АСС приведены в табл. 2, расположение сейсмических пунктов Архангельской области представлено на карте (см. рис. 2.1).

Система передачи сейсмических данных в Архангельский сейсмологический стационар-обсерваторию (АССО) – центр сбора и обработки данных Архангельской сейсмической сети, включает в себя следующие этапы:

1) конвертация в единый формат данных, поступающих на сервер с сейсмологических пунктов, для дальнейшей их обработки;

2) процесс обработки этих данных с помощью программного комплекса WSG, принятого в ГС РАН (*Автоматизированное рабочее место*), с последующим формированием станционных бюллетеней, сейсмических каталогов естественной (телесеismicкой, региональной, локальной), и техногенной сейсмичности. Полученные результаты обработки сохраняются в базы данных WSG;

3) архивация данных.

В Архангельском обрабатывающем центре используется клиент-серверная архитектура программного комплекса WSG (рис. 2.2).

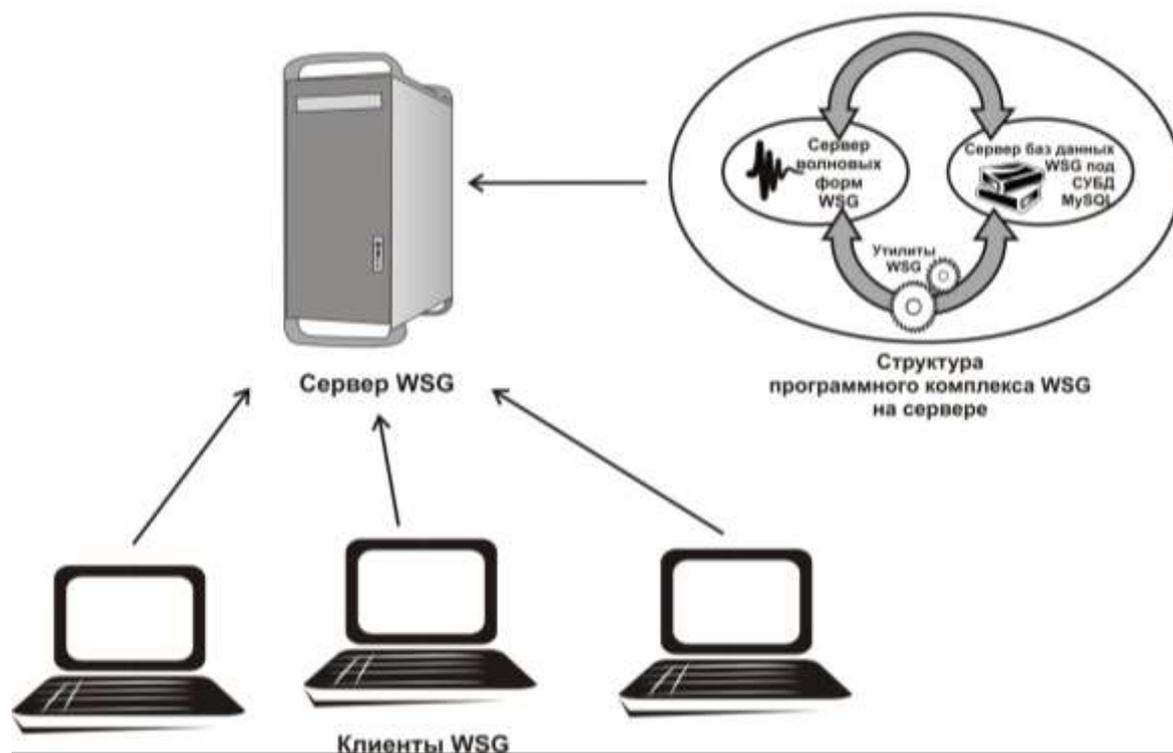


Рис. 2.2. Структура организации программного комплекса WSG в ACCO

Для этой цели на сервере локальной вычислительной сети ACCO развернут ПК WSG с сервером баз данных WSG (сервер БД WSG) и сервером волновых форм WSG (сервер ВФ WSG) под СУБД MySQL. К серверу WSG организован совместный доступ клиентов - WSG, в качестве которых выступают компьютеры обработчиков, использующие БД WSG для сохранения результатов обработки. На основе полученных данных формируются ежедекадные отчеты и ежемесячные бюллетени.

Стоит отметить, что данные, поступающие в БД WSG, остаются в полном объеме. Таким образом, на серверах и в архивах ACC накоплено более 10 лет непрерывных записей, доступных научным сотрудникам в любое время.

Архивация и хранение цифровых сейсмических записей осуществляется на дисковые хранилища, а также дублируются на оптические носители (CD, DVD).

Большое внимание в ACCO уделяется обеспечению непрерывного и качественного функционирования аппаратного и компьютерного оборудования. Передача данных осуществляется посредством Internet. В редких случаях (труднодоступность территории, отсутствие сети сотовой связи или слабого

сигнала сети) данные передаются почтой или, как в случае с/с ZFI, бортом самолета.

Таким образом, решение различных технических задач по перечисленным выше направлениям позволяет повысить оперативность, надежность и эффективность работы АСС.

2.3. Структура системы регионального сейсмического мониторинга на основе данных Архангельской сейсмической сети

Архангельская сеть осуществляет региональный и локальный сейсмический мониторинг, охватывающий территорию Скандинавии, Кольского полуострова, Республики Карелия, Ненецкого автономного округа, Полярного и Среднего Урала, архипелагов Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и омывающих их морей. Сейсмические события принято считать региональными, если они произошли на расстояниях до 2000 км от сейсмической станции, локальными – до 200 км. В связи с некоторыми особенностями конфигурации Архангельской сети (в частности, большие расстояния между станциями), локальными событиями будем считать таковые на расстояниях до 200 км от регистрирующей станции, а региональными – до 3000 км.

Интерпретацией сейсмических данных занята группа из 6 человек, причем каждый выполняет самостоятельный раздел обработки. В частности, диссертант ведет следующие работы:

- интерпретацию записей сейсмической станции “Земля Франца-Иосифа”, состоящей из трех комплектов аппаратуры;
- формирует промежуточный сейсмологический бюллетень;
- периодически обрабатывает телесеismicкие землетрясения на станциях “Климовская” и “Пермогорье”;
- формирует станционные бюллетени для отправки в ГС РАН;
- ведет научно-методическую работу по созданию регламентов обработки.

Было выпущено методическое пособие (*Конечная, Иванова, Шахова, 2013*), которое востребовано как в России (ИФЗ РАН, ДФ ГС РАН), так и за рубежом (во Вьетнаме).

При обработке данных мониторинга нами опробовались различные схемы, в результате чего получена, на наш взгляд, оптимальная структура обработки. Анализ региональных сейсмических событий условно разбивается на два этапа:

1) просмотр записей каждой из сейсмических станций АСС и формирование промежуточного бюллетеня, где максимально полно отображаются, зарегистрированные на станциях АСС события;

2) совокупная обработка зарегистрированных событий по набору станций ВАСС, формирование окончательного сейсмического бюллетеня и построение карты сейсмичности. Остановимся подробнее на каждом этапе.

1 этап. В настоящее время для проведения мониторинга Евро-Арктического региона проводится просмотр записей 7 сейсмологических пунктов – KLM, LSH, AMD, PRG, SLV, TMC, ZFI. Данные остальных станций подключаются к обработке на втором этапе по мере необходимости. На рис. 2.3 приведена схема анализа данного этапа обработки региональных сейсмических событий.

Просматривая непрерывные данные каждой станции операторы (на схеме рис. 2.3 – клиенты WSG) составляют индивидуальные станционные бюллетени, которые объединяются в общий промежуточный бюллетень. Основная цель станционного бюллетеня заключается в констатации факта наличия на записях станции различного рода сейсмических событий. Для повышения оперативности и удобства обработки бюллетени формируются каждую декаду месяца.

Бюллетень региональных и локальных сейсмических событий (см. рис. 2.3) содержит следующую информацию: код станции; дата и время вступления фаз на записях станции, вид зарегистрированного сейсмического события (землетрясение, взрыв и т.д.); тип события (региональное или локальное) и наличие информации о нем в других сейсмических каталогах.



Рис. 2.3. Схема первого этапа обработки региональных сейсмических событий

Ежемесячно станциями Архангельской сети регистрируется от 100 до 170 региональных и локальных сейсмических событий различной природы, в том числе землетрясения, промышленные взрывы, техногенные катастрофы и прочее.

Анализ полученного общего промежуточного бюллетеня определяет необходимость использования данных ВАСС для дальнейшей совместной обработки. Как показала практика, в основном, к процессу подключаются записи

станций соседних Скандинавских сетей – KBS, SPITS, ARCES (Норвегия), JOF, SUF, MSF (Финляндия), ARU, LVZ (Global Seismograph Network GSN - IRIS/IDA). В редких случаях могут быть использованы также станции Пермской региональной сейсмической сети, г. Сыктывкара, г. Тикси и т.д. Составленный промежуточный бюллетень передается для дальнейшей обработки сейсмических записей.

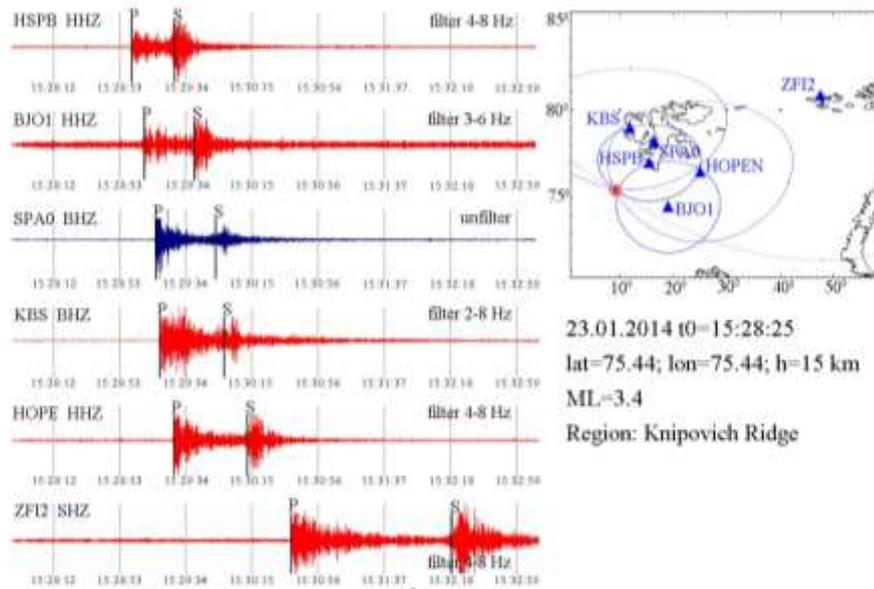
2 этап. На данном этапе обработки работают с базами данных волновых форм и промежуточным бюллетенем. Итогом совместной обработки сейсмического события является определение положения эпицентра и его динамические характеристики (рис. 2.4).

Положение эпицентра, как правило, определяется методом засечек по разности S–P. Обработка записей методом засечек проводится по разности фаз S–P (или Sn–Pn, Sg–Pg) для оценки параметров очага при наличии записей трех каналов не менее трех станций, хорошо окружающих эпицентр. Метод эффективен на локальных и региональных расстояниях. В редких случаях методом полного перебора. Обработка записей методом полного перебора проводится для точной оценки параметров очага при наличии записей не менее пяти станций, хорошо окружающих эпицентр.

Для формирования окончательного сейсмологического бюллетеня ВАСС в лаборатории сейсмологии была разработана программа, позволяющая считывать информацию из БД WSG и представлять каталог в формате *.txt.

Бюллетень содержит подробную информацию о каждом обработанном землетрясении или техногенном событии: дату и время в очаге; координаты эпицентра; количество станций, участвовавших в обработке; географическое местоположение эпицентра; эпицентральное расстояние до каждой станции; время вступления и четкость фаз; величину магнитуды и ее тип. Определение магнитуды происходит только по данным станций АСС, в силу отсутствия АЧХ станций зарубежных сетей. Окончательный бюллетень, в отличие от промежуточного, составляется ежемесячно и является конечным продуктом обработки сейсмических данных.

Совместная обработка всех зарегистрированных сейсмических событий и сохранение ее результатов на сервере в БД обработанных событий



Формирование регионального сейсмологического каталога Архангельской сети

Origin time	Lat	Lon	depth	hsta	region
29.03.2013 01:38:09.000	76.96	18.56	10.00	3	STORFJORDEN-HEER LAND SVALBARD
29.03.2013 01:38:32.950	-	-	-	-	-
29.03.2013 01:38:50.026	-	-	-	-	-
29.03.2013 01:38:44.909	-	-	-	-	-
29.03.2013 01:39:15.546	-	-	-	-	-
29.03.2013 01:39:46.254	-	-	-	-	-
29.03.2013 01:40:58.775	-	-	-	-	-
29.03.2013 02:149:20.000	67.48	64.40	0.00	1	URAL
29.03.2013 02:150:01.104	-	-	-	-	-
29.03.2013 02:150:31.373	-	-	-	-	-

Построение карты эпицентров сейсмических событий по данным Архангельской сети ежемесячно

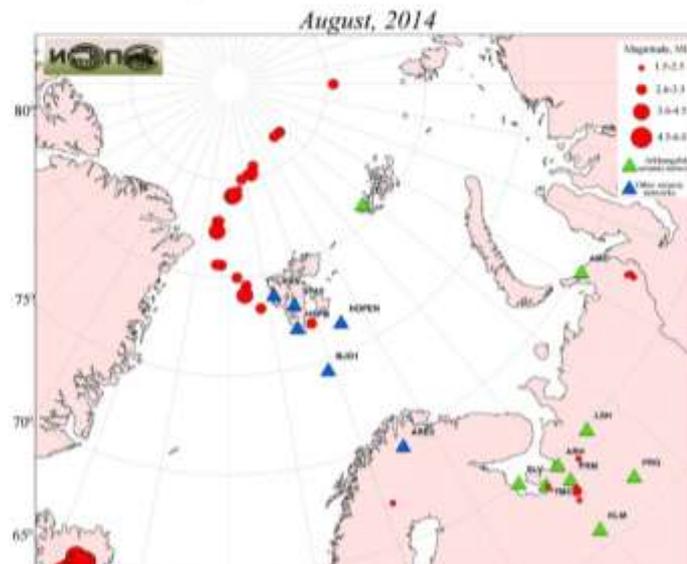


Рис. 2.4. Схема обработки второго этапа региональных сейсмических событий

Информация, содержащаяся в окончательном бюллетене, может быть представлена как в текстовом виде, так и в графическом в виде карт эпицентров (см. рис. 2.4). С помощью программного комплекса ArcGIS выполняется построение различных ГИС-слоев (карты эпицентров зарегистрированных землетрясений и взрывов) и сопоставляется с другими слоями (действующие карьеры, различная геофизическая информация, ответственные объекты и пр.), что позволяет более качественно оценить результаты локации сейсмических событий. Ежемесячные карты локации сейсмических событий по данным ВАСС, начиная с декабря 2012 г., размещаются на сайте ИЭПС УрО РАН (*Архангельский сейсмологический стационар-обсерватория (АССО)*).

Форма представления результатов сейсмологического мониторинга в виде многофункциональной научной и информационной основы позволяет более эффективно, наглядно и на современном уровне вести исследования. Региональный бюллетень, получаемый в процессе обработки сейсмических событий, и востребованность данных, вызывают значительный интерес при изучении современных сейсмических и геодинамических процессов севера Русской плиты и Западной части Арктики.

2.4. Программное обеспечение, применяемое при обработке сейсмологических данных АСС

Интерпретация сейсмических записей проводится, в основном, с помощью программного комплекса Windows Seismic Grafer (WSG). Программное обеспечение для обработки цифровых сейсмических записей WSG представляет собой программный комплекс, включающий основной программный модуль WSG версии 5.XXX и набор вспомогательных сервисных программ-утилит, выполняющихся под управлением операционной системы Windows 95/98/NT/2000/XP (*Автоматизированное рабочее место...*). Программный комплекс разработан в Геофизической Службе РАН (ГС РАН), основной разработчик А.П. Акимов (*Красилов и др., 2006*). Данным программным комплексом пользуется большинство подразделений ГС РАН, что упрощает обмен сейсмологическими данными и является своего рода “единым знаменателем” между

разными сетями. Существенно, что комплекс позволяет настраивать обработку под специфику сети и района. Помимо большого набора встроенных списков станций и годографов, программы-утилиты позволяют загружать дополнительно необходимые данные (станции, годографы, АЧХ аппаратуры) Приведем краткую характеристику комплекса с упором на произведенную настройку для АСС.

2.4.1. Основные элементы WSG, используемые при обработке сейсмических событий

Программный комплекс позволяет работать с большими объемами данных, что является крайне важным при организации постоянных сейсмологических наблюдений. Одновременно в окне просмотра может быть загружено до 48 каналов различных станций.

Интерфейс программы WSG содержит три основных рабочих окна. Подробное описание процедур, включенных во все меню, и краткое описание их действий приводятся в “Перечне функциональных возможностей WSG” (*Конечная, Иванова, Шахова, 2013*).

До начала обработки сейсмологических данных оператор выбирается используемый годограф. Недостатком большинства ПО для обработки данных (в том числе WSG) является однозначный выбор годографа для всех станций (например, нельзя для с/с ZFI использовать годограф Varents, а для с/с KLM – IASPEI). В случае Архангельской сети, ввиду больших расстояний между станциями, это является крайне неудобным, а в случае землетрясений хр. Гаккеля – критичным.

Для обработки данных АСС в WSG используются мировой годограф IASPEI91 и региональные годографы Varents и NORP. Скоростная модель, которая лежит в основе годографа Varents, получена в Кольском филиале ГС РАН (<http://www.krsc.ru/defmon.htm>). Она, является неким гибридом скоростных моделей Fennoscandia (до глубины 55 км) и IASPEI91 (свыше 55 км) и носит название Varents. Скоростные разрезы, полученные в лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН (*Французова и др., 2011*) с помощью метода приемных функций

обменных P- и S-волн, пересчитаны в годограф NORP. В приложении А приведены скоростные колонки и графы названных региональных годографов.

Окно “Волновые формы” (рис. 2.5) является основным, и содержит большее число функциональных возможностей WSG. Окно позволяет загружать данные различных станций и каналов из базы данных волновых форм. Списки каналов и станций корректируют здесь же. После загрузки необходимых волновых форм, предусмотрены следующие процедуры: фильтрация (или симуляция) сигнала (пример см. на рис. 2.5), перемещение записи по времени, выравнивание по амплитуде, отметка выделенных фаз, создание учетной записи обрабатываемого события и других полезные функции, используемые при интерпретации сигнала. В окне “Волновые формы” можно провести расчет азимута по трем компонентам и оценить положение гипоцентра методом минимизации временных невязок. Однако, последнее удобнее выполнять в окне “Карта”, чтобы лучше понимать пространственное положение гипоцентра.

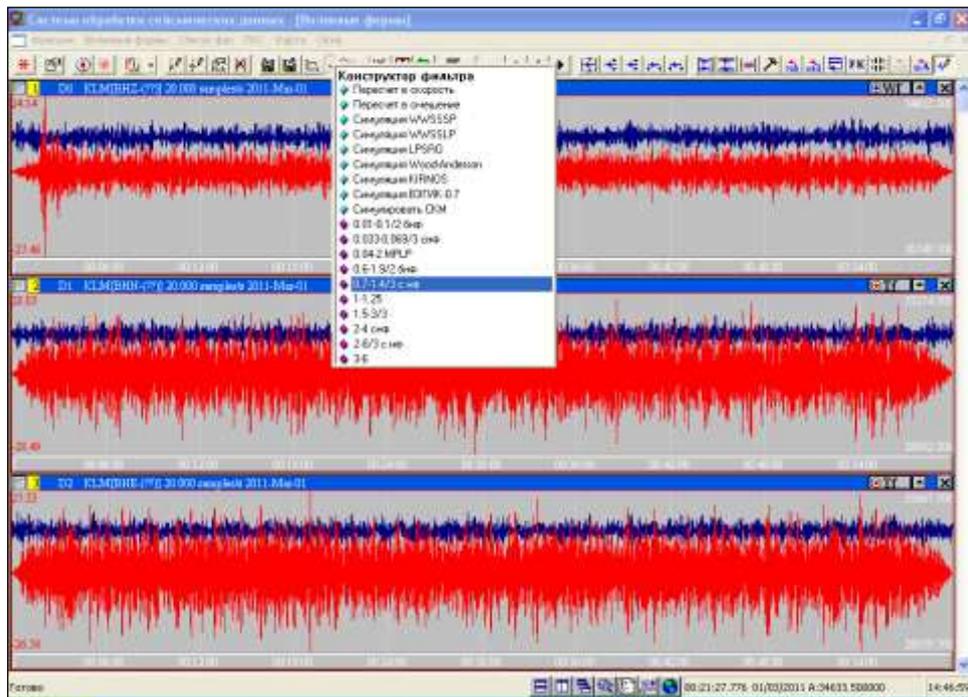


Рис. 2.5. Пример процедуры фильтрации записи

После расстановки всех выделенных фаз, расчета эпицентральных расстояний, времени в очаге и оценки положения гипоцентра, в окне “Волновые формы” проведены динамические замеры (рис. 2.6) и расчеты магнитуды. Для телесейсмических землетрясений:

- MPSP для расстояний $\Delta=20-100^\circ$, в максимуме Р-волны на Z-компоненте, вычислена по короткопериодному фильтру 0.6-1.9 Гц. Аналог магнитуды MPVA.
- Ms для расстояний $\Delta=3-180^\circ$, в максимуме поверхностной волны LRM на Z-компоненте по фильтру 0.01-0.2 Гц; Международный аналог магнитуды MLH.
- MPLP для расстояний $\Delta=20-100^\circ$, в максимуме Р-волны на Z-компоненте, вычислена по фильтру 0.04-2 Гц.

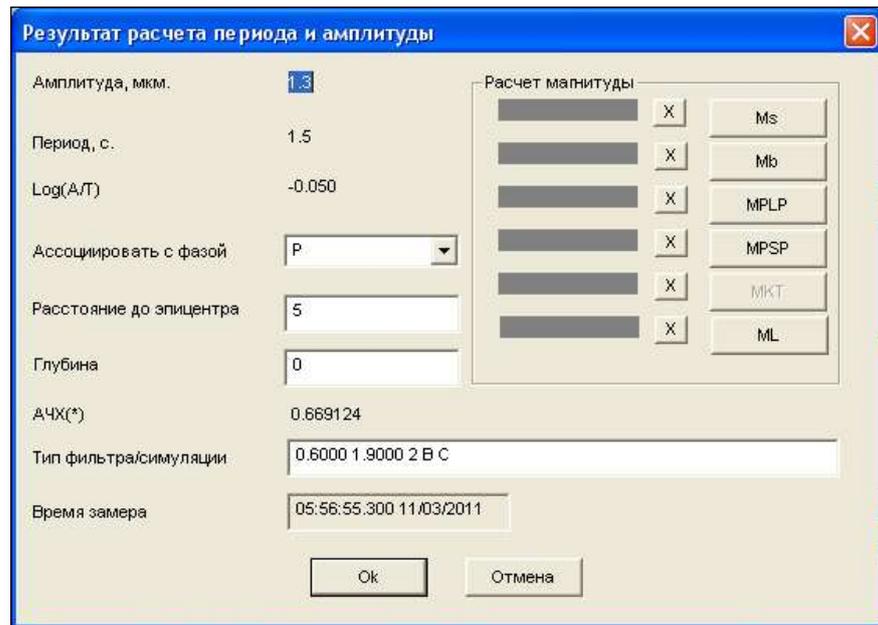


Рис. 2.6. Диалоговое окно “Результат расчета периода и амплитуды”

На близких расстояниях рассчитана локальная магнитуда ML по формуле, полученной Рихтером в 1935 г. (*Magnitude scales for local events, 2002*) для расстояний от 30 до 600 км, которая позже была дополнена для расстояний $\Delta < 30$ км.

$$ML = \lg A_{\max} + \sigma(\Delta, h) + C$$

где $\sigma(\Delta, h)$ – калибровочная кривая, C – станционная поправка.

При вычислении локальной магнитуды сейсмических событий, нами использована калибровочная функция, полученная путем осреднения основных региональных шкал СНГ и приведена к уровню шкалы Рихтера (*Габсатарова, 2006*). Выбор именно этой кривой обусловлен отсутствием калибровочной функции для Арктического региона. Кроме того, данная калибровочная функция реализована в программном комплексе WSG, используемом при обработке данных

Архангельской сети. Получение калибровочной кривой подробно описано в (Габсатарова, 2006). Она задана следующими соотношениями:

$$\text{для } \Delta=5 - 200 \text{ км} \quad \sigma = 1.43 \cdot \log_{10}(\Delta) + 0.29$$

$$\text{для } \Delta=200 - 1000 \text{ км} \quad \sigma = 2.51 \cdot \log_{10}(\Delta) - 2.21$$

График калибровочной кривой показан на рис. 2.7.

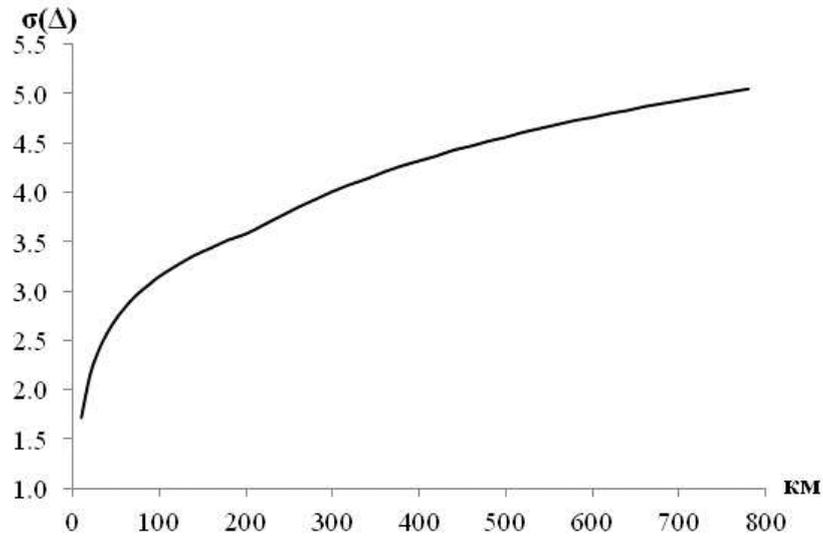


Рис. 2.7. Калибровочная функция, применяемая для расчета локальной магнитуды M_L (Габсатарова, 2006)

Станционные поправки C , для станций Архангельской сети, не учитываются и принимаются равными нулю.

На рис. 2.8 представлено сравнение расчетных значений локальной магнитуды M_L с M_W и M_S (по данным Гарвардского Университета) и M_L (по данным NORSAR), которое показало хорошую сходимость рассматриваемых магнитудных шкал. Коэффициенты корреляции для всех зависимостей принимают значения выше 65 % (табл. 3).

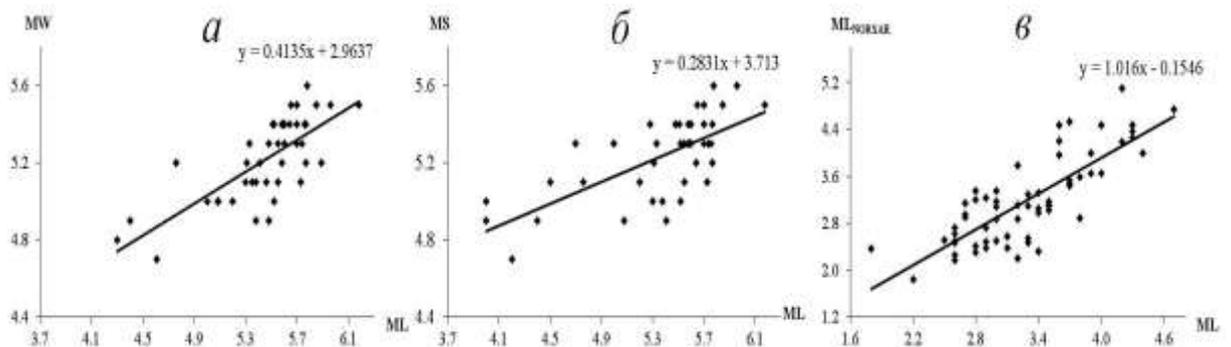


Рис. 2.8. Графики зависимости между различными определениями магнитуд: а – M_W от M_L ; б – M_S от M_L ; в – $M_{L_{NORSAR}}$ от M_L

Таблица 3

Параметры зависимостей различных магнитудных шкал

Зависимость	Линейное уравнение	Коэффициент корреляции
MW от ML	$MW=0.41ML+2.96$	0.75
MS от ML	$MS=0.28ML+3.71$	0.69
ML_{NORSAR} от ML	$ML_{NORSAR}=1.02ML-0.15$	0.80
ML от mb	$mb=0.42ML+2.26$	0.65

В (Ассиновская, 1994) приведено соотношение ML (для территории Фенноскандии) и mb:

$$ML = (0.78 \pm 0.02)mb + (0.74 \pm 0.11)$$

Аналогичное соотношение было получено и для магнитуды ML, применяемой при расчете параметров эпицентра по данным Архангельской сейсмической сети (табл. 3).

В окне “Карта” (рис. 2.9) визуализируется информация. В частности, отображаются сейсмические станции, гипоцентр события, эпицентральное расстояние, рассчитанное для каждой станции в ходе обработки.

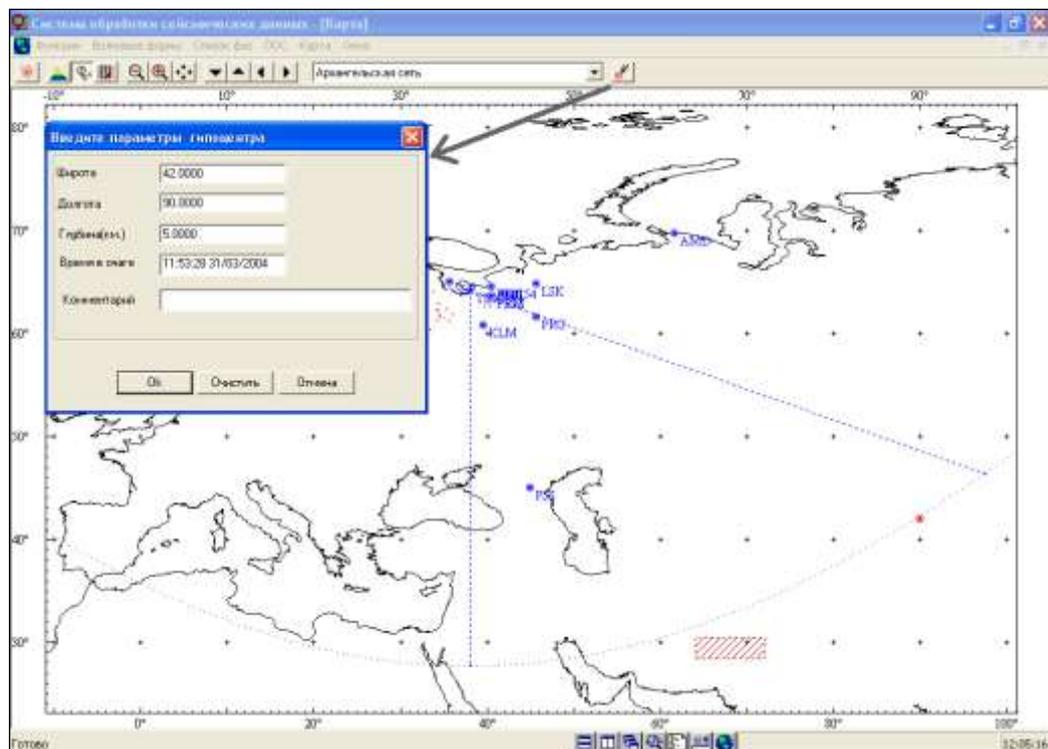


Рис. 2.9. Окно “Карта” программного комплекса WSG

В окне “Список фаз” оценивается положение гипоцентра по методу минимизации временных невязок. Также можно отметить эпицентр события,

полученный по методу засечек (определяется оператором в точке пересечения эпицентральных расстояний). Недостатком программы является отсутствие инструмента для вычисления эллипса ошибок.

В окне “Список фаз” (рис. 2.10) отображены численные значения времен вступлений всех фаз на записи и других параметров (эпицентральные расстояния, значения азимутов, временные невязки, значения магнитуд и др.), полученные при обработке записей всех сейсмических станций, визуализированных в окне “Волновые формы”. Сохранение информации об обработанном событии в базу данных происходит в окне “Список всех фаз”. Также загружается из базы список фаз ранее обработанных событий.

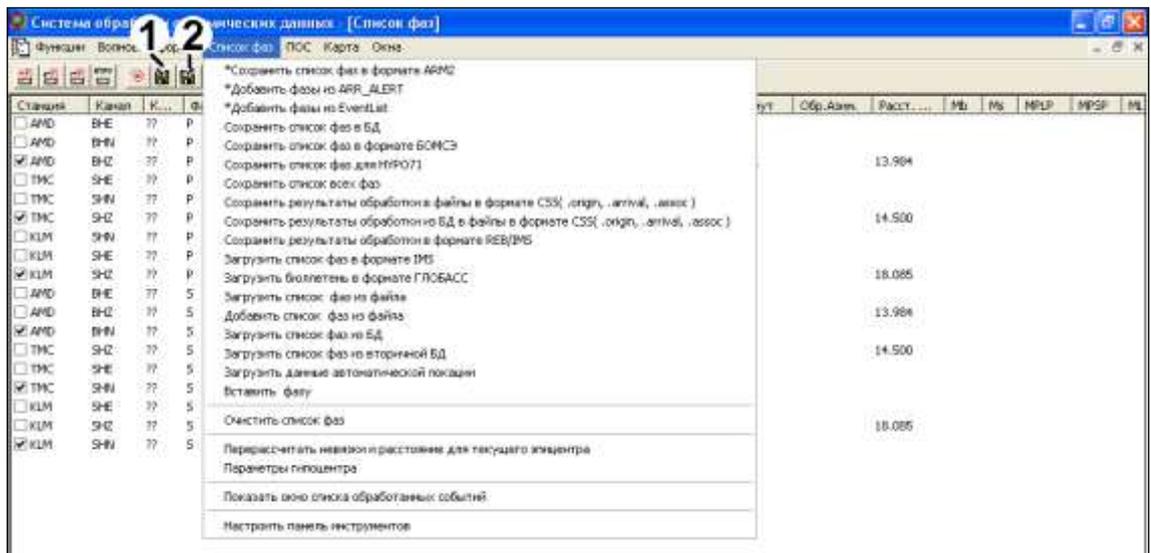


Рис. 2.10. Окно “Список всех фаз” программного комплекса WSG

2.4.2. Использование дополнительных возможностей WSG и программы-утилиты

Окно “ПОС” – процессор обработки сигнала, позволяет применять отдельные математические функции с целью преобразования сигналов для их детального исследования и коррекции, например, спектрального исследования с помощью быстрого преобразования Фурье и сравнительного анализа, как записей сейсмических волн, так и их спектров. Недостатком программы является отсутствие автоматической опции перевода относительных величин амплитуд сигналов (count) в абсолютные значения (м/с). В рамках этой программы проведена

простая, но важная процедура вычисления коэффициента пересчета из относительной размерности в абсолютную по формуле:

$$K = \frac{K_{\text{датчика}}}{K_{\text{станции}}},$$

где величины $K_{\text{датчика}}$ и $K_{\text{станции}}$ – соответствующие значения коэффициентов преобразования из технического паспорта аппаратуры. Были получены коэффициенты пересчета для всех каналов сейсмических станций, имеющих в лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН. Далее, цифровая запись каждого канала делится на коэффициент K , на выходе имеем сейсмическую запись в абсолютных единицах (в мкм/с). Например, в WSG данную процедуру можно провести в окне “ПОС”, предварительно вычтя средние значения (*Конечная, Иванова, Шахова, 2013*).

В WSG существуют следующие вспомогательные программы: Data Processor (DP), SetStationParam (SetSta) и ResponseDB, а также ряд необходимых конвертеров для загрузки данных в БД WSG. Все они используются при работе с программным комплексом, но не регулярно, а по мере необходимости. Рассмотрим назначение каждой из них.

Утилита “Data processor” предназначена для работы с сейсмической информацией из базы данных WSG. Цель ее создания – получение станционных бюллетеней (обычно формируются ежедекадно). Утилита SetStationParam предназначена для включения и корректировки технических параметров сейсмических станций в базу данных пакета WSG. Утилита ResponseDB используется оператором достаточно редко. Данная программа предназначена для вывода на экран амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) каналов сейсмической аппаратуры в формате FAP (частота–амплитуда–фаза) и SAC (нулей–полюсов), хранящихся в базе данных или в файле, а также для их занесения в базу и выгрузки из базы данных.

Кроме основной программы WSG, для частных случаев (локальных землетрясений; в Архангельской области и на Полярном Урале) используются программы, позволяющие проводить более глубокий анализ сейсмологических данных. Например, НУРО2014, модификации д.ф.-м.н. В.Ю. Бурмина (*Бурмин, 2012*), программа “FA2011”, разработанной А.В. Ландером для расчета механизма

очага (*Иванова и др., 2011*). Эти программы используются при обработке наиболее важных для АСС землетрясений, произошедших в Архангельской области (в 2005 и 2013 гг.), Полярном Урале (2012 г.).

При интерпретации результатов, для получения распределения представительного уровня магнитуды использовалась программа Completeness Magnitude (разработка В.Б. Смирнова, совместно МГУ им. М.В. Ломоносова и ИФЗ им. Ю.О. Шмидта).

2.5. Чувствительность Архангельской сейсмической сети при мониторинге западного сектора арктической зоны РФ

Проведение сейсмического мониторинга отдельных районов Арктики осложнено рядом объективных трудностей. Во-первых, редкая сеть сейсмических станций не позволяет регистрировать слабые землетрясения. Во-вторых, конфигурация (расположение в пространстве) станций порой не всегда позволяет достоверно определять многие параметры очага землетрясений (координаты, глубины, фокальные механизмы). В результате, как отмечает в работе Г.Д. Панасенко (*Панасенко, 1986*), складывающиеся представления о сейсмичности Арктики неполны и односторонне отражают действительность, поскольку слабые землетрясения не участвуют в их формировании. Именно изучение слабой сейсмичности дает многое для выявления пространственно-временных вариаций сейсмического излучения геологической среды, правильного понимания её связи с геологическим строением региона и геодинамическими процессами. Аналогичные выводы делают в своих работах и другие авторы, в частности (*Аветисов, 1996; Ассиновская, 1994; Юдахин, Французова, 2006*).

Чувствительность сети определяется уровнем представительной магнитуды (минимальной магнитудой землетрясений, регистрируемых без пропусков). Кроме расчета $M_{пред}$ в диссертации проведен ряд расчетов, позволяющих расширить представления о чувствительности Архангельской сети. Все применяемые подходы будут описаны ниже.

Появление на арктических и приарктических территориях новых сейсмических станций может дополнить представления о сейсмичности Арктики. Многие зависят от чувствительности устанавливаемых станций.

Накопленные за период функционирования АСС данные по локальным и региональным сейсмическим событиям позволяют оценить её чувствительность при проведении мониторинга западного сектора арктической зоны РФ. Вклад сети в мониторинг землетрясений на телесеизмических расстояниях оценивался ранее в работе (Морозов, Французова, 2009). С тех пор открыты новые сейсмические станции, и задачи мониторинга изменились в сторону изучения региональных событий.

Рассмотрим, как влияет расширение АСС и методика обработки на возможность выделения событий из конкретных зон региона.

В период с 2003 по 2010 года изменения в конфигурации Архангельской сети (рис. 2.11а) не оказывали большого влияния на регистрацию землетрясений из районов Арктики.

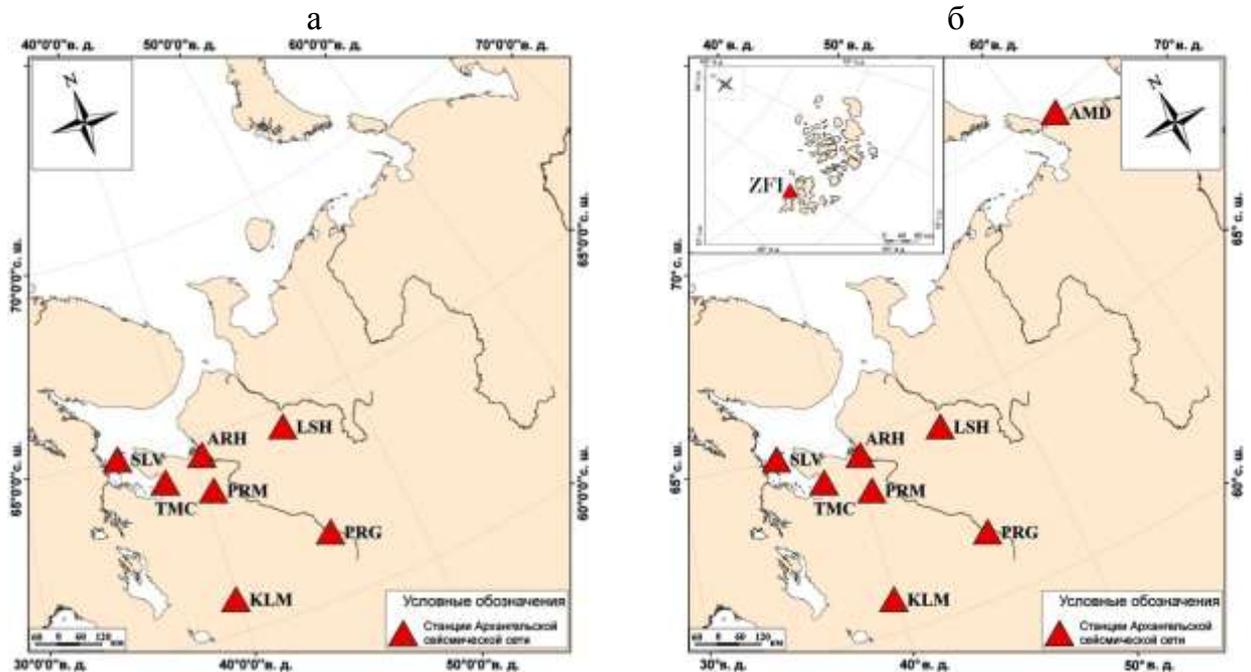


Рис. 2.11. Пространственная конфигурация станций АСС:
а – с 2003 по 2010 г.; б – с 2011 по настоящее время

С 2011 года последовательно за Северным полярным кругом – на континенте и на островной территории Арктики были введены в строй сейсмические станции “Амдерма” и “Земля Франца-Иосифа” (рис. 2.11б). В следствие, был изменен

принцип обработки поступающей сейсмической информации (см. п. 2.3), что не могло не сказаться на количестве регистрируемых землетрясений с арктических территорий. Поэтому, проведена оценка чувствительности Архангельской сети вначале в конфигурации периода 2003 – 2010 гг. (Юдахин и др., 2012; А. Morozov, Ya. Konechnaya, 2013), а затем с 2011 г. – по настоящее время.

Чувствительности Архангельской сети в период функционирования с 2003 по 2010 гг. Оценка чувствительности АСС при проведении мониторинга Арктики проведена с помощью следующих подходов:

- составление и анализ сейсмического каталога сети для определения основных районов Арктики, из которых регистрируются сейсмические события;
- выполнения оценки магнитудной чувствительности сети, что дает непосредственное представление о возможностях сети в регистрации событий из разных районов;
- сравнение каталога Архангельской сейсмической сети с каталогами сейсмологической службы NOR SAR и Геофизической службы РАН, что позволяет определить районы уверенной регистрации и “тени”.

Исходным материалом являлись данные сейсмических станций ARH, KLM, PRG, TMC, PRM, LSH и SLV за период с конца 2003 по 2010 гг. (включительно). Зарегистрированным считалось то землетрясение или иное сейсмическое событие, у которого было выделено на записях первое вступление объемных волн (Р-фаза). Не во всех случаях есть возможность определить параметры очага зарегистрированного события по данным станций АСС, тогда координаты, время в очаге и магнитуду зарегистрированного события дублировались из каталога службы NOR SAR (или ССД ГС РАН). При определении эпицентральных расстояний координаты станции KLM условно приняты в качестве начала координатной сетки. Анализ данных показал, что за период функционирования АСС с 2003 по 2010 гг. станциями было зарегистрировано более 900 событий. Среди них, непосредственно землетрясений было выделено около 500. Остальные 45 % сейсмических событий – карьерные взрывы из промышленных предприятий Карелии, Кольского полуострова и скандинавских стран.

Оценка регистрационных возможностей каждой из станций АСС показывает, что в конфигурации 2003–2010 гг. (см. рис. 2.11а) наиболее эффективна станция

KLM, расположенная на юге Архангельской области и относительно удаленная от очагов сейсмических событий (табл. 4). Станции TMC, PRM и PRG в среднем регистрируют по одинаковому числу событий. Более высокие показатели имеют станции SLV и LSH: 41 соб./год и 79 соб./год, соответственно.

Таблица 4

Количество сейсмических событий, регистрируемых ежегодно станциями Архангельской сети в период 2003-2010 гг.

местоположение	φ, °N	λ, °E	Код станции	соб/год
дер.Климовская	60.85	39.52	KLM	130
с.Лешуконское	64.87	45.73	LSH	79
пос.Соловки	65.02	35.71	SLV	41
дер.Пермогорье	61.63	45.63	PRG	28
дер.Пермилово	63.62	40.52	PRM	28
дер.Тамица	64.16	38.01	TMC	26
г.Архангельск	64.55	40.51	ARH	4

Для оценки чувствительности сейсмической сети были созданы:

1) Карта значений минимальных магнитуд.

Территория Арктического региона разбивалась на ячейки размером $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Территория республики Карелии и Мурманской области, из-за малых эпицентральных расстояний до станций, разбивалась на ячейки размером $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. По каталогу зарегистрированных сетью сейсмических событий для каждой ячейки определялось минимальное значение магнитуды. Полученные значения отображены на карте эпицентров этих событий (рис. 2.12а,б). Для удобства интерпретации и наглядности полученных результатов, на рис. 2.12 а,б сопоставлены аналогичные карты за период 2003–2010 гг. и с 2011 г. по настоящее время. Информация представлена в табл. 2.

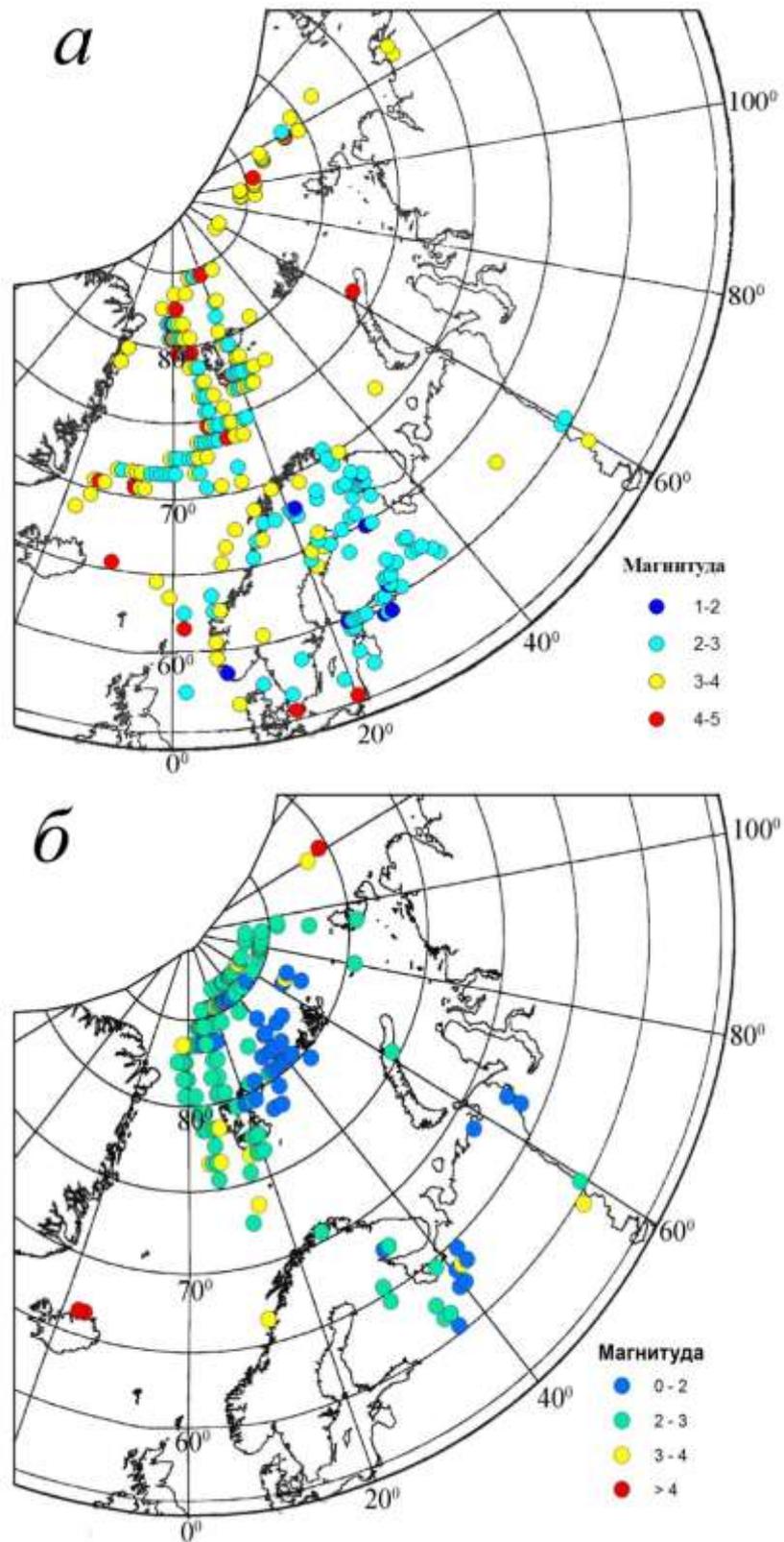


Рис. 2.12. Карта эпицентров со значениями минимальных магнитуд сейсмических событий, зарегистрированных АСС: а – с конца 2003 по 2010 гг.; б – с 2011 по настоящее время

Анализ (см. рис 2.12а) показывает, что для Срединно-Арктического пояса землетрясений значения минимальных магнитуд сильно варьируются. Для хребтов Мона и Книповича магнитуды принимают значения в диапазоне от 2.0 до 3.0. Для хребтов Колбейнсей и Гаккеля, в основном, в диапазоне от 3.0 до 4.0. Для Фенноскандии магнитуды – в диапазоне от 2.0 до 3.0. С архипелага Шпицберген регистрируются события со значениями минимальных магнитуд в диапазонах от 2.0 до 3.0 и от 3.0 до 4.0. Для территорий Арктической Канады и акваторий Норвежского, Гренландского и Баренцева морей значения минимальных магнитуд, в основном, не ниже 3.0.

Еще раз подчеркнем, что данный факт свидетельствует только о возможности регистрации землетрясения (зачастую только первого вступления) и не всегда – о возможности лоцировать событие с таким значением минимальной магнитуды.

Построение карт с отображением минимальных магнитуд сейсмических событий в период 2011 по настоящее время позволяет увидеть особенности чувствительности сети в разных районах западного сегмента Арктического региона (см. рис. 2.12,б). Так, для континентального склона вблизи архипелагов Земля Франца-Иосифа и Шпицберген минимальная регистрируемая магнитуда не превышает значений 2. Для хребтов Книповича и Гаккеля (его западной части), а также архипелагов Шпицберген, Новая Земля и Северная Земля магнитуды принимают значения в диапазоне от 2.0 до 3.0.

На территории Архангельской области минимальные значения магнитуд – от 2.0 до 3.0 и от 3.0 до 4.0.

2) График повторяемости.

Информация о минимальных магнитудах сейсмических событий, зарегистрированных сетью, 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, согласно которому уровень представительной магнитуды оценивается в диапазоне от 3.3 до 3.8, для рассматриваемого периода 2003–2010 гг. среднее её значение соответствует $M_{пред}=3.5$ (рис. 2.13).

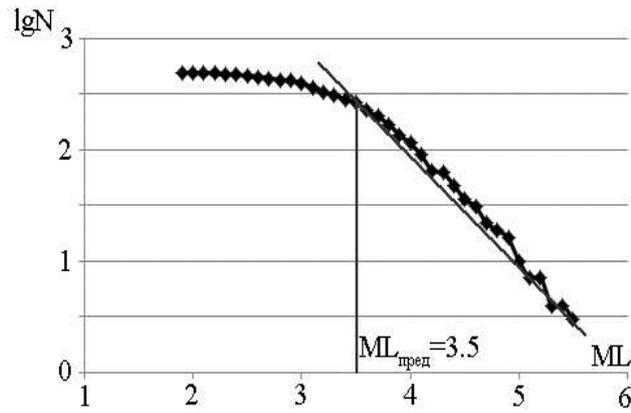


Рис. 2.13. Кумулятивный график повторяемости сейсмических событий Арктического региона за период 2003–2010 гг.

3) График значений магнитуд $m_{0.5}$

$m_{0.5}$ – значение магнитуды, при которой вероятность обнаружения события с данной магнитудой в заданных условиях равна 50 % (Аксенович и др., 1988). Кривая чувствительности $m_{0.5}$ – зависимость $m_{0.5}$ от эпицентрального расстояния Δ , как один из методов оценки магнитудной чувствительности, впервые была введена в работе (Аксенович и др., 1988). Для конкретной сейсмической станции поиск значений $m_{0.5}$ осуществлялось путем сравнения станционного каталога зарегистрированных землетрясений с каталогом международных сейсмологических служб. При сравнении значений магнитуд мирового каталога и станционного за один период времени находится значение магнитуды, при которой станция регистрирует 50 % событий международного каталога. График значений магнитуды $m_{0.5}$, рассчитанный для станции KLM представлен на рис. 2.14.

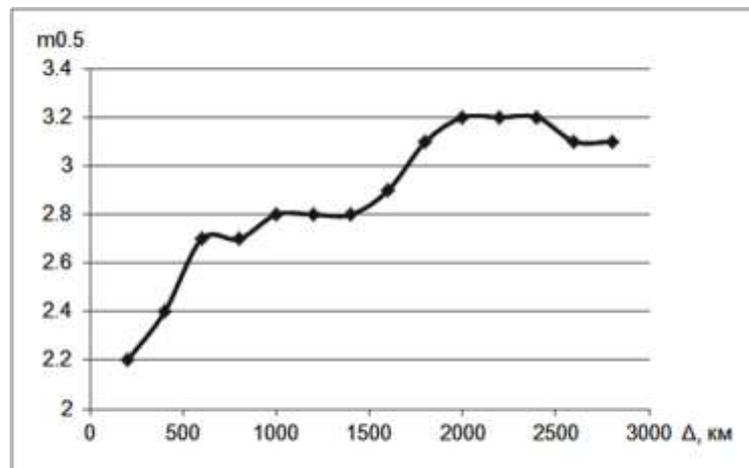


Рис. 2.14. График значений магнитуды $m_{0.5}$ для с/с KLM

В диапазоне эпицентральных расстояний от 200 до 500 км (территория республики Карелия и Мурманской области) значение магнитуды $m_{0.5}$ увеличивается с 2.2 до 2.7, в диапазоне от 500 до 1500 км (территория Фенноскандии) значение $m_{0.5}$ постоянно и соответствует значению 2.8. Далее до расстояния от эпицентров сейсмических событий равного 2000 км (хребты Мона и Книповича, архипелаг Шпицберген) значение возрастает до 3.2 и остается в дальнейшем практически постоянным вплоть до значений расстояний 2700 км (хребет Геккеля), где значение снижается.

4) Карты эпицентров зарегистрированных событий для разных сетей.

Рассмотрим эпицентры событий по результатам анализа каталога ACC в сравнении с каталогами сейсмологической службы NOR SAR (www.norsardata.no) и Геофизической службы РАН (www.ceme.gsras.ru). Для большей наглядности на карте изображались события, эпицентры которых располагаются севернее 55° с.ш. Помимо карт были построены также диаграммы распределения по магнитудам сейсмических событий, зарегистрированные службами NOR SAR, ГС РАН и ACC. Главная причина, почему были выбраны именно эти сейсмологические службы, состоит в том, что они являются одними из основных источников информации о проявлении сейсмичности в Арктическом регионе для различных международных объединенных сейсмических каталогов.

Анализ рис. 2.15 показал, что станции службы NOR SAR обладают высокой чувствительностью (аппаратура станций сконфигурирована в апертурные группы) и регистрируют события на сравнительно небольшой территории, охватывающей Норвежско-Гренландский бассейн и малую часть Евразийского суббассейна Арктического региона (см. рис. 2.15а), что объясняется, прежде всего, задачами службы. Благодаря географически выгодному расположению апертурных групп на территории Скандинавского полуострова станциями службы NOR SAR успешно регистрируются события малых магнитуд. В каталогах нередко встречаются события с $M_L < 1$ (рис. 2.16). При этом события не разделяются по типам источников, как результат - в итоговом каталоге содержится много событий техногенного происхождения.

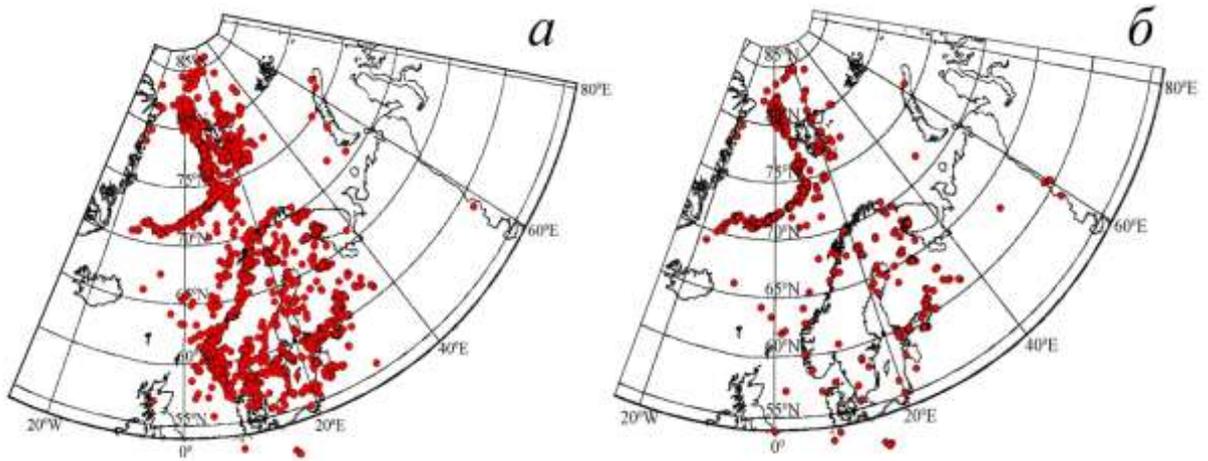


Рис. 2.15. Карта эпицентров сейсмических событий Арктического региона, записанных в 2004–2010 гг.: а – службой NOR SAR; б – АСС

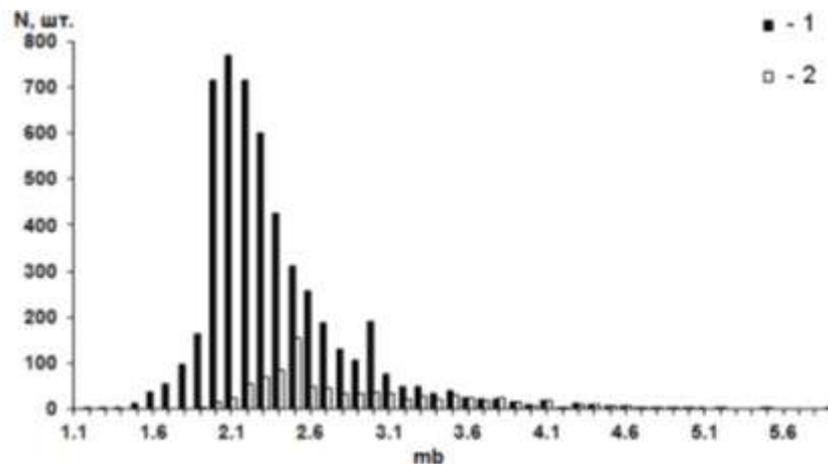


Рис. 2.16. Диаграмма сравнения числа зарегистрированных сейсмических событий службой NOR SAR (1) и АСС (2)

Архангельская сейсмическая сеть регистрирует немного меньше событий, эпицентры которых приурочены к хребтам Колбейнсей, Мона и Книповича, а также к арх. Шпицберген, в сравнении с каталогом NOR SAR. Достаточно малое число событий регистрируется из шельфовой зоны Норвежского и Баренцева морей (см. рис. 2.15б). В диапазоне магнитуд до 3.5 АСС регистрирует малую долю событий из каталога NOR SAR (см. рис. 2.16). События выше 3.5 наблюдаются практически в полном объеме. При этом в диапазон магнитуд до 3.5 попадает большинство промышленных взрывов, производимых на территории Фенноскандии. Если провести очистку каталога от техногенных событий, то доля естественных событий, зарегистрированных Архангельской сетью будет сравнима с каталогом NOR SAR.

Геофизическая служба РАН регистрирует события из разных районов Арктического региона в диапазоне магнитуды от 3.5 (рис. 2.17а).

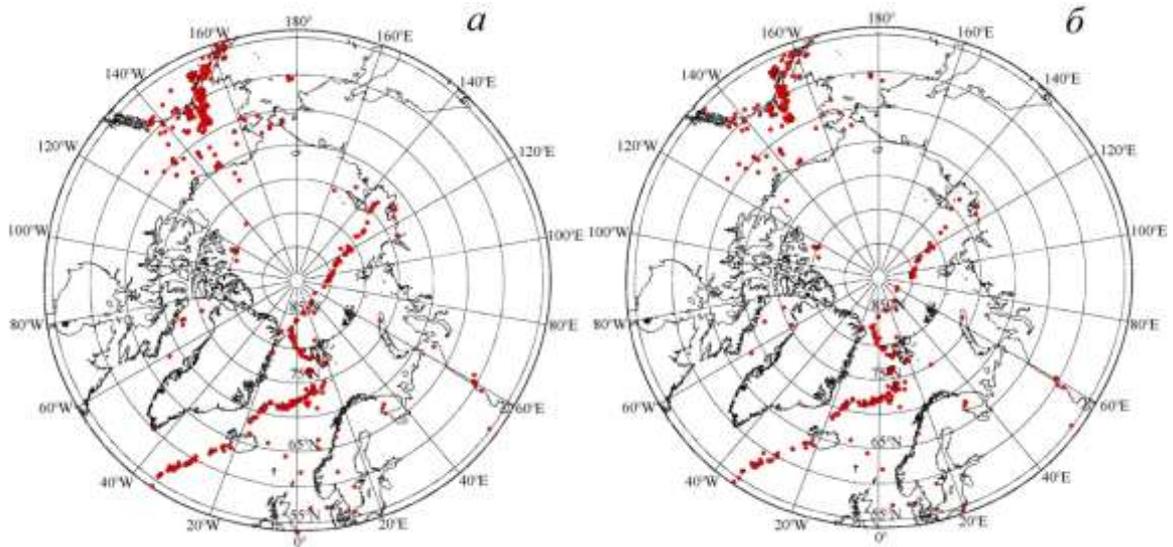


Рис. 2.17. Карта эпицентров сейсмических событий Арктического региона, зарегистрированных за период с 2004 по 2010 гг.: а – ГС РАН; б – АСС

Представительность ГС РАН объясняется географически развитой сейсмической сетью. Сравнение каталогов показывает, что эпицентры зарегистрированных Архангельской сетью событий располагаются географически подобно (см. рис. 2.17). В основном, события ложатся вдоль Срединно-Арктического пояса землетрясений и на территорию Аляски. При этом регистрируется около половины событий из каталога ГС РАН в диапазоне магнитуд от 3.5 до 4.5 и практически все события с магнитудой свыше 4.5 (рис. 2.18).

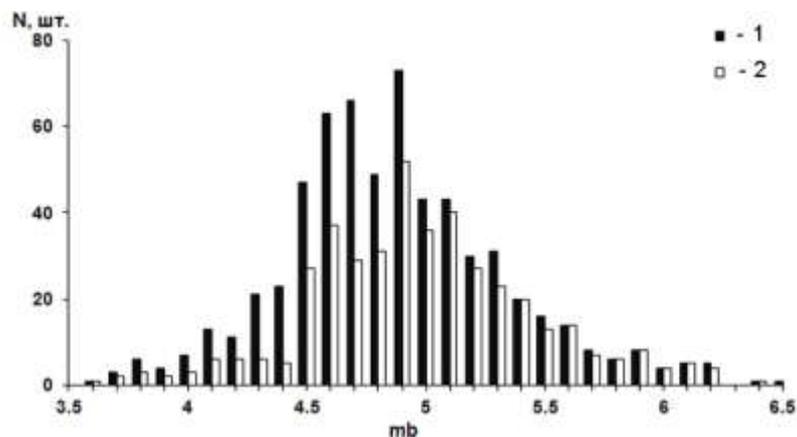


Рис. 2.18. Сравнение количества сейсмических событий, зарегистрированных сетями ГС РАН (1) и АСС (2) за 2004-10 гг.

Таким образом, при оценке чувствительности АСС мониторинга западного сегмента Арктического региона в период с 2003-10 гг. вытекают следующие выводы:

– сейсмические станции АСС регистрируют события, эпицентры которых приурочены к основным районам проявления межплитной и внутриплитной сейсмичности в Арктическом регионе;

– уровень магнитудной чувствительности станций Архангельской сети и ее конфигурация позволяют изучать общие закономерности сейсмического режима Арктических территорий, но недостаточны для детального изучения отдельных сейсмоактивных зон;

– по своему географическому местоположению и функциональным возможностям Архангельская сейсмическая сеть может дополнять информацию о проявлении сейсмичности в Арктическом регионе, получаемую из сейсмологических служб NOR SAR и ГС РАН.

Увеличение чувствительности Архангельской сети в период функционирования с 2011 г. по настоящее время.

Архангельская сеть претерпела существенные изменения с 2011 г. (см. рис. 2.11б). Введены сначала в тестовую эксплуатацию, а затем и в стационарный режим сейсмические станции “Земля Франца-Иосифа”, “Амдерма”, “Нарьян-Мар”. Также была реорганизована система проведения регионального мониторинга на базе станций Архангельской сети, в результате чего в выпускаемом собственном сейсмологическом каталоге отображаются параметры землетрясений, рассчитанные сотрудниками Архангельской сейсмической обсерватории. Локация эпицентров проведена по данным ВАСС, а оценка энергетических характеристик – по данным АСС. При этом в расчет вошли события, имеющие Р и S фазы на записях, и не учитывались события, имеющие только первое вступление (как это было сделано при расчетах чувствительности за период 2003–2010 гг.).

Оценка чувствительности АСС в период функционирования с 2011 года проведена аналогично с помощью следующих подходов:

– анализа сейсмического каталога сети для определения основных районов Арктики, из которых регистрируются сейсмические события;

– сравнения каталога АСС с каталогами NORSAR и ГС РАН, что позволяет определить районы уверенной регистрации и “тени”;

– выполнения оценки магнитудной чувствительности сети, что дает непосредственное представление о возможностях сети в регистрации событий из разных районов.

Исходным материалом являлись данные сейсмических станций KLM, PRG, TMC, LSH, SLV, AMD и ZFI с декабря 2012 по май 2013 гг. (включительно) и составленного на их основе каталога.

На рис. 2.19 (красный маркер) представлен существенный вклад в регистрацию землетрясений из западного сектора арктической зоны РФ (хребта Гаккеля и континентального склона шельфа) Архангельской сейсмической сети с вводом сейсмические станции “Земля Франца-Иосифа”.

Сейсмическая станция “Амдерма” обеспечила регистрацию большого числа техногенных событий Полярного Урала. В остальном, ситуация не изменилась: с/с KLM и LSH продолжают регистрировать события в своем обычном режиме, с той лишь разницей, что существенно сократилось число событий Фенноскандии, попадающих в сейсмический каталог, из-за отсутствия достаточного числа фаз для их локации. Однако, несмотря на отсутствие этих событий в каталоге Архангельской сети, их записи имеются (но не с полным набором четко читаемых фаз), и они могут быть полезны при совокупной обработке данных со станциями других сейсмологических служб. Так же регистрируются землетрясения с хребтов Колбейнсей, Мона, Книповича и Гаккеля.

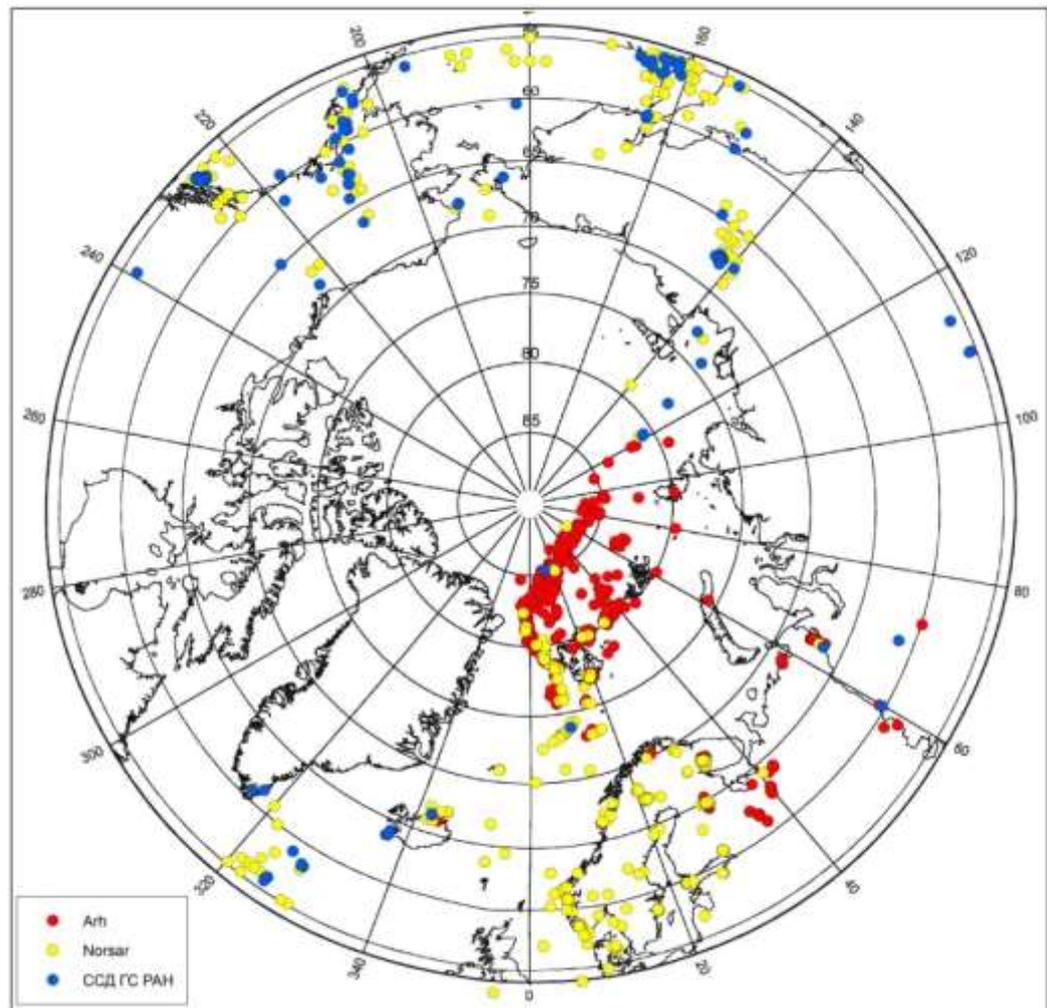


Рис. 2.19. Карта эпицентров сейсмических событий зарегистрированные АСС, NORSTAR и ГС РАН в период с декабря 2012 по май 2013 гг.

Для сравнения каталога АСС с каталогами NORSTAR и ГС РАН была построена карта, на которой нанесены эпицентры всех сейсмических событий, зарегистрированные службами с декабря 2012 по май 2013 гг. (см. рис. 2.19).

Более подробно остановимся на землетрясениях хр. Гаккеля, поскольку они представляют наибольший интерес ввиду появления этой зоны на картах сейсмичности АСС после установки станции на арх. Земля Франца-Иосифа.

На рис. 2.20 показаны распределения минимальных магнитуд и представительного уровня магнитуды M_L для землетрясений хребта Гаккеля. В качестве исходных данных в обоих случаях использовалась выборка землетрясений за период с декабря 2011 по декабрь 2014 гг. Всего она содержит порядка 450 землетрясений. Для удобства сравнения представленных распределений (см. рис. 2.20) нанесены события до 30° в.д.

Карта значений минимальных магнитуд (рис. 2.20а) получена тем же способом, что карты в целом по региону (см. рис. 2.12) с единственным различием: территория разбивалась по ячейкам не $1 \times 1^\circ$, а 10×10 км. Анализ распределения показывает, что землетрясения с $M_L < 1.5$ практически не регистрируются, что, очевидно, связано и удаленностью станции ZFI от очагов. В основном, $M_{L_{min}}$ лежат в диапазоне от 2.5–3.5. Хотя на ближайших расстояниях к станции регистрируются землетрясения с $M_{L_{min}} = 1.5–2.5$.

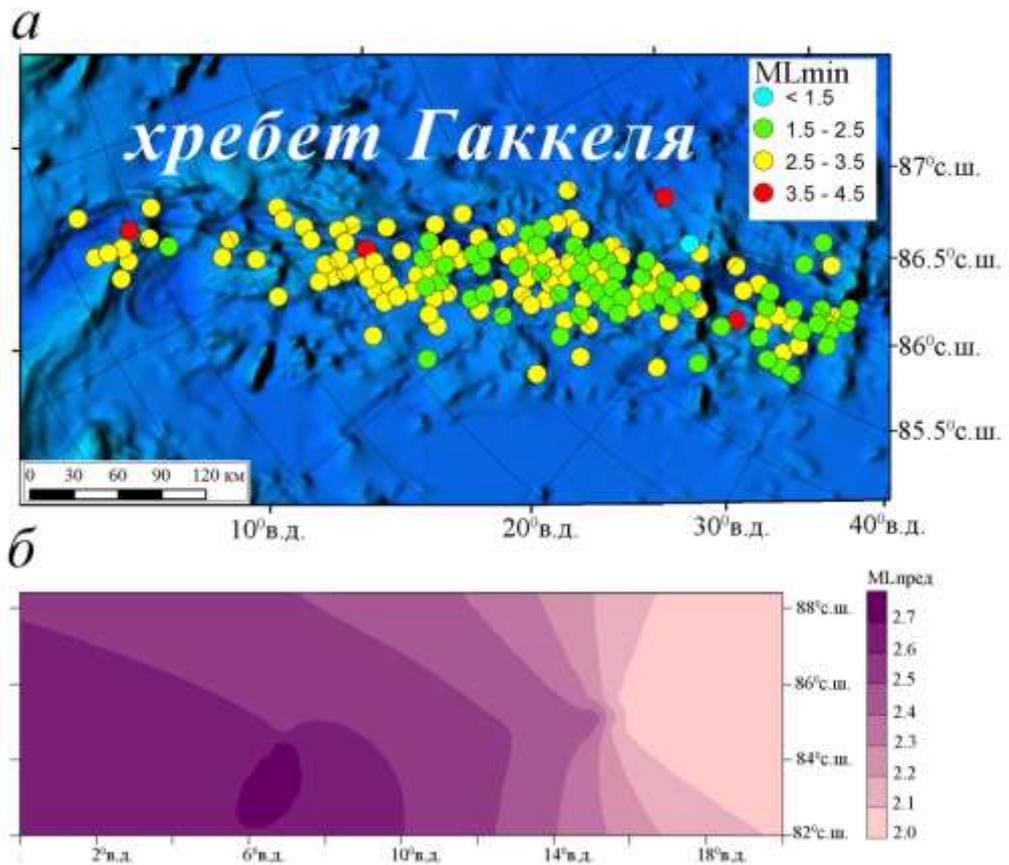


Рис. 2.20. Распределение магнитуды землетрясений M_L вдоль хр. Гаккеля, зарегистрированных за 2012-2014 гг.: а – минимальные значения в ячейке размером 10×10 км; б – представительный уровень магнитуды

В программе Смирнова В.Б. (Смирнов, 1997) реализована оценка представительного уровня магнитуды по данным сейсмического каталога. Все оценки строятся на основе гистограмм распределения землетрясений по магнитуде в диапазоне от M_{min} до M_{max} . После определения на графике повторяемости значения M_{min} построено распределение представительных магнитуд в пространстве. Согласно (Смирнов, 1997), корректная оценка представительной магнитуды задается по выборкам от 500-1000 землетрясений. Для сейсмически

активного района Арктики – хр. Гаккеля, каталог содержит чуть более из 450 землетрясений, на основании которого и построено распределение представительного уровня магнитуды (рис.2.20). Восточнее 20 долготы получить распределение (рис. 2.15б) не удалось ввиду недостатка данных (в расчетах (Смирнов, 1997), выборка составляет свыше 20 000 землетрясений). На рис. 2.15а показано распределение минимальных значений локальной магнитуды M_L для того же района. Анализ (см. рис. 2.20) показывает:

1. Четко прослеживается осевая зона, которая соотнесена с осью хребта. Она выражена по центру ($6-17^\circ$ в.д.) и более размыта по краям. Эффект обусловлен концентрацией землетрясений в этой зоне и меньшим их числом по краям.

2. Распределение представительного уровня магнитуды соотносится со значениями $M_{L_{\min}}$ (см. рис. 2.20а). Так же как и в случае $M_{L_{\min}}$, по мере удаления очагов от станции, значения представительного уровня растут.

3. На ближайших расстояниях (около 600 км от станции ZFI) уровень $M_{L_{\text{пред}}}$ варьируется от 2.1 до 2.4. По мере удаления от сейсмических станций ($0-6^\circ$ в.д.), значения $M_{L_{\text{пред}}}$ 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 получения однозначного ответа на этот вопрос необходимо дальнейшее накопление данных, по возможности в течение нескольких лет.

Информация о минимальных магнитудах сейсмических событий зарегистрированных сетью позволяет судить о ее чувствительности. Для определения достоверной магнитуды события (без пропусков) было рассчитано уравнение графика повторяемости (рис. 2.21а) для всей зоны мониторинга (Норвежско-Гренландский и Евразийский бассейны, арх. Шпицберген, Баренцево-Карский регион) и определено значение магнитуды $M_{L_{\text{пред}}}=2.7$. Для хребта Гаккеля (от 10° з.д. до 100° в.д.) за период наблюдений станцией ZFI – $M_{L_{\text{пред}}}=2.9$ (см. рис.2.21б).

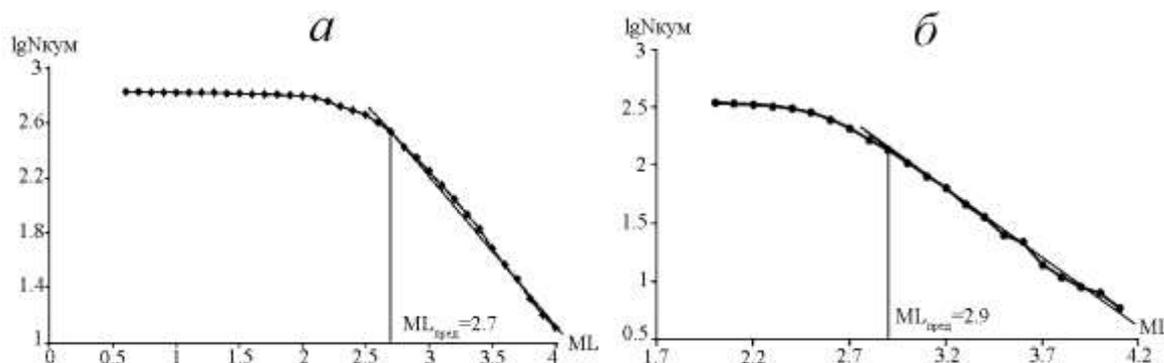


Рис. 2.21. Кумулятивный график повторяемости землетрясений:
а – западной части Арктического региона (2012–2013 гг.); б – хребта Гаккеля (2012–2014 гг.)

Приведенные результаты по оценке минимального и представительного уровней магнитуд согласуются между собой. Однако для более качественной оценки представительного уровня этих районов для Архангельской сети необходимо дальнейшее накопление данных.

Таким образом, выполненные работы по оценке чувствительности АСС при проведении мониторинга Арктики в период после 2011 года, позволяют сделать следующие выводы:

- полученные параметры чувствительности, такие как значения M_{\min} и $ML_{\text{пред}}$, позволяют проводить детальные сейсмические исследования в западном секторе арктической зоны РФ;
- благодаря новой конфигурации АСС появилась возможность регистрировать проявления слабой сейсмичности в районах, проводить полноценный сейсмический мониторинг, определять параметры эпицентров, формировать собственный каталог Архангельской сети.

2.6. Расчет теоретических значений M_{\min} для станций Баренц-региона и возможности оптимизации Архангельской сети

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

Методика вычисления теоретических минимальных значений магнитуд подробно описана в (Бурмин, 2012). Основная формула, используемая в программе для расчета M_{\min} , выглядит следующим образом:

$$M_{\min} = \lg(\gamma A_n / VT) + \delta(\Delta, h, s(\omega)) - \Delta m,$$

где первое слагаемое отражает зависимость M_{\min} от чувствительности прибора и уровня помех на записях; второе слагаемое – калибровочная кривая (или функция) для рассматриваемого региона. Δm – величина, характеризующая систематическое отклонение в оценке магнитуд для конкретной станции. Для оценки погрешности в определении координат гипоцентров при заданной конфигурации сети и вычисленных значениях M_{\min} в программу дополнительно закладывается скоростная модель, характерная для региона. В данном случае применена скоростная модель Varents, а калибровочная кривая – осредненная по Северной Евразии (см. п. 2.4.1).

Теоретическое распределение M_{\min} позволяет оценить не только возможности отдельных станций, но и понять географию мониторинга. В данном случае рассмотрим Баренц-регион, станции которого используются в обработке данных. Сопоставление рис. 2.22а и рис. 2.22б наглядно показывает, что Архангельская сеть охватывает преимущественно восточную часть Баренц-региона. Станции, расположенные на арх. Шпицберген, севере Норвегии и на Кольском полуострове – западную часть. Совокупно (см. рис. 2.22в), сейсмические станции, установленные в Баренц-регионе и на арх. Шпицберген позволяют регистрировать не только проявления сильной сейсмичности, но и проводить мониторинг с $M_{\min}=2.0$ в Баренцевом и Карском морях, где идет разведка углеводородных месторождений. В настоящее время это особенно актуально, поскольку широко известны случаи возникновения наведенных сейсмических событий в районах выработки полезных ископаемых (Коломиец, Рыжикова, 2011; Адушкин и др., 2000; Габсатарова и др., 2010).

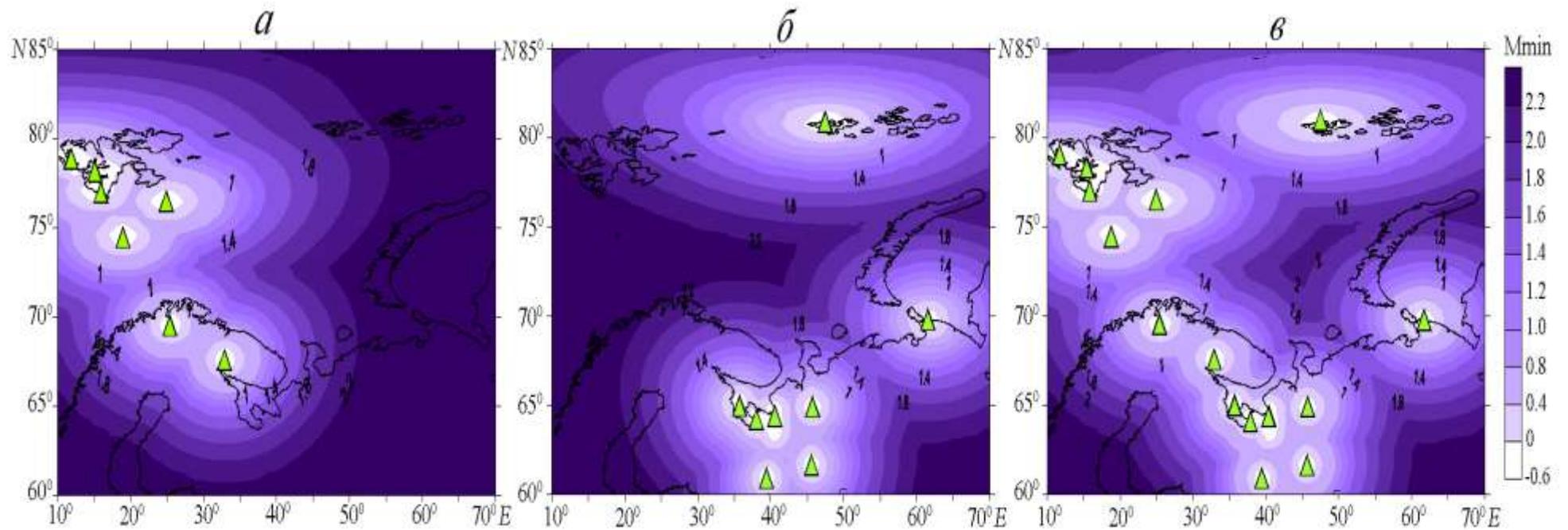


Рис. 2.22. Карты значений M_{\min} землетрясений, рассчитанных теоретически по программе (Бурмин, 2012), использовались данные станций: а – без учета АСС, б – АСС, в – совокупности отечественных и зарубежных станций (ВАСС), треугольники – сейсмостанции.

Однако, в теоретических расчетах не учтены особенности и нюансы, возникающие при установке станции. Например, тип грунтов в районе установки (заболоченность местности, пески, рыхлые грунты, что характерно для Архангельской области и НАО); выбор подходящего типа аппаратуры для эксплуатации в сложных арктических условиях. Сейсмическая станция NRM, согласно рис 2.23,а должна обеспечивать регистрацию взрывов из воркутинского горнопромышленного узла и землетрясений с Полярного Урала с $M_{\min}=1.4\div 1.8$ наряду с с/с AMD. Однако из-за мощного слоя песка, распространяющегося практически по всему побережью Баренцева моря в НАО, ее чувствительность значительно снижена (см. гл. 3, п.3.3.3). Для с/с ZFI (см. рис. 2.22) напротив – значения M_{\min} в целом соответствуют экспериментально полученным $M_{L_{\min}}$ (см. рис. 2.22а); из района хр. Гаккеля способна регистрировать землетрясения с $M_{\min}=1.5$.

На рис. 2.23а показано распределение M_{\min} не только для действующих станций, но и для потенциально установленных. Так запуск пунктов сейсмологических наблюдений на побережье Баренцева моря и островных территориях Арктики, прежде всего, способно обеспечить снижение M_{\min} до значения 1.6 в Баренцевом море. Однако, стоит учитывать, что реальные значения будут отличаться в большую сторону. На рис. 2.23б-г показаны вероятные ошибки в локации (φ , λ , h соответственно) при заданной конфигурации сети (см. рис. 2.23а). На близких расстояниях от станции ошибки в координатах не должны превышать 3–5 км. Ошибка по параметру φ на более удаленных расстояниях принимает значения выше 10 км. Это объясняется малым числом близкорасположенных станций и азимутальным створом относительно района эпицентров. Большие ошибки по глубине h (см. рис. 2.23г) также обусловлены редкой сетью станций. Это подтверждается и практикой – в обработке АСС и NORSAR глубина арктических землетрясений не определяется, а задается фиксированным значением для определения эпицентральных расстояний и времени в очаге.

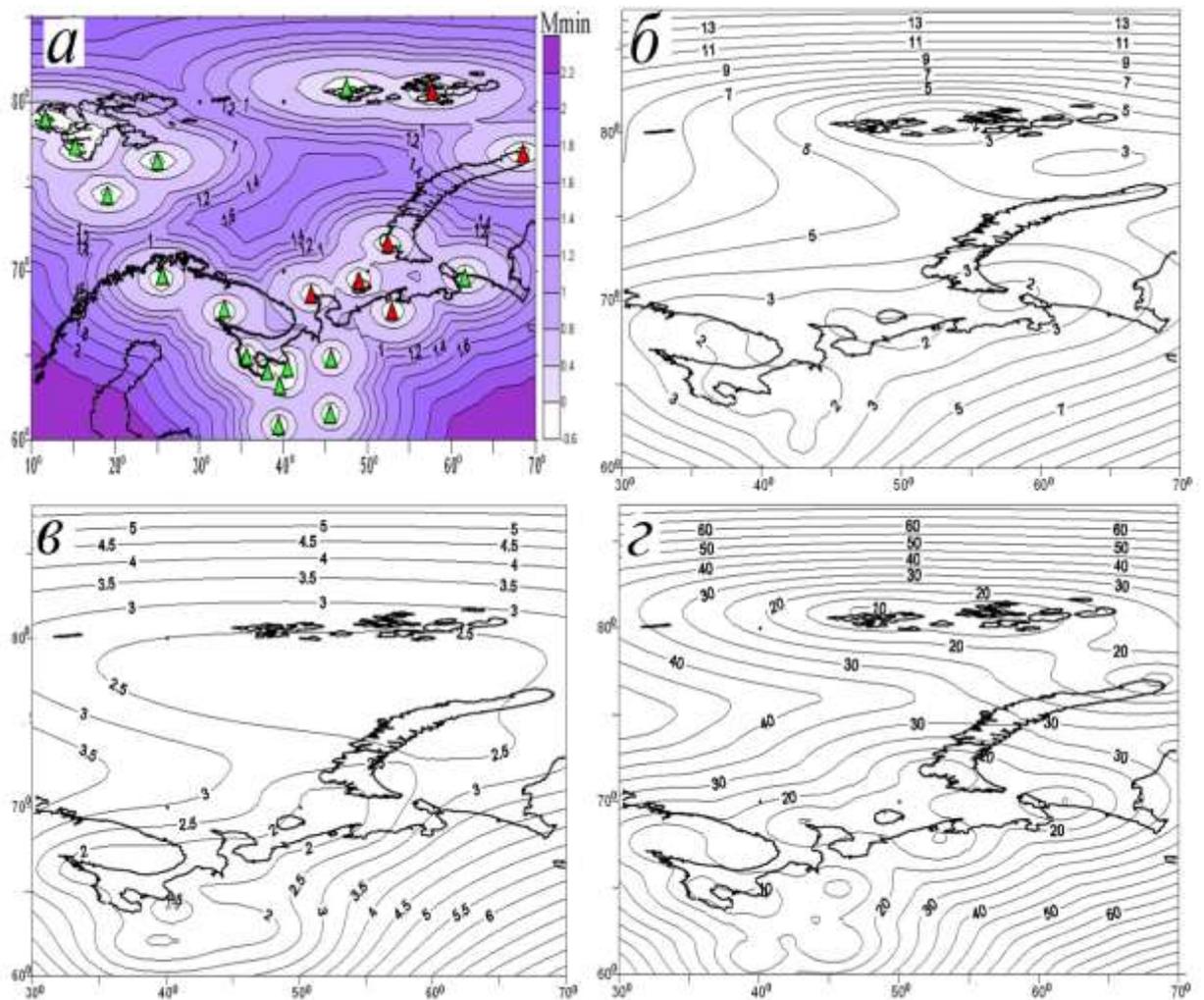


Рис. 2.23. Распределение M_{\min} (а) (реальные – зеленые треугольники, потенциальные – красные треугольники) и погрешностей ϕ (б), λ (в), h (г) в определении координат гипоцентров для сейсмических станций Баренц-региона

2.7. 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). С другой стороны, нельзя не отметить наличие зон “тени” при регистрации землетрясений из районов хребтов Мона и Колбейнсей, а также территории Фенноскандии. Большое

число апертурных групп на Скандинавском полуострове проводит сейсмический мониторинг на высоком уровне, таким образом, привлечение станций Архангельской сети не внесет существенных изменений в локацию сейсмических событий указанных территорий.

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.

Таким образом, приведенные в главе 2 результаты полностью доказывают первое защищаемое положение.

Глава 3. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕТИ

Расширение сети (АСС) является важным аспектом в получении качественных результатов при обработке землетрясений в западном секторе арктической зоны РФ. Сравнение обработки с учетом полярных станций и без них, рассмотрение ряда методических вопросов на массивах данных АСС раскрывают в полной мере возможности регионального сейсмического мониторинга.

3.1. Особенности обработки арктических землетрясений без учета полярных сейсмических станций

Важнейшим параметром землетрясения является точность локации событий, этим определяется разрешающая способность сейсмической сети. До установки сейсмических станций Архангельской сети за Северным полярным кругом в оперативной обработке существовала серьезная проблема надежной локации сейсмических событий из арктического региона по данным станций только АСС. Для анализа были проведены исследования (*Ваганова, Конечная, 2009*), направленные на выявление причин серьезных расхождений в определении координат эпицентров. Для оценок использовались сильные события, записанные многими мировыми станциями с достаточно точным определением эпицентра. Эти землетрясения рассматривались как своеобразные “калибровочные” события.

Известно (*Федоров, Асминг, 2011*), что 21 февраля 2008 г. в проливе Стур-Фьорд (арх. Шпицберген) произошло сильнейшее для данного района землетрясение, сопровождающееся длительным афтершоковым процессом. Наиболее сильные события зафиксированы ГС РАН (21.08.2008 $t_0=02:46:16$ $m_b=6.1$; 24.03.2008 $t_0=18:28:20$ $m_b=4.0$). На рис. 3.1 представлены волновые формы со станций Архангельской сети и фрагменты первичной обработки землетрясения 21 февраля 2008 г. ($t_0=02:46:16$).

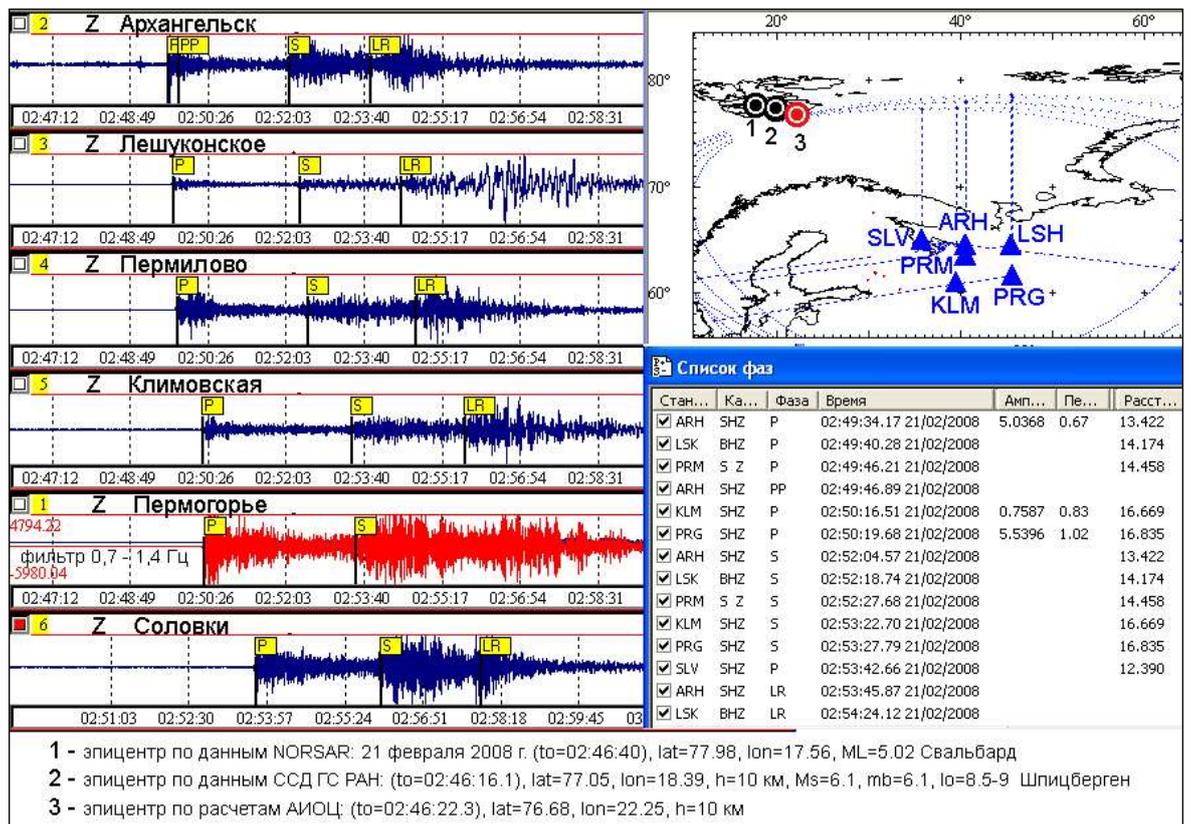


Рис. 3.1. Волновые формы и фрагменты обработки землетрясения 21 февраля 2008 г. ($t_0=02:46$) по данным станций АСС

Событие из очаговой зоны, местоположение которого можно считать известным, послужило материалом для анализа расчетов эпицентра при обработке в АСС. За февраль и март 2008 года станциями АСС было зарегистрировано порядка 35 событий. В ходе первичной обработки были получены эпицентры, координаты которых вычислены по данным станций АСС. Как видно (см. рис. 3.2), координаты эпицентров не совпадают с данными каталогов NORSTAR и Службы срочных донесений (ССД) ГС РАН. Среднее отклонение в координатах составляет $\delta\Delta_{\text{сред}}=1.65^\circ$ (183 км), по времени в очаге $\delta t_{\text{сред}}=12$ сек относительно параметров, определенных в NORSTAR. Значения, полученные по данным станций АСС нельзя считать приемлемыми для эпицентров, находящихся на региональных расстояниях (от 200 до 2000 км) от станций.

Не существует четкого определения значений эллипсов ошибок (ошибки метода) или разницы между параметрами эпицентров разных сейсмологических центров для региональных или локальных землетрясений в литературных источниках. Но в сейсмологической практике принято считать, что если разброс эпицентров на региональных расстояниях не превышает 40–50 км, то полученные

координаты можно считать приемлемыми. Нормальной принята разница времени в очаге не превышающая 4–5 сек. В данном случае (рис. 3.2), разброс эпицентров составляет порядка 180 км, а полученное минимальное значение $\delta\Delta=0.84^\circ$ (93 км), что совершенно неприемлемо при локации землетрясений.

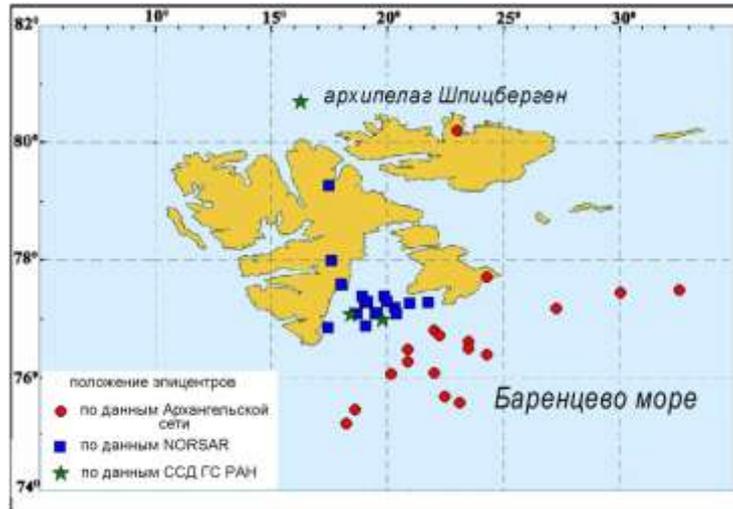


Рис 3.2. Карта распределения эпицентров землетрясений Баренцева моря и Шпицбергена, зарегистрированных станциями АСС в феврале–марте 2008 г. по данным оперативных обработок разных центров

Первичная обработка данных проводилась по методу засечек. Как было сказано ранее, расчет эпицентров по данному методу дает существенный разброс в координатах, причем наибольший – по долготе. Причиной этого является совокупность факторов, главный из которых – расположение станций в узко азимутальном створе по отношению к эпицентрам. На качество локации влияет также относительная удаленность станций от очага и, в связи с этим, отсутствие достаточно хороших и четких записей. Кроме того, использование годографа IASPEI91 при эпицентральных расстояниях до 20° и узко азимутальном створе не всегда дает надежный результат (Габсатарова и др., 2007). Очевидно, что привлечение дополнительных станций других сетей дает возможность улучшить локацию событий.

Для корректировки координат эпицентров сейсмических событий, произошедших в феврале-марте 2008 г. вблизи арх. Шпицберген, использовались данные ВАСС, в частности, (*NORSAR Reviewed Regional Seismic Bulletin*). Карта с расположением станций ВАСС, привлеченных для обработки событий, представлена на рис. 3.3. Таким образом, использование данных станций близких к

очагу позволяет расширить азимутальный створ. По существу, этот расчет можно рассматривать как рекогносцировочное (без установки станций) моделирование увеличения точности локации АСС при расширении азимутального створа.

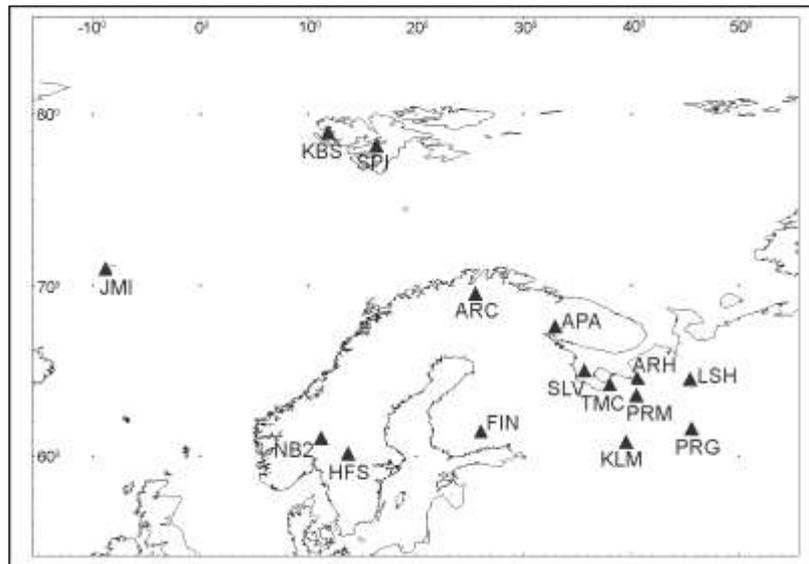


Рис. 3.3. Расположение сейсмических станций, привлеченных для совместной обработки событий

На рис. 3.4 представлены примеры сводной обработки трех событий по данным станций ВАСС (см. рис. 3.3). Отметим следующие: по данным оперативного каталога NOR SAR и уточненного регионального бюллетеня NOR SAR различия в эпицентрах между различными службами составляют более чем на 1° , а между разными методами обработки по данным АСС достигают до 2° .

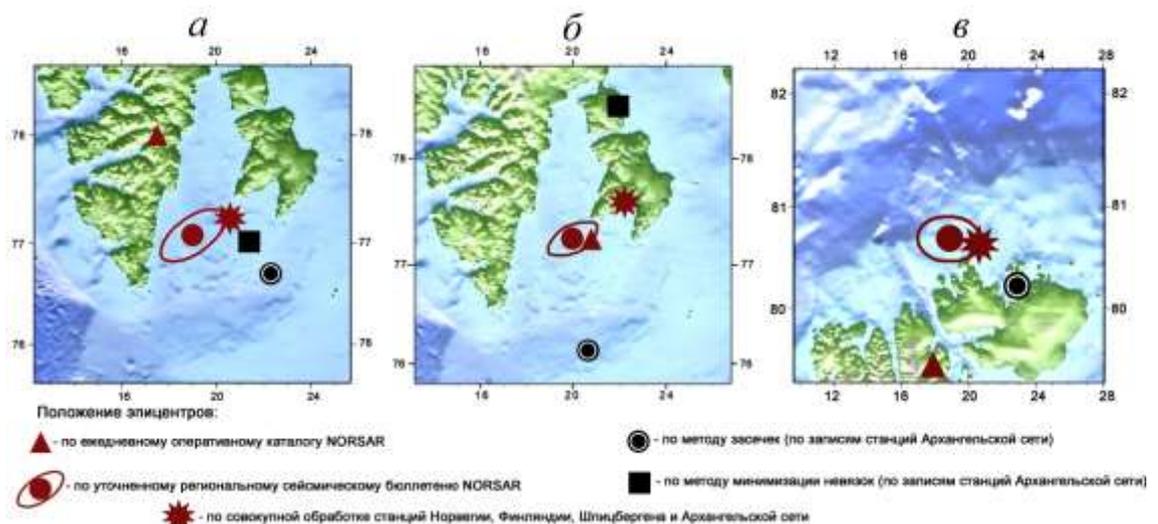


Рис. 3.4. Локация эпицентров землетрясений по данным NOR SAR, АСС и совокупной обработки:

а – 21.02.2008 02:46; б – 29.02.2008 08:16; в – 24.03.2008 18:28

Таким образом, на данном этапе оптимальным вариантом обработки данных является организация и активное использование ВАСС. На рис. 3.4 результаты такой обработки отмечены звездочками, а на рис. 3.5 показаны положения эпицентров, события которых произошли в феврале-марте 2008г. по данным сводной обработки.

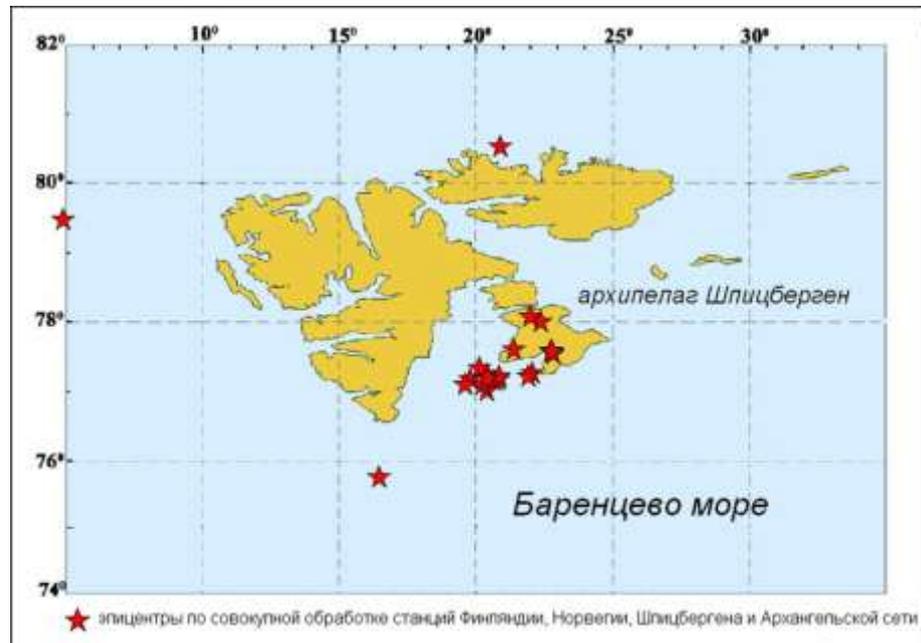


Рис. 3.5. Карта распределения эпицентров в районе арх. Шпицберген в феврале-марте 2008 г. по данным сводной обработки АСС

Для устранения проблем в обработке региональных событий арктического региона Архангельской сейсмической сетью (до установки заполярных станций) были реализованы следующие действия (2009–2011 гг.):

- вычисление регионального и локального годографа;
- установка новых сейсмических пунктов наблюдений (для расширения узко азимутального створа и получения данных станций, близкорасположенных к очагам землетрясений);
- активное привлечение в обработку данных станций ВАСС, преимущественно, тех, которые расположены на арктических островах и приарктических зонах.

3.2. Выбор оптимального регионального годографа. Создание локального годографа для обработки сейсмических событий

3.2.1. Анализ существующих годографов для обработки землетрясений западного сектора Арктики

Для решения проблемы локации сейсмических событий, в первую очередь, был подобран региональный годограф. Анализировались две региональные скоростные модели – полученные в ИЭПС УрО РАН (*Морозов, Ваганова, 2011*) NORP и в Кольском филиале ГС РАН (г. Апатиты) Barents (<http://www.krsc.ru/defmon.htm>). (См. приложение А).

Проверка эффективности локации событий годографом NORP и годографом Barents проработана на 35 сейсмических событиях, эпицентры которых находятся на разных расстояниях от станций Архангельской сети. В качестве “эталонных” координат эпицентров взяты данные каталога международного сейсмологического центра ISC (обработка землетрясений в ISC проводится по данным сотен, а иногда и тысяч станций, которые полностью окружают эпицентр) (<http://www.isc.ac.uk>). Проверка проводилась по данным континентальных станций ACC (без заполярных станций, т.к. они работают относительно недавно). События выбраны с наибольшим охватом значимых сейсмоактивных зон: арх. Шпицберген, районы океанических хребтов, арх. Новая Земля, северная часть Фенноскандии, Кольский полуостров. Координаты тестируемых событий представлены на карте рис. 3.6. Все 35 событий были обработаны с помощью годографов NORP и Barents. Для сравнения данные события обработаны с использовавшимся ранее годографом IASPEI91.

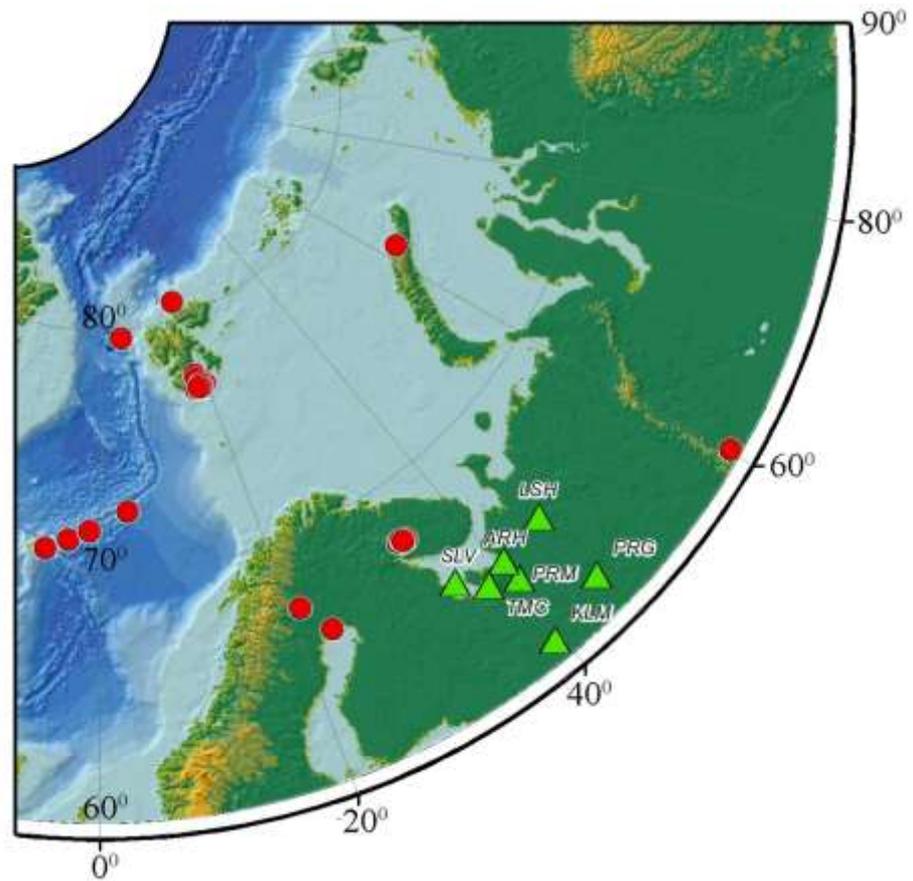


Рис. 3.6. Карта сейсмических событий, выбранных для тестирования годографов NORP и Varents

Как видно из сравнительной диаграммы (рис. 3.7), наибольшие отклонения от положения эпицентров по данным ISC дают годографы IASPEI91 и NORP. Годограф Varents лишь в единственном случае существенно ухудшает положение эпицентра по отношению к ISC. Но даже при неудачном расположении станций АСС относительно станций, используемых в ISC, годограф Varents дает расхождение от “эталонного” эпицентра в среднем на 0.93° , за исключением трех случаев. В то же время, среднее отклонение по NORP составляет 1.11° .

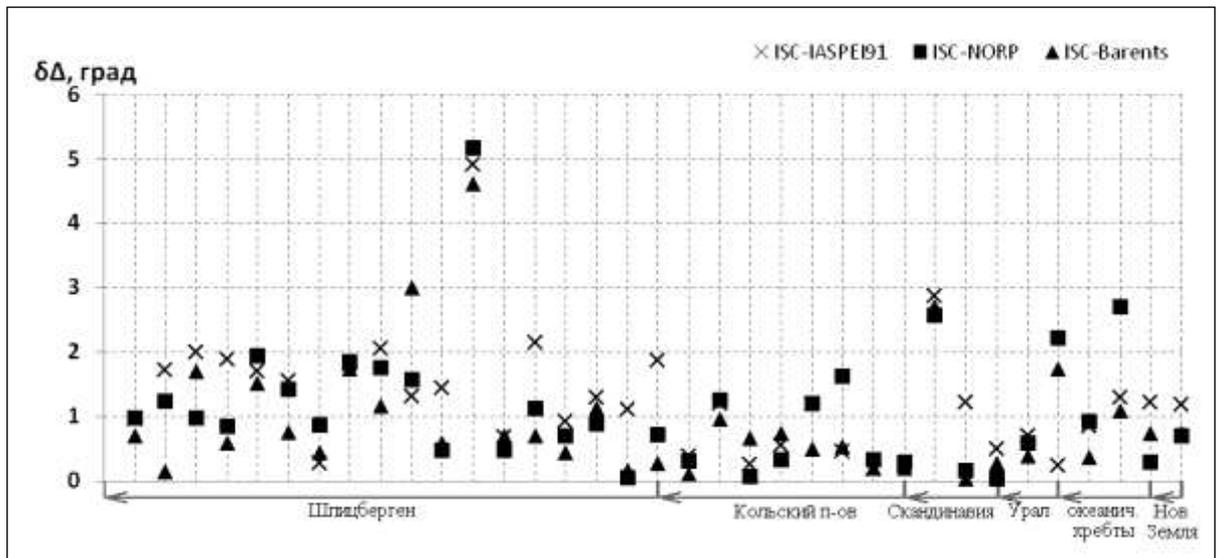


Рис. 3.7. Диаграмма сопоставления отклонений эпицентральных расстояний, полученных при обработке записей Архангельских станций с применением годографов IASPEI91, NORP и Barents

На рис. 3.8 представлена диаграмма сравнения отклонений времени в очаге, рассчитанных с применением годографов IASPEI91, NORP и Barents.

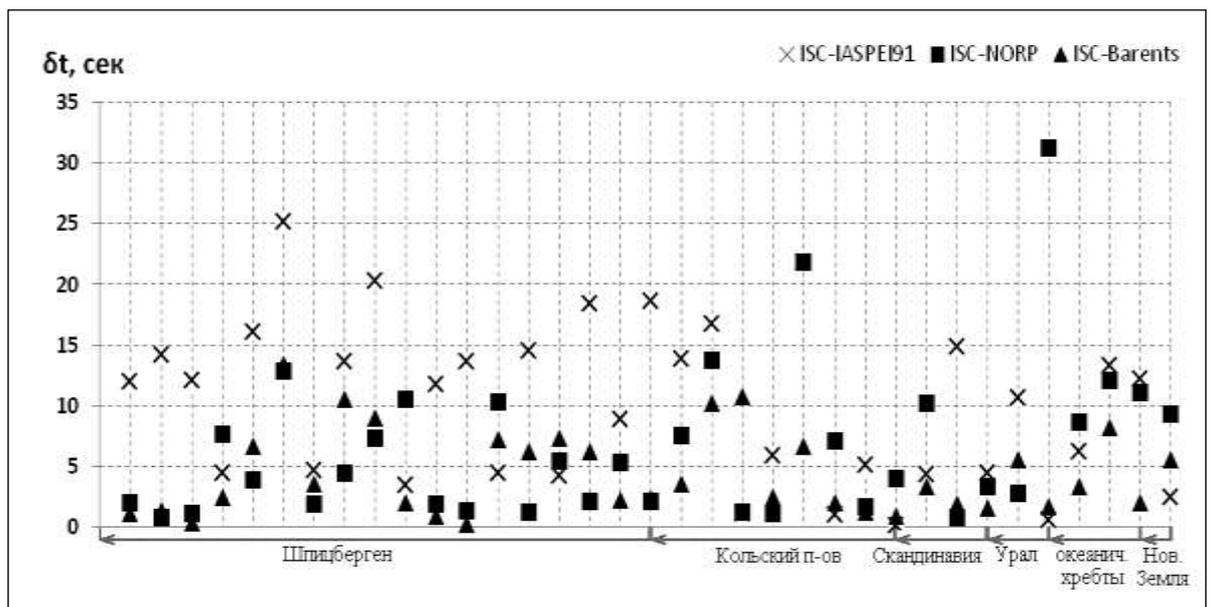


Рис. 3.8. Диаграмма сопоставления отклонений времени в очаге, полученных при обработке записей Архангельских станций с применением годографов IASPEI91, NORP и Barents

Годограф IASPEI91 для более чем половины событий дает отклонения во времени свыше 10 с по сравнению с ISC, что неприемлемо для обработки региональных сейсмических событий. В некоторых случаях он показывает немного лучшие результаты, чем NORP и Barents. Среднее отклонение относительно ISC

для годографа Varents составляет 4.4 с (в двух случаях отклонение составляет свыше 10 с), для NORP – 6.5 с, для 9 событий отклонения – 10 с и более.

Дополнительно были построены диаграммы медианных отклонений параметров эпицентров и времен в очаге (рис. 3.9).

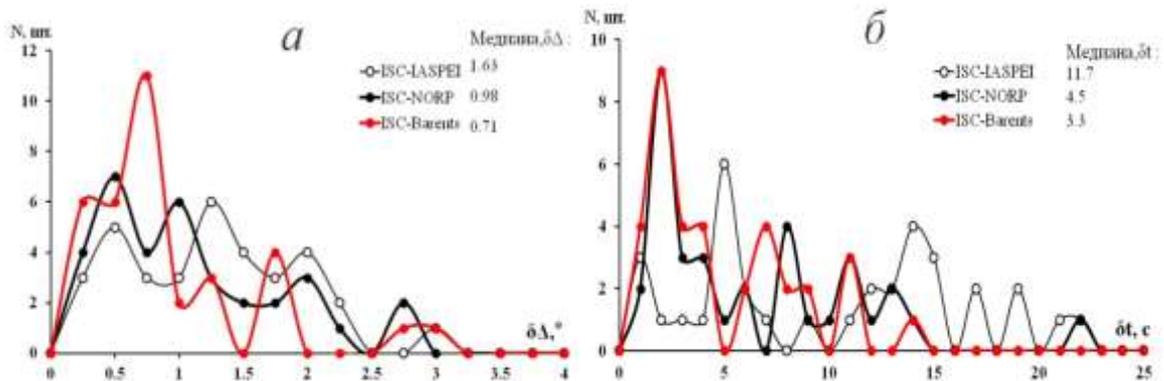


Рис. 3.9. Распределение медианных отклонений при определении параметров эпицентров: а – по эпицентральному расстоянию; б – по времени в очаге

Из диаграмм медианных отклонений параметров эпицентров и времен в очаге вытекает, что наиболее приемлемым для обработки арктических землетрясений по данным АСС является годограф Varents, а применение мирового годографа IASPEI дают значительные отклонения параметров. Медианные значения и значения дисперсии параметров эпицентров приведены в таблице 5.

Таблица 5

Значения медиан и дисперсий параметров эпицентров

	$\delta\Delta, ^\circ$			$\delta t, c$		
	ISC-IASPEI	ISC-NORP	ISC-Varents	ISC-IASPEI	ISC-NORP	ISC-Varents
Медиана	1.63	0.98	0.71	11.7	4.5	3.3
Дисперсия	0.92	1.20	1.25	44.7	41.8	12.1

Таким образом, сравнение обработок, проведенных по трем годографам (IASPEI91, NORP и Varents) показало, что, без учета заполярных станций, наиболее приемлемым вариантом является использование годографа Varents, имеющего минимальное количество серьезных расхождений в расчете времени в очаге и локации сейсмических событий.

3.2.2. Построение локального годографа для территории Архангельской области

Еще одной возможностью уточнения локации является построение локального годографа. В качестве исходных данных для этого использовались известные значения местоположения карьеров (т.е. расстояния карьер-станция) и фиксированного времени взрывных работ в карьерах Архангельской области. Значения t_0 фиксировались сотрудниками карьеров “СОБР” и “Савинское” с помощью GPS, при этом допустимая ошибка в определении времени ± 1 сек.

На всех сейсмограммах взрывов определялись времена вступления фаз P и S. Из-за зашумленности сейсмограмм возникает сложность правильного определения данных фаз. На рис. 3.10, 3.11 показаны примеры “качественной” и “некачественной” сейсмограмм. На рис. 3.10 видно, что можно легко ошибиться с определением времени первого вступления волны P на канале Z.

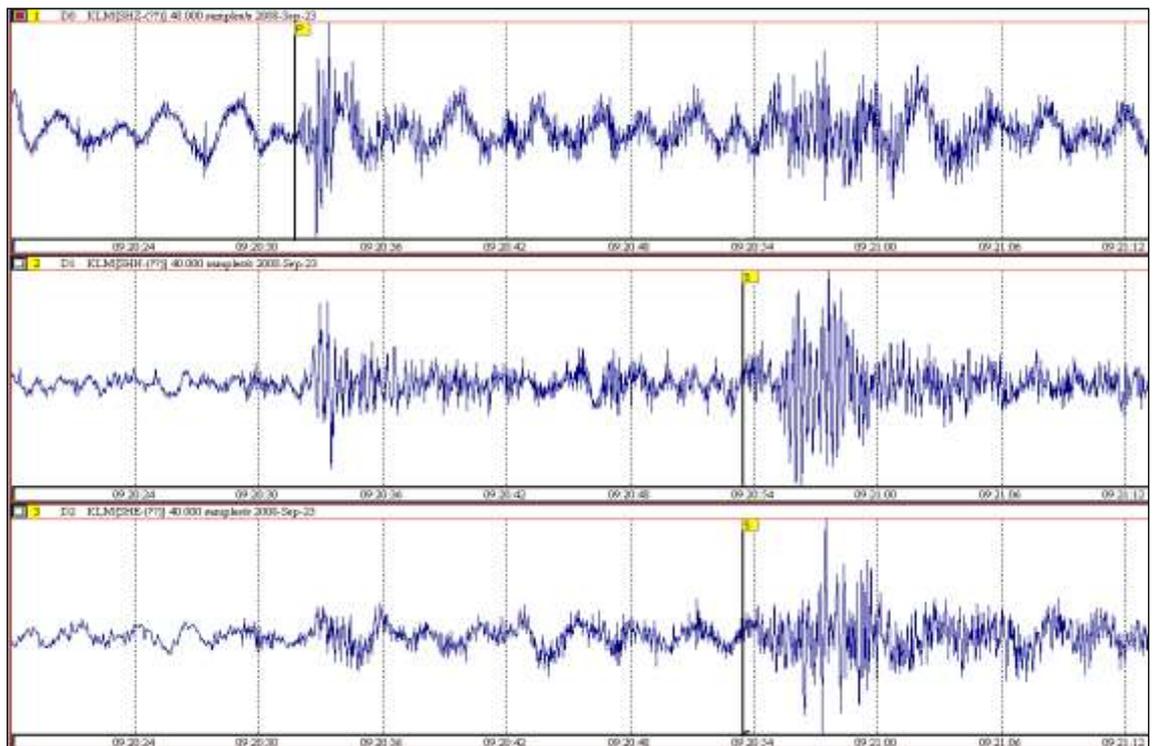


Рис. 3.10. Пример “качественной” сейсмограммы взрыва из карьера “СОБР”

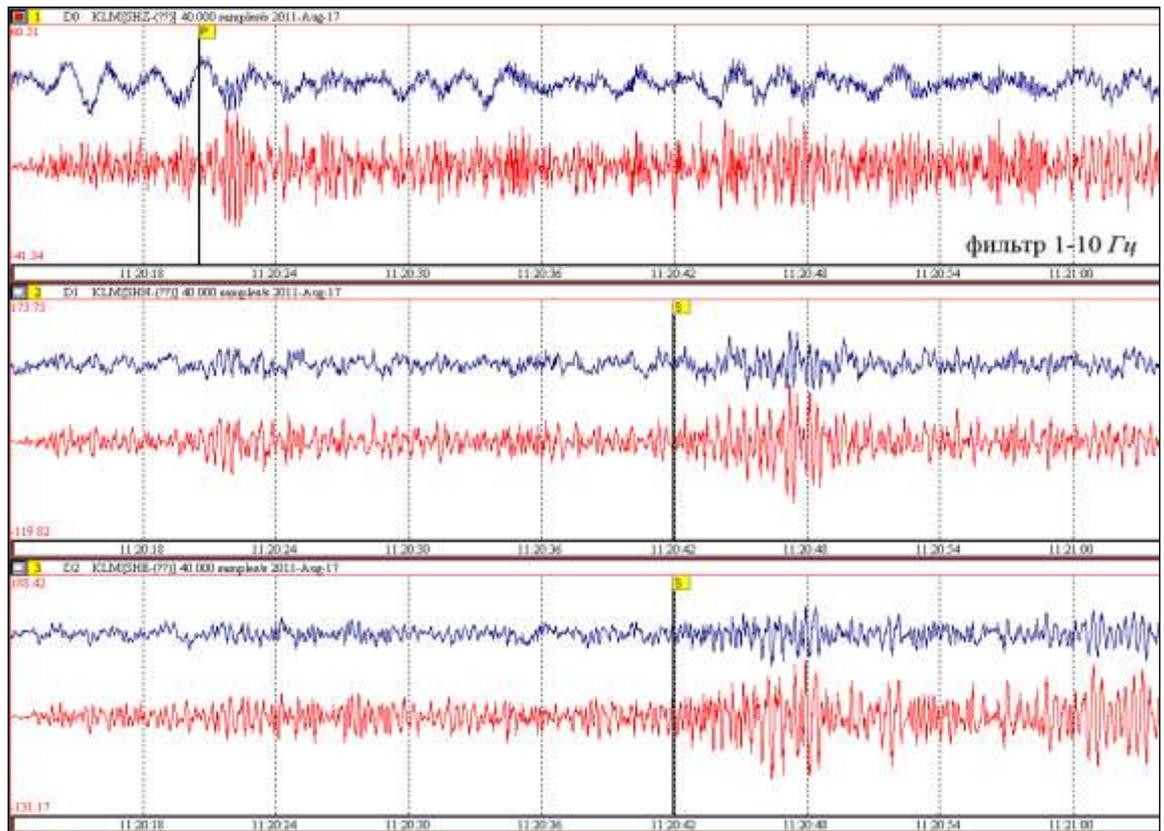


Рис. 3.11. Пример “некачественной” сейсмограммы взрыва из карьера “СОБР”

Для минимизации ошибки по определению первого вступления на “некачественных” сейсмограммах был применен способ регистрации событий (взрывов) по опыту работ ГСЗ. Известно (*Косминская, 1968*), что волновые формы цуга первых вступлений для эпицентральных расстояний источник–станция свыше 100 км мало изменяются по рисунку записи. По “качественным” сейсмограммам (например, на станции KLM) определяется время первого вступления (P1) и время, когда в цуге P-волны наступает максимальная амплитуда (P2). Рассчитывается разница времен P2-P1. На “некачественных”, зашумленных сейсмограммах четко прослеживается время прихода максимальной амплитуды P2 (см. рис. 3.11). Затем, вычисляется местоположение первого вступления P-фазы для взрыва. Среднее значение P1 на станции KLM составляет 0.7 сек, т.е. $P1 = P2 - 0.7$.

Построение годографа первых вступлений P- и S- волн по известным значениям t_0 и вычисление кажущихся скоростей.

По известным значениям времен t_0 и времен вступления волн P и S был построен график зависимости времени первых вступления волн P и S от расстояния (рис. 3.12 и табл. 6).

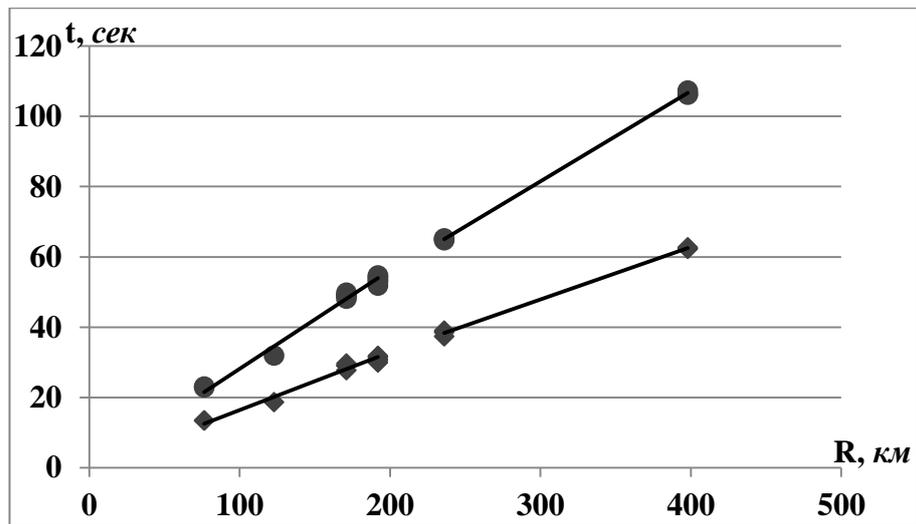


Рис. 3.12. Локальный годограф, построенный по известным значениям t_0

Таблица 6

Значения кажущихся скоростей, рассчитанные по годографу рис. 3.11

	V_p , км/с	V_s , км/с
до 200 км	6.1	3.6
после 200 км	6.7	3.9

Построение годографа первых вступлений P- и S- волн без известных значений t_0 и вычисление кажущихся скоростей.

В качестве исходных данных для построения годографа в данном случае недостаточно информации при использовании только пары “1 карьер – 1 станция”. Необходимо чтобы взрыв был зарегистрирован на двух и более сейсмических станциях. При этом подбирались “качественные” записи, что упрощает определение вступлений и фиксирование значений времен первых вступлений P и S- фаз. Полученные значения времен (при условии, если взрыв из карьера регистрируется несколькими станциями) позволили построить годографы первых вступлений P- и S-волн.

При построении годографов на участке 190 – 210 км учитывался существенный изгиб, связанный со сменой волн в первых вступлениях – обгон фазы волны P_g (S_g) волной P_n (S_n). Таким образом, для участка пути от 100 до 250 км (где, волны проходят с разными скоростями) построены два участка годографа. С целью определения точки перегиба проанализированы три годографа IASPEI, BARENTS, NORP и определено, что по данным IASPEI опережение волны происходит на расстоянии 190 км от эпицентра, по BARENTS – на 200 км, а по NORP – 210 км. Было выбрано среднее значение – 200 км.

Рассмотрим вычисление теоретического годографа кажущихся скоростей для Р-волны. Для S-волны вычисления будут аналогичными.

1. Вычисление годографа на участке до 200 км.

Для построения годографа на этом участке выбираются взрывы на профилях «1 карьер – 2 станции», причем обе станции должны располагаться на расстояниях до 200 км до эпицентра взрыва (рис. 3.13). Известными являются значения R_1 и R_2 – расстояния от карьера до станций; Tp_1 и Tp_2 – времена прихода Р-волны на разные станции; ΔR – разница между расстояниями «карьер-станция».

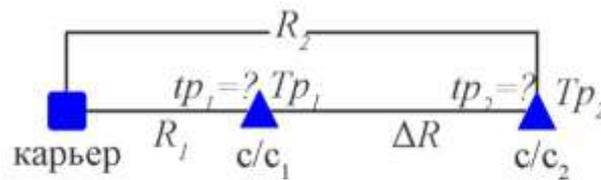


Рисунок 3.13 – Схема для построения теоретического годографа на расстоянии до 200 км

Согласно схеме (см. рис. 3.12) для построения годографа необходимо вычислить значения времен годографа tp_1 и tp_2 :

$$tp_1 = \frac{R_1}{V_p}, \quad tp_2 = \frac{R_2}{V_p}$$

Предполагая, что кажущаяся скорость Р-волны на участке до 200 км – величина постоянная, то ее можно вычислить по формуле:

$$V_p = \frac{\Delta R}{Tp_2 - Tp_1}$$

Методом усреднения на участке до 200 км по 5 участкам годографов был получен локальный годограф (рис. 3.14) со значениями кажущихся скоростей $V_p=6.0$ км/с и $V_s=3.6$ км/с. В исходных данных отсутствует станция, расположенная на расстоянии 200 км от карьера, полученный годограф был экстраполирован на это расстояние.

$$tp_2 = tp_1 + \Delta t_2, \text{ где}$$

$$\Delta t_2 = (Tp_2 - Tp_1) - \Delta t_1 = (Tp_2 - Tp_1) - \frac{S_1}{V_{P(\text{до}200)}} = (Tp_2 - Tp_1) - \frac{200 - R_1}{V_{P(\text{до}200)}}.$$

Таким образом, получаем окончательно для tp_2 :

$$tp_2 = tp_1 + (Tp_2 - Tp_1) - \frac{200 - R_1}{V_{P(\text{до}200)}}.$$

На рис. 3.16 показаны вспомогательные годографы, вычисленные по 17 взрывам для первых вступлений P- и S-волн на участке после 200 км. Затем, методом усреднения был получен итоговый локальный годограф со значениями кажущихся скоростей, представленными в табл. 7.

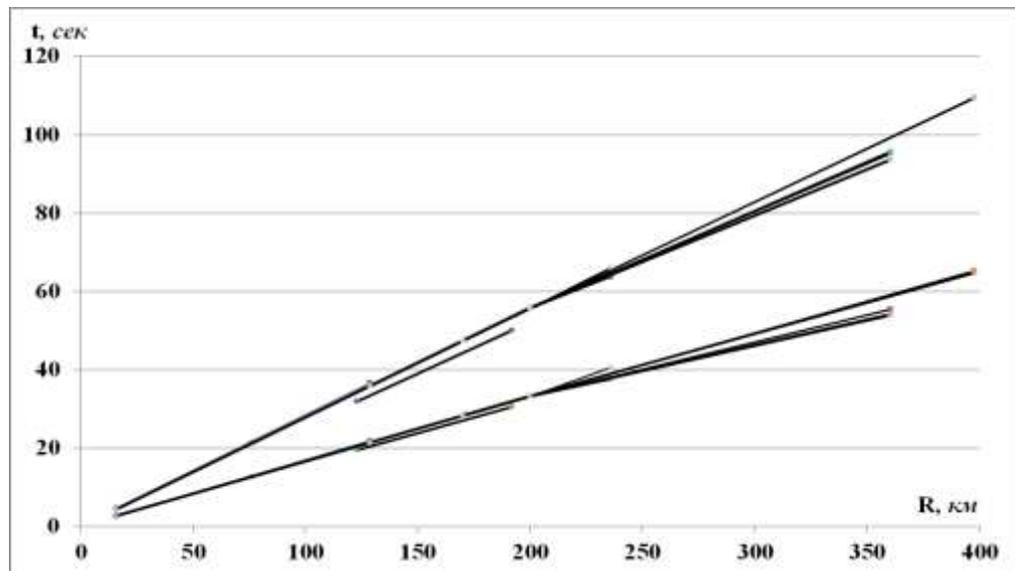


Рис. 3.16. Локальный годограф при неизвестных значениях t_0

Таблица 7

Значения скоростей годографа без учета времени в очаге

	V_p , км/с	V_s , км/с
До 200 км	6.0	3.6
После 200 км	7.2	4.1

3.2.3. Проверка локального годографа

Для проверки достоверности вычисленного локального годографа учитывался единственно возможный в данном случае критерий – разница δR между координатами карьера и вычисленным эпицентральной расстоянием.

Других критериев для проверки локального годографа подобрать не удалось по нескольким причинам:

- 1) Неизвестно точное время производства взрыва.
- 2) Как правило, взрыв из определенного карьера регистрирует только одна из станций Архангельской сети. Невозможно—получить и локацию события по методу засечек, т.е. сравнить координаты карьера и вычисленного эпицентра.

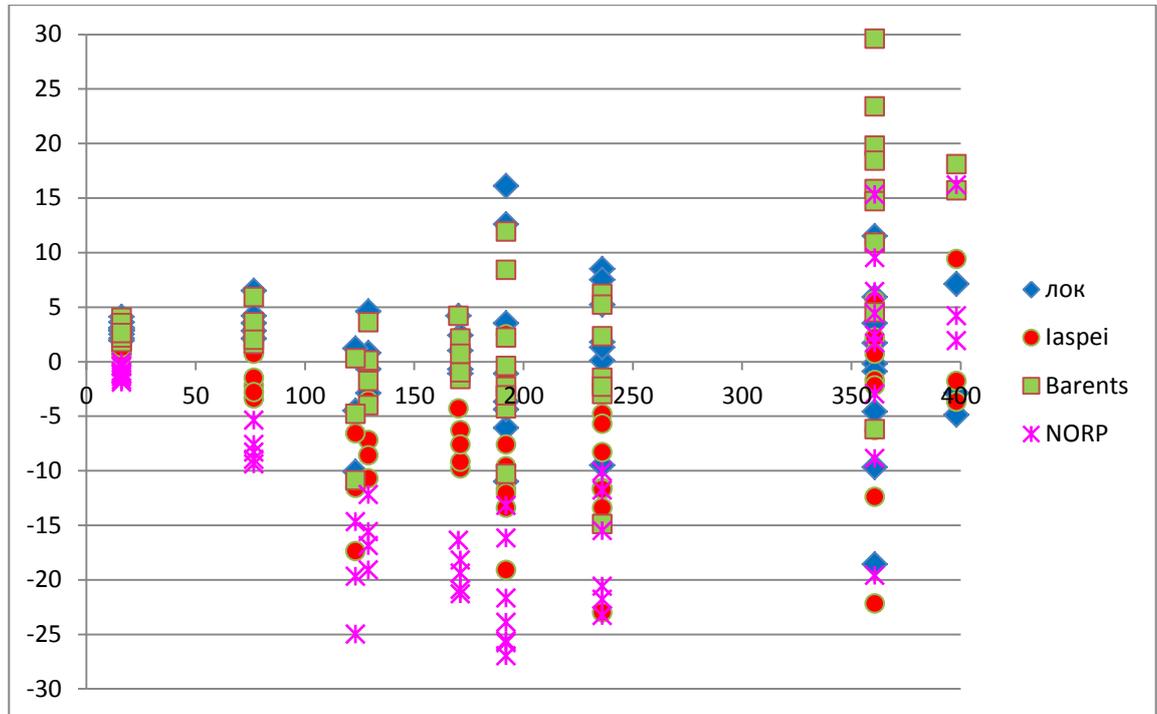


Рис. 3.17. Диаграмма сопоставления разницы эпицентральных расстояний, полученных при обработке записей ACC с применением локального, IASPEI91, NORP и Barents годографов

Согласно диаграмме (рис. 3.17), на расстояниях до 250 км, применение в обработке локального годографа и годографа Barents показали хорошие результаты. Разброс расстояний составляет до 10 км, как в большую, так и в меньшую сторону. При обработке взрывов, произведенных в карьерах на расстояниях свыше 350 км, локальный годограф показывает лучшие результаты, чем Barents. Что касается годографов IASPEI и NORP, то использование их в обработке записей взрывов нежелательно. Разница δR может составлять 30 км.

Полученный локальный годограф был нами внедрен в программный комплекс WSG и используется в рутинной обработке при локации взрывов на территории Архангельской области.

3.3. Анализ записей заполярных станций Архангельской сейсмической сети

В 2011 г. расширена Архангельская сеть, установлены новые станции, что привело к изменению конфигурации сети по отношению к эпицентрам арктических землетрясений (см. рис. 2.11 глава 2). Отметим, что в первую очередь при расширении Архангельской сети ставилась задача открытия новых пунктов регистрации на арктических архипелагах и побережье арктических морей. С 2010 по 2011 гг. были открыты: в пос. Амдерма – с/с AMD, г. Нарьян-Мар – с/с NRM, на о. Земля Александры арх. Земля Франца-Иосифа – с/с ZFI. Записи каждой из этих станций имеют свои особенности и регистрируют события из определенных районов. В связи с тем, что в Российской Арктике эти станции – уникальны и могут быть ключевыми для анализа записей событий, следует остановиться подробно на характеристиках записей каждой из них. Ниже рассмотрены основные моменты, касающиеся регистрационных возможностей этих станций, приведены примеры записей сейсмических событий, на которых обсуждаются тонкости регистрации (тип датчика, полосы частот и пр.). Введение в эксплуатацию заполярных сейсмических станций положительно повлияло на регистрационные возможности Архангельской сети (глава 2, п. 2.4) и улучшило локацию эпицентров землетрясений.

3.3.1. Сейсмическая станция “Амдерма”

В ноябре 2010 г. в составе АСС в иной точке, чем пункт предыдущих сейсмических наблюдений Кольского филиала ГС РАН (*Виноградов и др., 2012*), была запущена в тестовую эксплуатацию заполярная стационарная сейсмическая станция “Амдерма” (*Юдахин, Конечная, 2011; Французова и др. 2013*). Первоначально она была оснащена комплектом широкополосных датчиков (датчик CMG-3ESP, полоса частот 0.033–20.6 Гц), что позволило оценить уровень естественных низкочастотных микросейсм в пункте установки. Позже, в 2012 г., аппаратура станции была заменена на короткопериодную (полоса частот 1–20.6 Гц,

датчики SMG-40-T). Замена проведена в связи со сложностью эксплуатации датчика с высокой чувствительностью в труднодоступном населенном пункте и с суровыми природными условиями. На рис. 3.18 показаны типичные спектры мощности микросейсмического шума по трем компонентам с/с AMD (датчики SMG-40-T) и кривые Петерсона. Хорошо видно, что записи станции достаточно сильно зашумлены техногенными наводками (присутствуют узколинейные пики, связанные с работой генераторов).

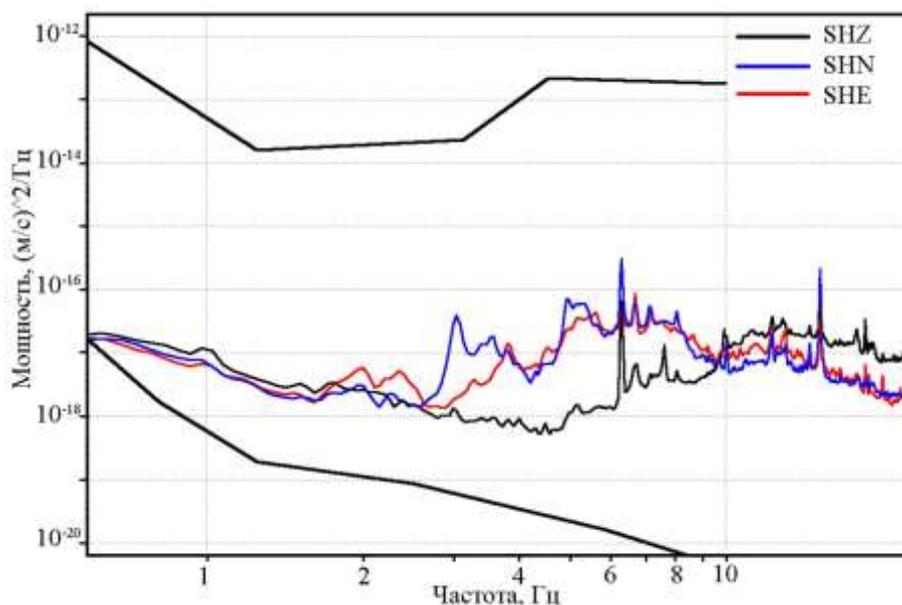


Рис. 3.18. Спектры мощности микросейсмического фона с/с AMD относительно кривых Петерсона (*Peterson, 1993*)

Функционирование пункта сейсмических наблюдений в п. Амдерма позволяет решать ряд важных научных и практических задач. Во-первых, проведена оценка возможностей по регистрации телесейсмических и региональных землетрясений в Заполярье. Для рассмотрения был взят период практически непрерывной работы короткопериодного комплекта датчиков – с сентября 2012 г. по февраль 2013 г. За указанный период было зарегистрировано около 350 землетрясений, что соответствует количеству телесейсмических землетрясений, зарегистрированных такими станциями АСС, как “Тамица”, “Соловки”, “Пермилово” (*Французова, Конечная и др. 2012*). Станция оснащена короткопериодным датчиком и из-за повышенной зашумленности записи уступает широкополосным станциям “Климовская” и “Лешуконское” (*Французова, Конечная и др. 2012*).

На записях с/с AMD, в основном, выделяются региональные землетрясения арктического региона, поскольку они ближе географически. За период с сентября 2012 г. по март 2013 г. на сейсмограммах было выявлено около 20 землетрясений из Арктики с магнитудами $ML \geq 3.2$.

На рис. 3.19 приведен пример волновых форм с/с AMD и фрагмент совокупной обработки землетрясения в районе жёлоба Франц-Виктории, произошедшего 30 января 2013 г. с $ML=4.0$. Хорошее выделение фаз землетрясений на региональных расстояниях на записях с/с AMD происходит после фильтрации их в полосе 1.5-3 Гц, также в обработке используются фильтры 1-3 Гц и 2-4 Гц. Несмотря на то, что амплитуда первого вступления меньше, чем амплитуда S-волны, это не мешает уверенному определению времени вступления.

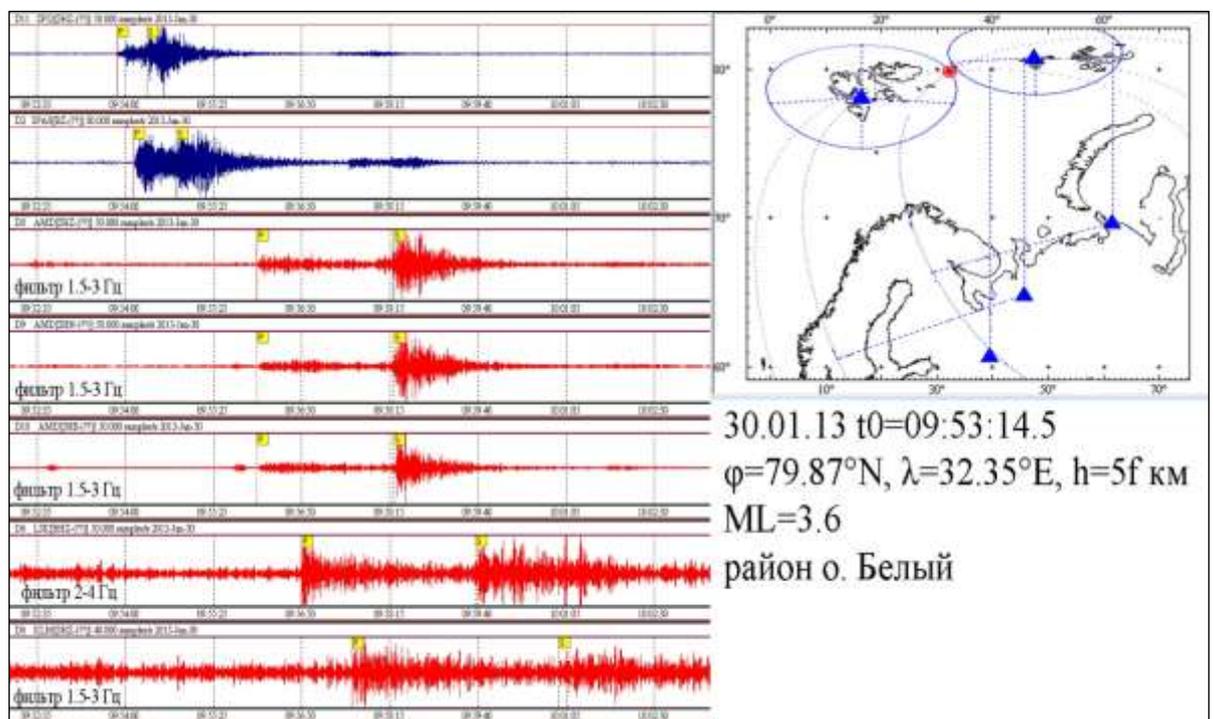


Рис. 3.19. Сейсмические записи станции “Амдерма” в сводной обработке арктического землетрясения 30 января 2013 г.

Очевидно, что использование записей AMD в совместной обработке существенно улучшает локацию эпицентра за счет выгодного расположения станции и относительной близости к очагам землетрясений в ряде районов. С введением в эксплуатацию сейсмической станции “Амдерма” существенно улучшилась ситуация по обработке землетрясений из районов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. При этом расширилась зона сейсмического контроля на территории Ненецкого автономного округа и Полярного Урала. Произошедшие в

декабре 2012 г. и январе 2014 г. землетрясения на Полярном Урале (рассмотрены отдельно в главе 4) были зарегистрированы на с/с AMD, которая оказалась ближайшей к эпицентрам. Получены записи хорошего качества, обработка проводилась без применения фильтрации.

На данный момент представительной магнитудой для региональных событий, регистрируемых на сейсмограммах станции “Амдермы”, можно считать величину 4.0, что соответствует уровню представительности на региональных расстояниях для континентальных станций Архангельской сети.

Записи AMD представляют также большой интерес с точки зрения мониторинга естественных и техногенных событий, происходящих в прибрежной зоне Карского и Баренцева морей.

Наличие в 250 км от пос. Амдерма Воркутинского горнопромышленного узла обусловило регистрацию сейсмической станцией AMD большого количества промышленных взрывов с магнитудами от 1.0 до 2.2 (пример одного из них приведен на рис. 3.20). Ранее мониторингом промышленной деятельности и научными исследованиями этого региона занималось подразделение ИДГ РАН (Кишкина, Локтев, 2008). В настоящее время с/с AMD является единственной, регистрирующей сейсмические события вблизи Воркуты.

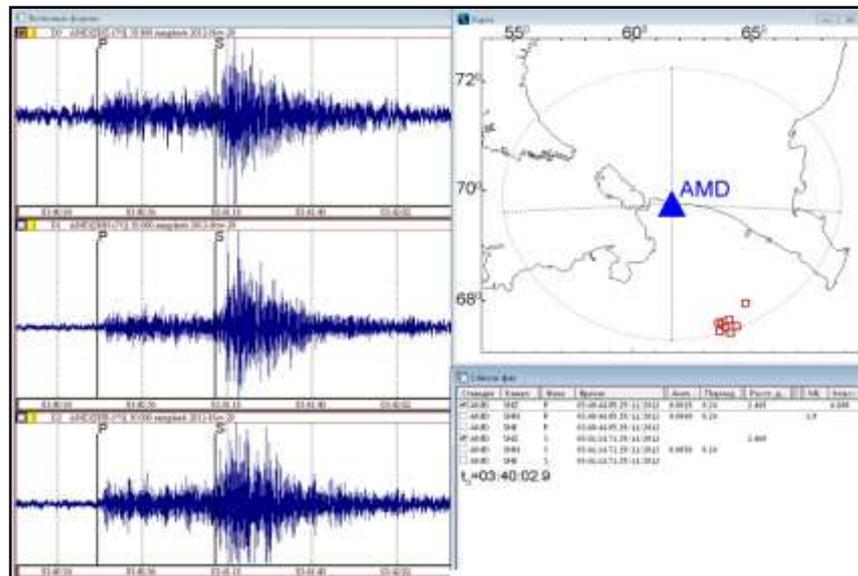


Рис. 3.20. Волновые формы и фрагмент обработки локального сейсмического события, зарегистрированного станцией “Амдерма” 29 ноября 2012 г. $t_0=03:40:02.9$

Большая часть зарегистрированных взрывов, предположительно, производится в одном карьере, находящемся на эпицентральной расстоянии 2.4°.

Для остальных взрывов значения эпицентральных расстояний составляют 2.6° и 2.7° . Ежемесячно с/с AMD регистрируется до 45 техногенных сейсмических событий.

Первые и вторые вступления этих событий хорошо выделяются при фильтрации записей в полосе 2–8 Гц и 3–6 Гц, а огибающие волновых форм разных событий имеют большое сходство между собой. Для подобного рода событий были построены ЧИСС-портреты (рис. 3.21), согласно которым амплитуда первого вступления значительно превышает амплитуду второго в полосе высоких частот 6–10 Гц и 10–12 Гц, а на более низких частотах (2–4 Гц, 2–8 Гц и 3–6 Гц) наблюдается противоположная картина. Анализ ЧИСС-портрета позволяет предположить, что на записях сейсмической станции “Амдерма” в данном случае мы наблюдаем события техногенного характера (промышленные взрывы), связанные с работой предприятий по выработке месторождений полезных ископаемых вблизи г. Воркута.

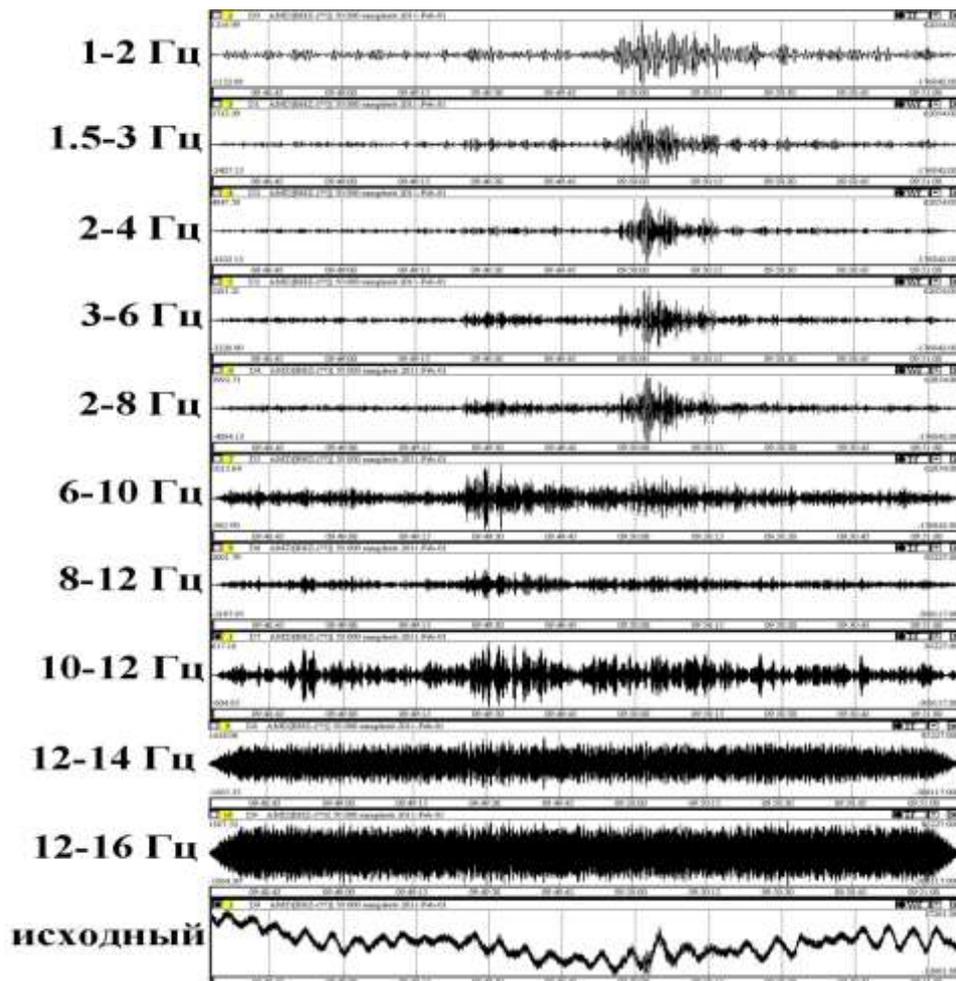


Рис. 3.21. ЧИСС-портрет локального события, зарегистрированного с/с AMD 01.02.2011 г.

Таким образом, анализ данных сейсмостанции “Амдерма” показывает, что включение информации в систему обработки данных Архангельской сети повышает точность определения параметров эпицентров региональных землетрясений; предоставляет материал для изучения техногенной сейсмичности от карьеров и горных предприятий по добыче полезных ископаемых в горнодобывающей части области и Урала. По своим возможностям с/с “Амдерма” функциональна и для мониторинга природно-техногенных явлений, в т.ч. наведенной сейсмичности при разработке полезных ископаемых.

Сейсмические записи с/с AMD задействованы в изучении микросейсмического фона и микросейсмических явлений. В работе (*Французова, Конечная, Иванова, 2013*) отмечено влияние определенных метеоусловий (усиление ветра юго-западного направления) на уровень микросейсмического фона. Также выявлено проявление сезонных явлений при регистрации сейсмических событий (*Французова, Иванова, Конечная, 2014*). В данный момент в этих направлениях идет накопление материала для статистической значимости получаемых результатов.

3.3.2. Сейсмическая станция “Земля Франца-Иосифа”

На о. Земля Александры в 2011 г. открыт пункт сейсмических наблюдений “Земля Франца – Иосифа” (*Антоновская, Конечная, Морозов, 2013; Данилов, Антоновская, Конечная, 2013*).

На записях данного сейсмологического пункта в подавляющем большинстве регистрируются региональные землетрясения Арктического региона. Телесеismicкие землетрясения подробно не анализировались в силу большого объема материала по региональной сейсмичности. На рис. 3.22 представлена диаграмма распределения количества зарегистрированных событий в зависимости от календарных месяцев (с момента начала функционирования пункта наблюдений). Выявлена сезонная особенность записей с/с “Земля Франца-

Иосифа”¹, которая определяет качество регистрации событий и изменения количества регистрируемых событий (в зимне-весенний период – растет, а в летне-осенний – снижается). По результатам наблюдений появились основания полагать, что с установлением снежного покрова и стабильно низких температур количество и качество регистрируемых станцией сейсмических событий возрастает, а с установлением стабильно высоких температур соответственно падает. В (Французова, Иванова, Конечная, 2014) выдвинута гипотеза о связи сезонности в регистрации с изменениями уровня фона в течение года. В летний период общий уровень фона (вплоть до 25 Гц) на порядок выше, чем в зимний период, что и обуславливает снижение числа регистрируемых событий.

Прежде всего, это оказалось заметным для помесечного распределения количества зарегистрированных станцией региональных и локальных событий (см. рис. 3.22), которое показывает тенденцию к ежегодному повторению.

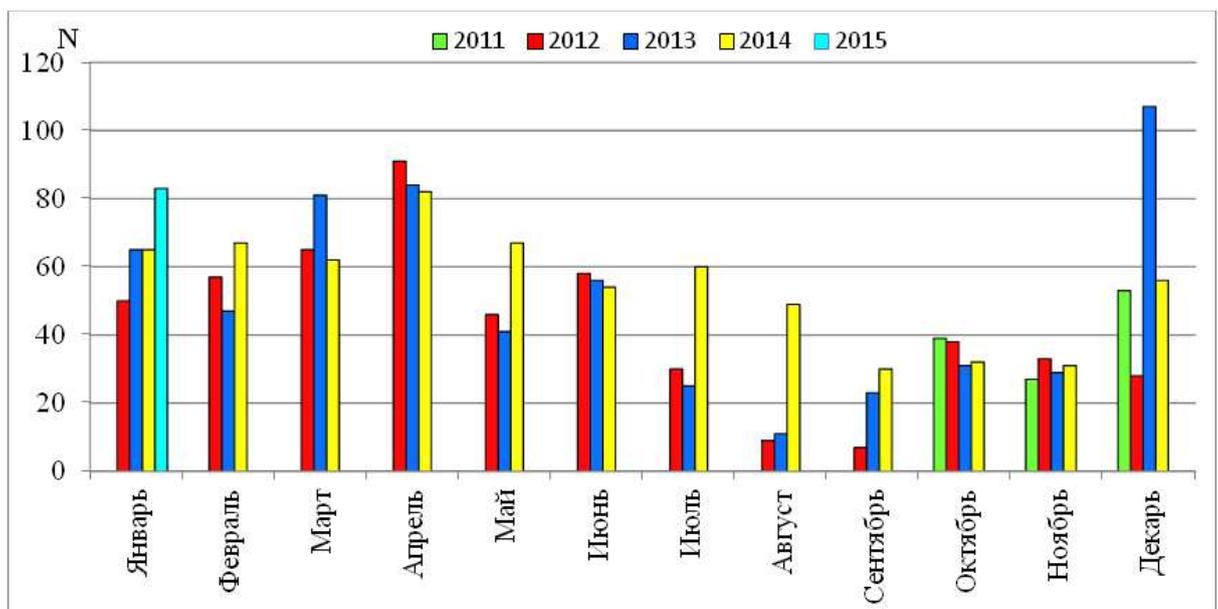


Рис. 3.22. Диаграмма количества зарегистрированных землетрясений с/с ZFI2

Анализ пространственного распределения регистрируемых землетрясений показал, что с/с ZFI фиксирует сейсмические события, происходящие в районе срединно-океанических хребтов (хр. Гаккеля, хр. Книповича), арх. Шпицберген, арх. Земля Франца-Иосифа.

¹ комплект аппаратуры ZFI2, поскольку он наиболее стабильно работал в период наблюдений, и имеет максимальный набор данных

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.). В редких случаях возможно выделение поверхностных волн. Однако, начало поверхностных волн на горизонтальных составляющих, как правило, трудно выделить из-за маскировки их волнами S, имеющими на коротких расстояниях большие амплитуды. Для выделения начала поверхностной волны требуется фильтрация в полосе частот, смещенной в более низкую область (например, 0.4–0.8 Гц). Очевидно, что наличие поверхностных волн можно предполагать только на записях широкополосных датчиков (на рис. 3.23 – ZFI). На короткопериодных каналах (ZFI2) лучше выделяются объемные волны. В указанном примере выделение фаз P и S по записям ZFI2 проведено без фильтрации.

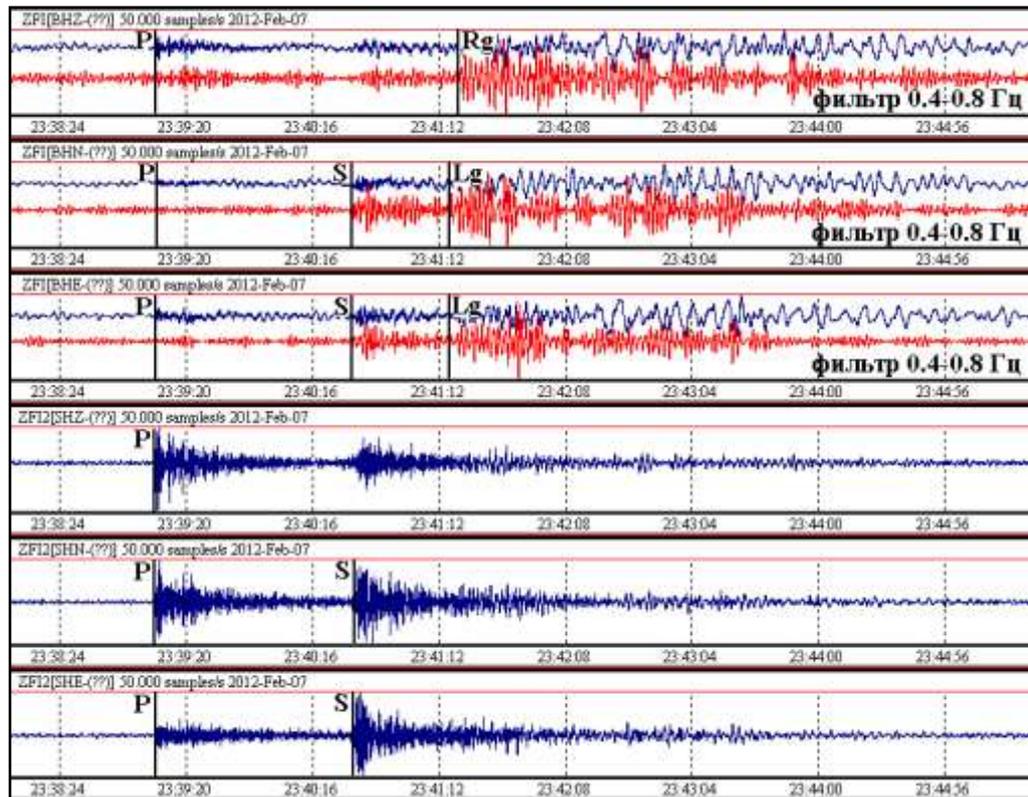


Рис. 3.23. Пример записи регионального землетрясения на ZFI, произошедшего 07.02.2012 г. в районе арх. Шпицберген ($t_0=23:37:04.1$, $\varphi=77.13^\circ$ с.ш., $\lambda=8.45^\circ$ в.д., $ML=4.4$)

Из района океанического хребта Гаккеля зарегистрированы землетрясения, на записях которого присутствует T-фаза (рис. 3.24).

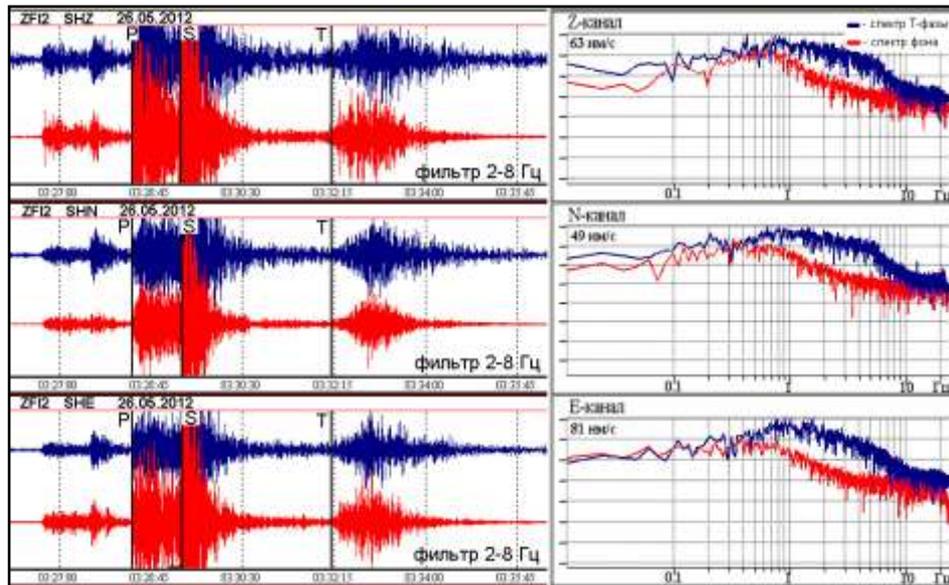


Рис. 3.24. Пример записи регионального землетрясения на с/с ZFI2, зарегистрировано 26.05.2012 г. в районе арх. Шпицберген ($\varphi=86.04^\circ$ с.ш., $\lambda=30.80^\circ$ в.д., $m_b=5.2$); слева – амплитудный спектр Т-фазы в сравнении с микросейсмическим фоном

Условия формирования этих волн в настоящее время выяснены лишь в первом приближении. Известно (Соловьев и др., 1980; Соловьев и др., 1968), что возбуждаемые землетрясениями объемные волны, достигая дна океанов, порождают в водной толще гидроакустические волны, распространяющиеся близвертикально к поверхности. Гидроакустические волны могут затухать довольно быстро (на расстояниях до нескольких десятков километров), а также распространяться без особых потерь на значительные расстояния (Koyanagi et al., 1995). Более подробный анализ записей Т-фазы показал, что ее длительность составляет порядка 3 минут; огибающая описывает сначала плавное нарастание амплитуды, а затем, плавный ее спад; спектральный анализ выявил наличие высокочастотной компоненты в спектре Т-фазы. Диапазон частот, присутствующих в Т-фазе (см. рис. 3.24) достаточно широк – от 0.7 до 8 Гц, что, в целом, соответствует представлениям о природе гидроакустических волн.

Локальные землетрясения на записях сейсмической станции ZFI уверенно выделяются как на исходном сигнале, так и с помощью фильтров 6–10 Гц и 8–12 Гц. Амплитуда первого вступления Р-волны меньше амплитуды вступления S-волны, в отличие от записей региональных землетрясений, где амплитуды Р- и S-волн довольно значительные. Поверхностных волн на записях станции не

наблюдается. Пример волновых форм локального землетрясения показан на рис. 3.25.

Кроме задач, связанных с проведением регионального мониторинга, данные сейсмической станции “Земля Франца-Иосифа” активно используются для исследований земной коры. Результатом этих исследований стало определение строения земной коры и верхней части мантии, а главное – получение скоростной колонки и, соответственно, годографа NOES в районе расположения с/с ZFI. В настоящее время годограф внедрен в рутинную обработку.

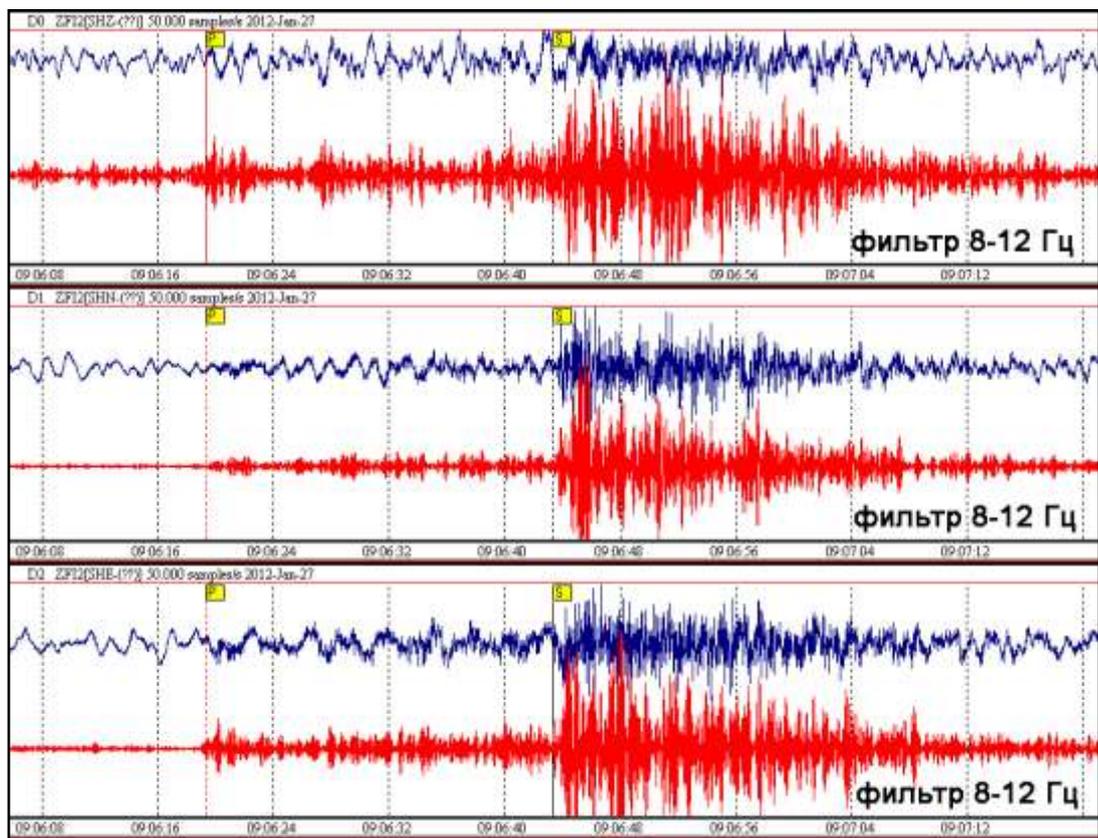


Рис. 3.25. Пример записи локального землетрясения 27.01.2012 г. в районе арх. Земля Франца-Иосифа

Что касается микросейсмических явлений, то ввиду уникального географического расположения с/с ZFI, на записях нередко регистрируются микроколебания, связанные с ледниковыми процессами куполов Лунный и Кропоткина на о. Земля Александры. В лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН проводятся исследования этих процессов (*Антоновская, Конечная, Морозов, 2013; Данилов, 2013*).

3.3.3. Сейсмическая станция “Нарьян-Мар”

Сейсмическая станция “Нарьян Мар” (с/с NRM), была открыта в августе 2011 г. в черте г. Нарьян-Мар. Основные технические параметры станции представлены в таблице 2.1 главы 2.

Сейсмические данные с/с NRM за период ее непрерывной эксплуатации (с августа 2011 г. по настоящее время), были проанализированы в разных аспектах. Определены возможности регистрации землетрясений с телесеismicких, а главное с региональных и локальных расстояний; дана оценка возможности использования сейсмических данных с/с NRM при регистрации и обработке техногенных сейсмических событий, связанных с деятельностью Воркутинского горнопромышленного узла.

Проанализировав микросейсмический фон (в программе MicroNoise (Дягилев, 2012)) с/с NRM, (рис. 3.26) отмечаем крайне низкие регистрационные возможности станции, несмотря на наличие углубленного бункера, стабильную работу сейсмического оборудования и отлаженную инфраструктуру.

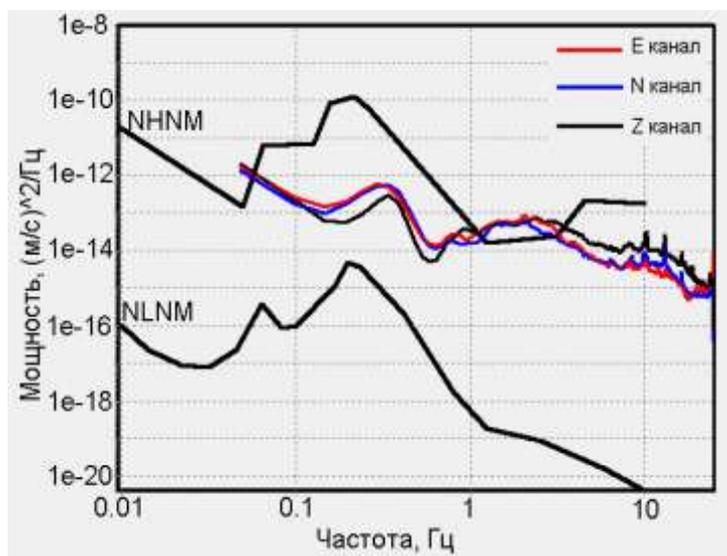


Рис. 3.26. Спектры мощности микросейсмического фона с/с NRM относительно кривых Петерсона (Peterson, 1993)

Оценка регистрационных возможностей станции в мониторинге телесеismicких землетрясений проведена за период с 01.03.2012 г. по 10.08.2012 г. За указанный период с/с NRM зарегистрировано около 300 мировых землетрясений. Проведенное сравнение телесеismicких землетрясений с/с NRM

и с/с LSH (наиболее близко расположенная станция со схожим типом аппаратуры), позволяет отметить высокочастотную зашумленность записей с/с NRM, что негативно сказывается на качестве обработки исходного сигнала (рис. 3.27).

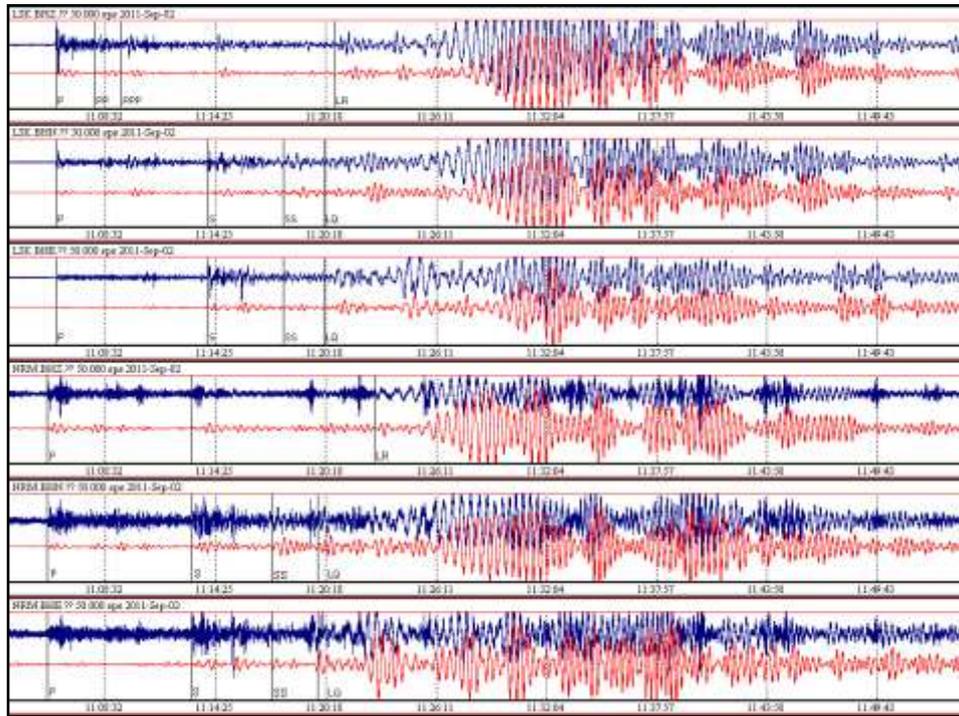


Рис. 3.27. Волновые формы телесеismicического землетрясения, зарегистрированного с/с NRM и LSH, 02.09.2011 г., $t_0=10:55:51.9$, $\varphi=52.19^\circ$, $\lambda=-171.65^\circ$, $h=33$ км, $m_b=7.0$ (по данным ССД ГС РАН)

Что касается более слабых событий (с магнитудой $m_b \leq 6.0$), то на сейсмических записях выделяются только первые вступления с применением фильтрации. На рис. 3.28 показан кумулятивный график повторяемости, построенный для с/с NRM. Согласно графику, $m_{b\text{пред}}=6.1$ является крайне высоким показателем. Например, для с/с KLM тот же параметр ранее был оценен в величину $m_{b\text{пред}}=5.3$ (Французова, Конечная и др. 2012), а для с/с AMD $m_{b\text{пред}}=5.6$ (Французова и др., 2013).

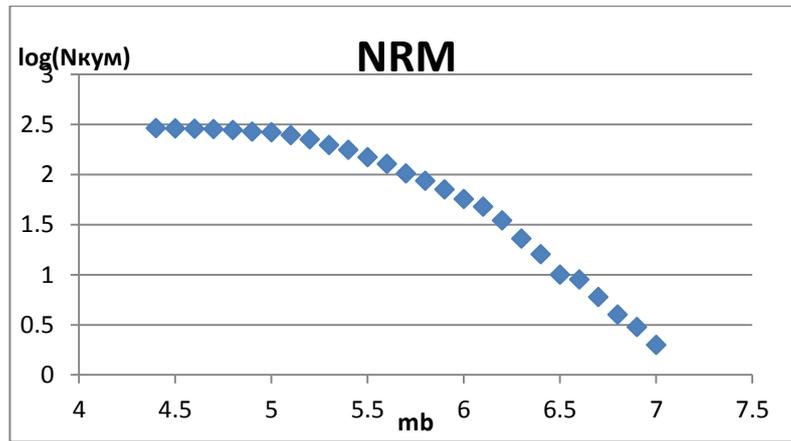


Рис. 3.28. Кумулятивный график повторяемости для телесеизмических землетрясений, регистрируемых с/с NRM

Среди региональных землетрясений ($3^{\circ} \leq \Delta \leq 20^{\circ}$) особое значение имеет регистрация событий из арктических и приарктических территорий. На записях с/с NRM выделяются лишь наиболее сильные землетрясения ($m_b \geq 5.0$) на фильтре 0.7–1.4 Гц (рис. 3.29), в некоторых случаях выделены Р и S волн, но без четкого и импульсного вступления.

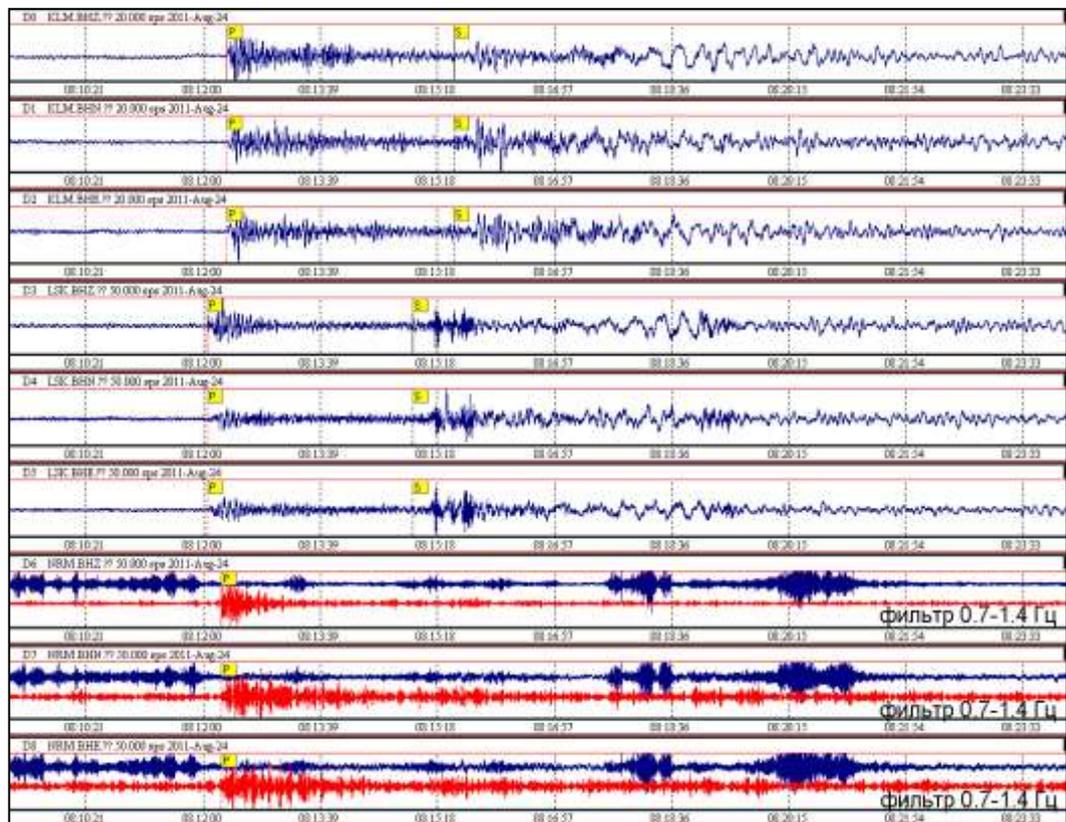


Рис. 3.29. Волновые формы регионального землетрясения, зарегистрированного с/с NRM, KLM и LSH, 24.08.2011 г., $t_0=08:08:14.0$, $\varphi=72.62^{\circ}$, $\lambda=3.74^{\circ}$, $h=10$ км, $m_b=5.4$ (по данным ССД ГС РАН)

Техногенные события из Воркутинского горнопромышленного узла за период работы станции зарегистрированы не были. Также на записях не было отмечено землетрясение, произошедшее на Полярном Урале в декабре 2012 г.

Таким образом, сейсмическая станция “Нарьян-Мар” была закрыта в декабре 2013 г. из-за ее низкой эффективности при проведении регионального мониторинга.

3.4. Совокупная обработка арктических землетрясений по данным станций Архангельской сети и других станций Баренц-региона

Как было показано выше, для качественной обработки арктических землетрясений и техногенных событий на приарктических территориях необходимо следующее:

1. Детальный анализ и привлечение сейсмических записей вновь устанавливаемых заполярных сейсмических станций в Баренц-регионе с последующим составлением сейсмического бюллетеня. Это позволит:

- увеличить количество выделяемых землетрясений путем сравнения записей на всех станциях сети и идентификации слабых событий;

- расширить территорию мониторинга, причем именно в западном секторе арктической зоны РФ, где данные Архангельской сети составляют основу обработки;

2. Использование годографа Varents для локации эпицентров землетрясений позволяет достоверно определять их местоположение.

Рассмотрим возможности уточнения координат эпицентров через привлечение данных ВАСС. На рис. 3.30 показаны сейсмические станции ВАСС, данные которых доступны через Internet (кроме станций АСС). В рутинной обработке используются станции АСС и станции Баренц-региона. В редких и исключительных случаях привлекаются других арктические станции (треугольники с синей маркировкой). Это обусловлено, в первую очередь, техническими возможностями и ресурсами центра обработки.

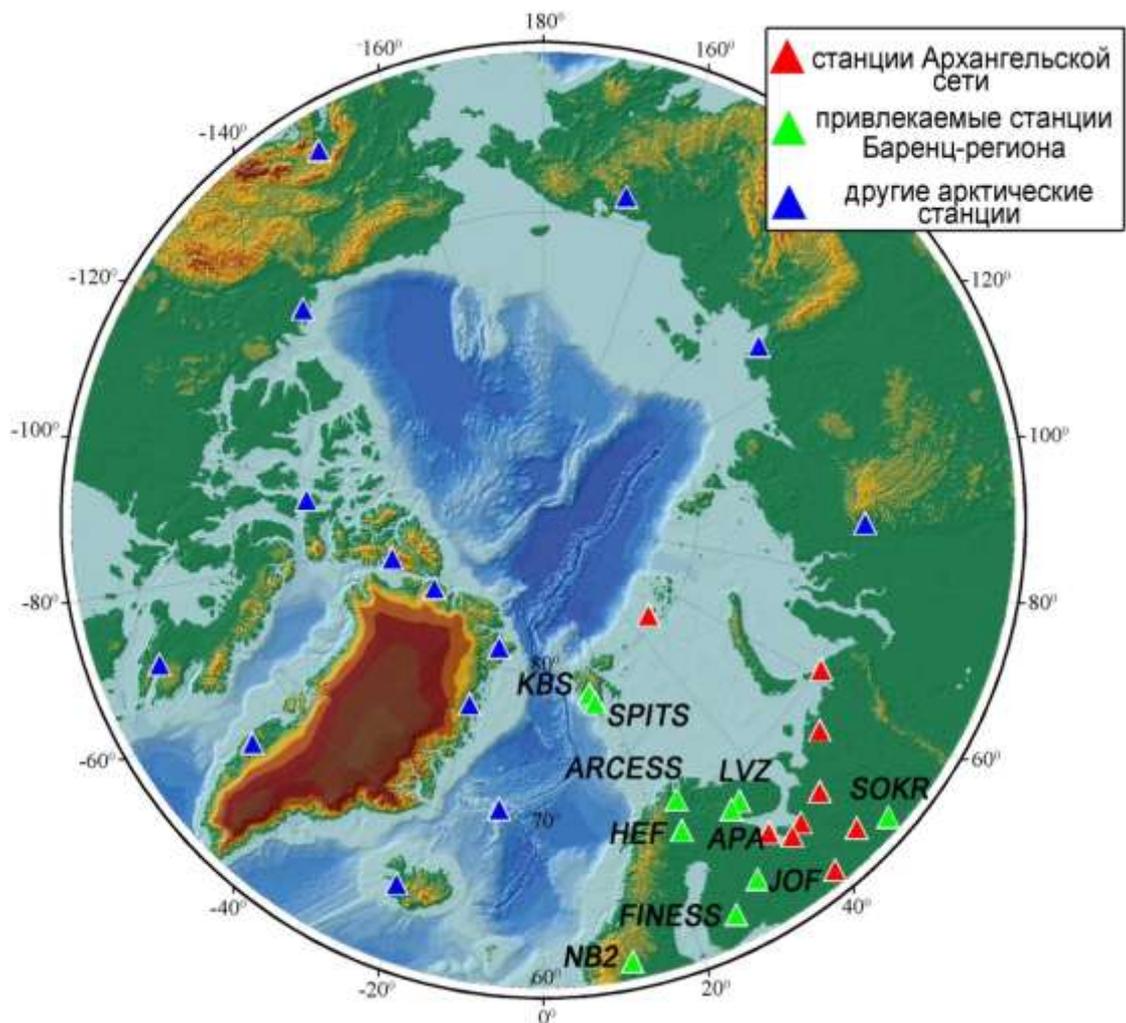


Рис. 3.30. Сейсмические станции, привлекаемые в обработку

Покажем, что обработка землетрясений по данным ВАСС достаточно для получения качественных данных о сейсмичности. Для определения точности локации эпицентров, получаемых при выполнении указанных выше условий (использование заполярных станций, годографа Varents), были проанализированы данные сейсмического каталога АСС с декабря 2012 г. по июнь 2013 г. Выбраны наиболее сильные землетрясения, произошедшие в разных регионах западной части Арктики (рис. 3.31). Подборка проведена по тому же принципу, что и в п.3.2.1 (см. рис. 3.6) – отражена возможность мониторинга районов, прежде всего, океанических хребтов Гаккеля и Книповича, арх. Шпицберген и приарктических территорий.

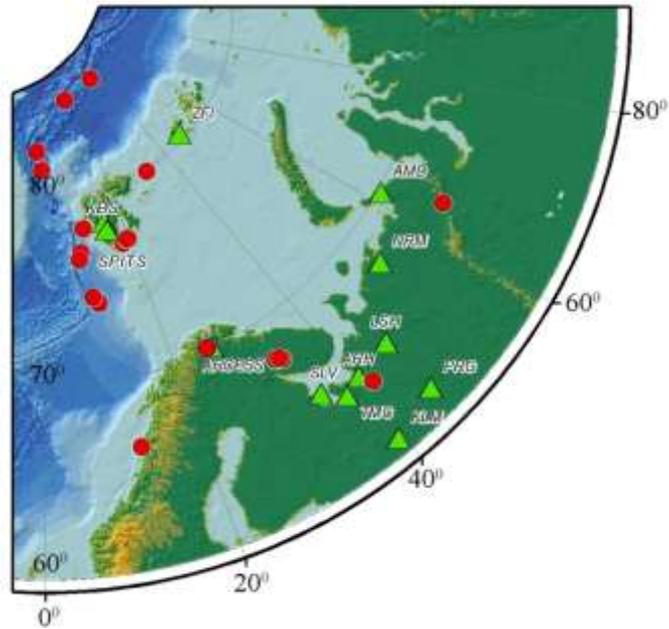


Рис. 3.31. Карта выборки сейсмических событий для изучения точности локации

Данные об этих сейсмических событиях содержатся в каталогах службы NORSAR (*NORSAR Reviewed Regional Seismic Bulletin*), ССД ГС РАН (*Последние землетрясения по данным ССД*) и Orfeus (*Observatories and Research Facilities for European Seismology*). Было проведено сравнение параметров эпицентров. На карте (см. рис. 3.31) также отмечены сейсмические станции АСС и станции сейсмологической службы NORSAR.

На рис. 3.32 приведен пример сводной обработки по данным ВАСС.

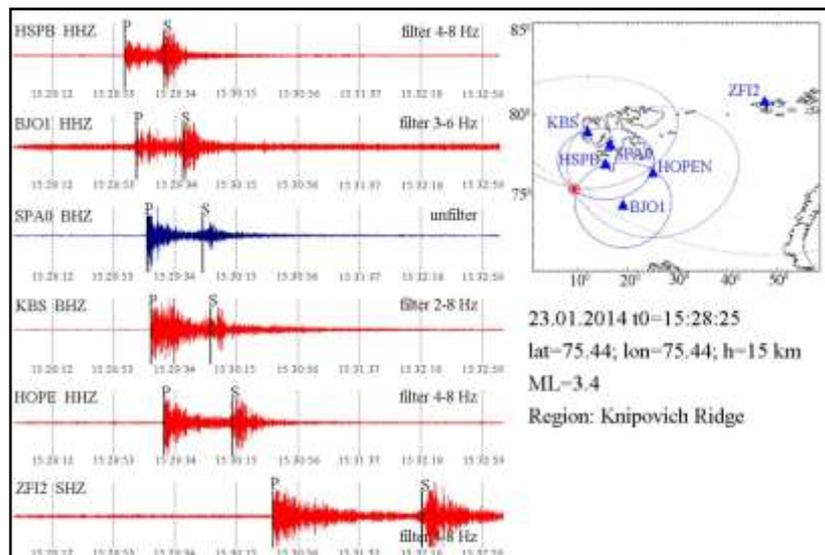


Рис. 3.32. Пример обработки арктического землетрясения по данным станций ВАСС

В табл. 8 представлены данные отклонений полученных эпицентров, где средние отклонение между координатами эпицентров составляют около 30 км. Время в очаге отличается в среднем на 3 с. Для региональных землетрясений такие отклонения принято считать хорошим результатом, хотя в единичных случаях, разница приобретает большие значения. Например, событие, произошедшее на хр. Гаккеля 13.12.2012 г., службой NORSAR лоцировано в 400 км от эпицентров остальных служб.

Таблица 8

Результаты сравнения параметров эпицентров по данным обработки BACC, NORSAR, Геофизической службы РАН и Orfeus

Дата	BACC				BACC-NORSAR		BACC-GS RAS		BACC-Orfeus	
	t_0	φ	λ	ML	$\delta\Delta$, км	$\delta t_{0,c}$	$\delta\Delta$, км	$\delta t_{0,c}$	$\delta\Delta$, км	$\delta t_{0,c}$
13.12.2012	23:03:38	80.86	121.67	5.8	410.4	31.0	12.6	1.4	10.5	0
24.12.2012	06:22:33	66.7	64.15	3.8	30.2	6.1	24.6	6.9	32.5	1
22.12.2012	21:09:15	67.79	33.31	3.1	17.1	3.1				
18.01.2013	9:13:01	67.62	34.24	2.7	19.3	0.3				
30.01.2013	09:53:14	79.87	32.35	3.6	23.6	2.9				
29.01.2013	00:43:08	76.92	8.43	3.4	40.6	3.4				
26.01.2013	20:49:25	67.84	33.38	3.1	20.4	2.0				
22.01.2013	22:27:36	76.57	7.82	3.3	73.1	2.3				
09.02.2013	22:59:37	70.10	25.62	2.9	49.7	19.1				
01.02.2013	11:31:25	81.49	-1.14	3.5	25.7	3.7				
19.03.2013	17:34:08	78.16	9.98	3.2	7.0	5.9			9.8	5
15.03.2013	09:10:53	67.76	33.92	3.5	10.6	3.2				
28.03.2013	07:02:14	64.00	41.39	3.1	40.3	4.4	15.6	0.9		
07.04.2013	19:29:10	85.14	12.56	4.3	67.1	0.9	12.7	3.2	18.0	2
19.04.2013	09:28:38	66.28	12.45	-	14.7	0.7			20.1	1
23.05.2013	19:27:45	74.13	10.41	-	4.5	2.9				
03.06.2013	16:48:34	74.48	9.53	-	28.2	6.2	47.4	6.2	52.6	7
01.06.2013	14:06:56	82.45	-3.39	4.9	67.8	1.8	55.1	1.8	80.4	6
26.05.2012	3:27:06	85.69	34.08	4.2	44.5	1.9	47.1	1.9	28.0	4
05.02.2013	10:12:21	77.15	19.59	2.6	13.4	0.3				
14.02.2013	22:49:08	77.09	18.30	2.5	11.3	1.5				
21.03.2013	7:35:35	76.87	18.66	2.6	11.1	2.4				
28.03.2013	23:34:44	76.91	18.52	2.6	4.7	0.3				
10.05.2013	4:06:23	77.09	19.58	2.8	22.4	1.4				
22.06.2013	17:34:50	77.06	19.98	2.8	29.2	4.4				

Распределение отклонений параметров эпицентров показано на рис. 3.33. Основное число эпицентров имеет отклонения до 40 км по эпицентральному расстоянию и до 6 с по времени в очаге.

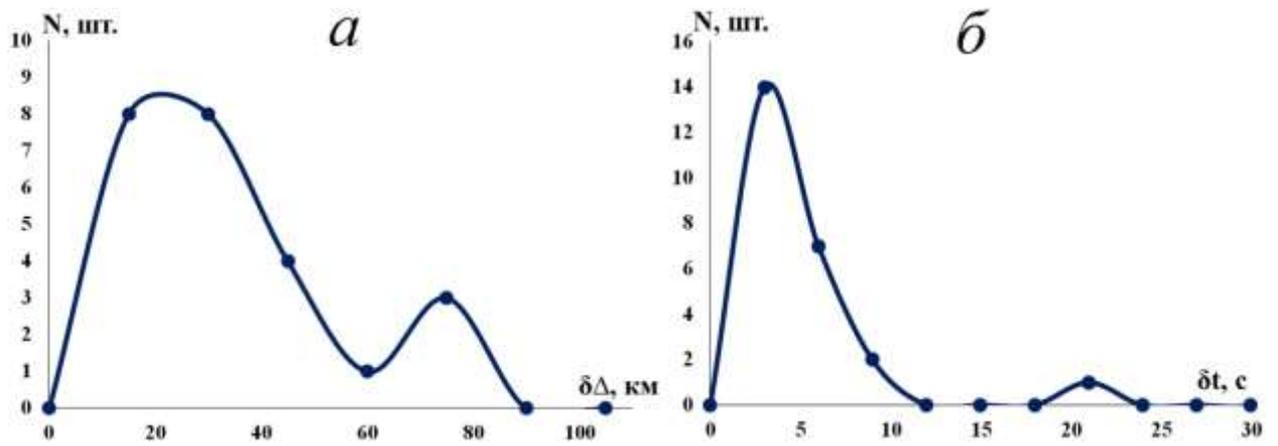


Рис. 3.33. Распределение отклонений при определении параметров эпицентров: а – по эпицентральному расстоянию; б – по времени в очаге

Для ряда регионов Арктики (карта эпицентров представлена на рис. 3.34) проведена абсолютная оценка погрешностей в локации эпицентров. Оценка ошибок метода проводилась путем расчета эллипса ошибок в программе LocSAT (Bratt S.R., Vache T.C., 1988). Достаточно подробно о методах расчета эллипсов ошибок описано в (Bratt S.R., Vache T.C., 1988; Кондорская, Ашиткова, Мебель, 1971).

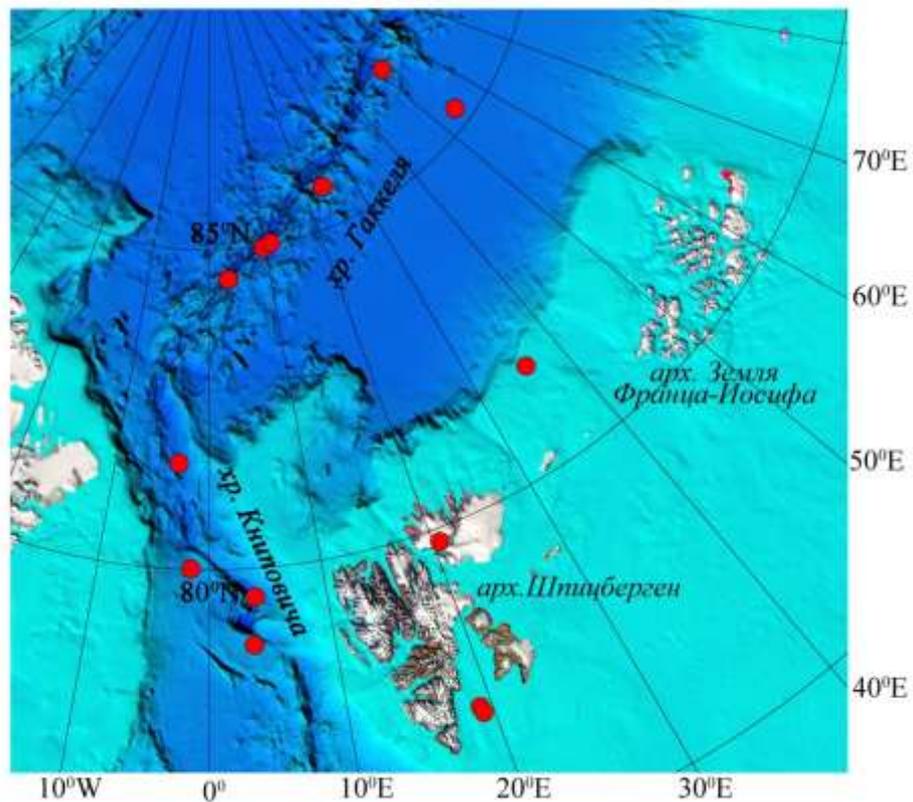


Рис. 3.34. Эпицентры землетрясений, для которых вычислены эллипсы ошибок

Расчетные параметры эллипсов ошибок для набора землетрясений представлены в табл. 9.

Таблица 9

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-Виктории

Для хр. Книповича площадь эллипса ошибок (с 90 % вероятностью) составляет порядка 100 км²; арх. Шпицберген – ошибки минимальны (до 50 км²) при оптимальном расположении станций относительно очагов землетрясений. Наибольшие значения 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 ВАСС не позволяет повысить точность локации.

Таким образом, качественный анализ данных станций Архангельской сейсмической сети и их совокупная обработка по данным ВАСС, позволила проводить полноценный сейсмический мониторинг Норвежско-Гренландского и Евразийского бассейнов. Полученный материал не только подтверждает известные данные о сейсмичности Арктики, но позволяет изучать более детально сейсмические процессы, происходящие в отдельных регионах.

3.5. Выводы

Улучшение обработки сейсмических событий по данным станций Архангельской сейсмической сети стало возможным с помощью нескольких факторов. Во-первых, вновь установленные станции “Амдерма” и “Земля Франца-Иосифа” способны в полной мере решать задачи регионального сейсмического мониторинга. Во-вторых, включение в обработку дополнительных сейсмических станций ВАСС и использование регионального годографа Varents позволяет получать достоверные параметры эпицентров, регистрируемых сейсмических событий.

Для повышения точности определения пространственно-временных и энергетических параметров землетрясений в западном секторе арктической зоны РФ разработан методический подход обработки землетрясений. Он включает комплекс мер:

- применение подобранных высокочастотных фильтров;
- использование регионального годографа BARENTS;
- подключение данных сейсмических станций служб ГС РАН, GEOFON, IRIS, NOR SAR к анализу данных Архангельской сети (использование виртуальной сети станций).

Для дальнейшего развития и усовершенствования методов обработки сейсмологических данных в настоящее время прорабатываются вопросы внедрения созданного годографа по данным станции ZFI, изучаются возможности дополнительного привлечения станций, проводится адаптация автоматического детектора для выявления сейсмических событий на записях станций АСС.

На основе изложенных в главе 3 материалов, второе защищаемое положение будем считать доказанным.

Глава 4. УТОЧНЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРА РУССКОЙ ПЛИТЫ И ЗАПАДНОГО СЕКТОРА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

В предыдущих разделах рассматривались методические вопросы сейсмологических наблюдений. Работы нацелены на получение достоверных результатов мониторинга ряда районов Арктики (*Ваганова и др., 2013*), в частности, районов грабен Франц-Виктория, Орли и Святой Анны, и более точного определения параметров землетрясений на территории Архангельской области, Полярного Урала, Новой Земли.

4.1. Результаты сейсмологических наблюдений арктических территорий, проводимых на базе станций Архангельской сейсмической сети

Применение разработанного методического подхода, описанного выше, дало осязаемый результат – позволило зарегистрировать (станциями АСС) около 1700 землетрясений, более чем для 900, получены координаты эпицентров (обработка проводилась по данным ВАСС). На рис. 4.1 представлены данные с декабря 2011 г. по июнь 2014 г., т.е. фактически с момента ввода в эксплуатацию сейсмического пункта на арх. Земля Франца-Иосифа. Район наблюдений ограничивается с юга 60° с.ш., что позволяет говорить о мониторинге приарктических территорий, с запада – 20° з.д., а с востока – 130° в.д.

Станциями Архангельской сети регистрируются эпицентры арктических землетрясений, которые по пространственному совпадению и материалам геолого-геофизических исследований могут быть соотнесены с проявлениями как межплитной, так и внутриплитной сейсмичности (*Аветисов, 1996*).

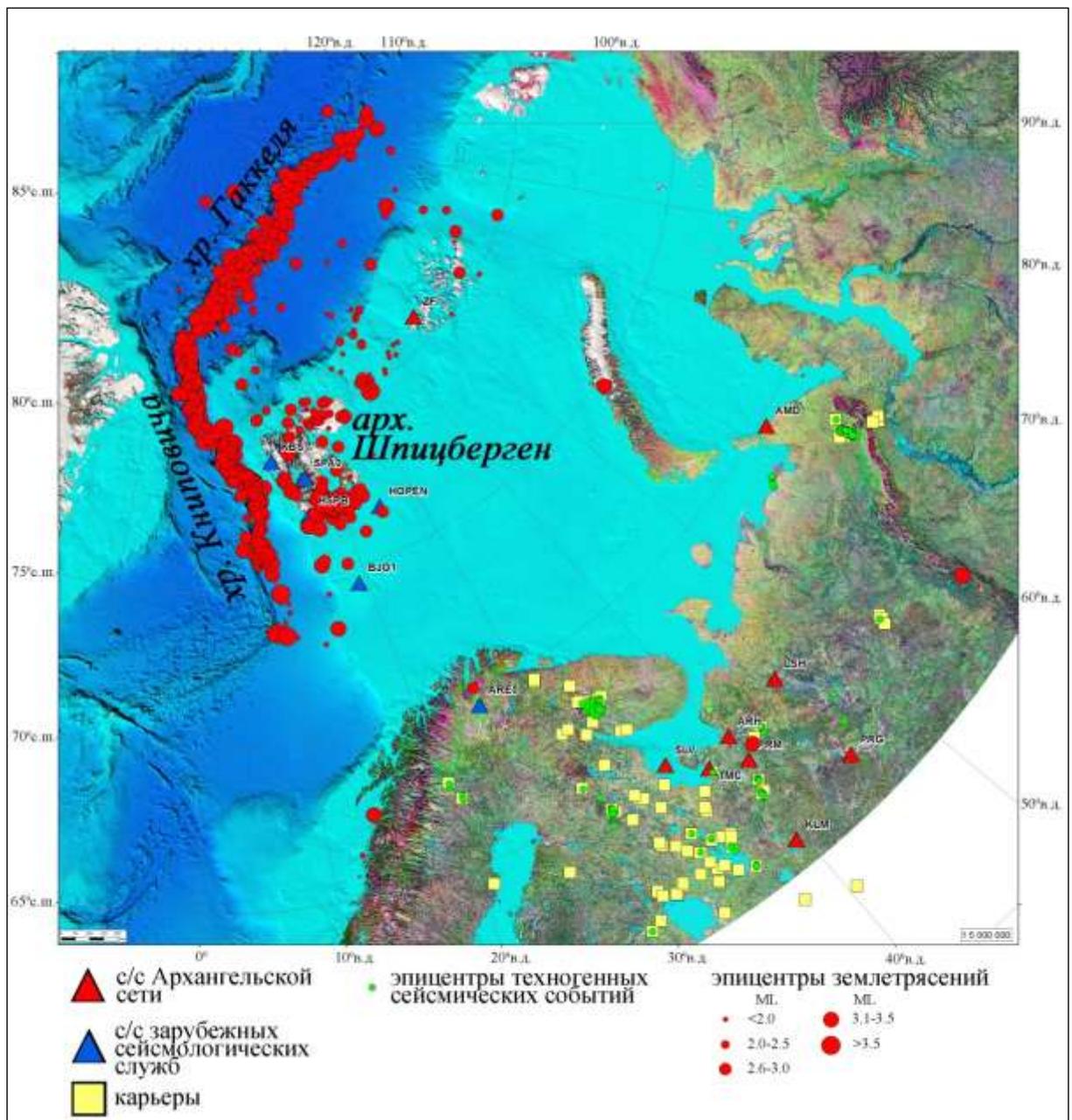


Рис. 4.1. Карта эпицентров сейсмических событий, построенная по результатам сейсмических наблюдений Архангельской сети за период с декабря 2011 г. по июнь 2014 г.

Наложение эпицентров землетрясений на тектоническую карту Арктического сегмента (Хаин, 2000) (рис. 4.2) позволяет сопоставить сейсмический режим с основными тектоническими структурами хребта Гаккеля, хребта Книповича и Шпицбергенской зоной разломов. Хребет Мона лишь частично отображен на карте эпицентров, поскольку находится на более далеких расстояниях от станций Архангельской сети и регистрация всей группы объемных

волн, необходимых для локации события, затруднена. Несколько сильных землетрясений зарегистрировано из района Исландии.

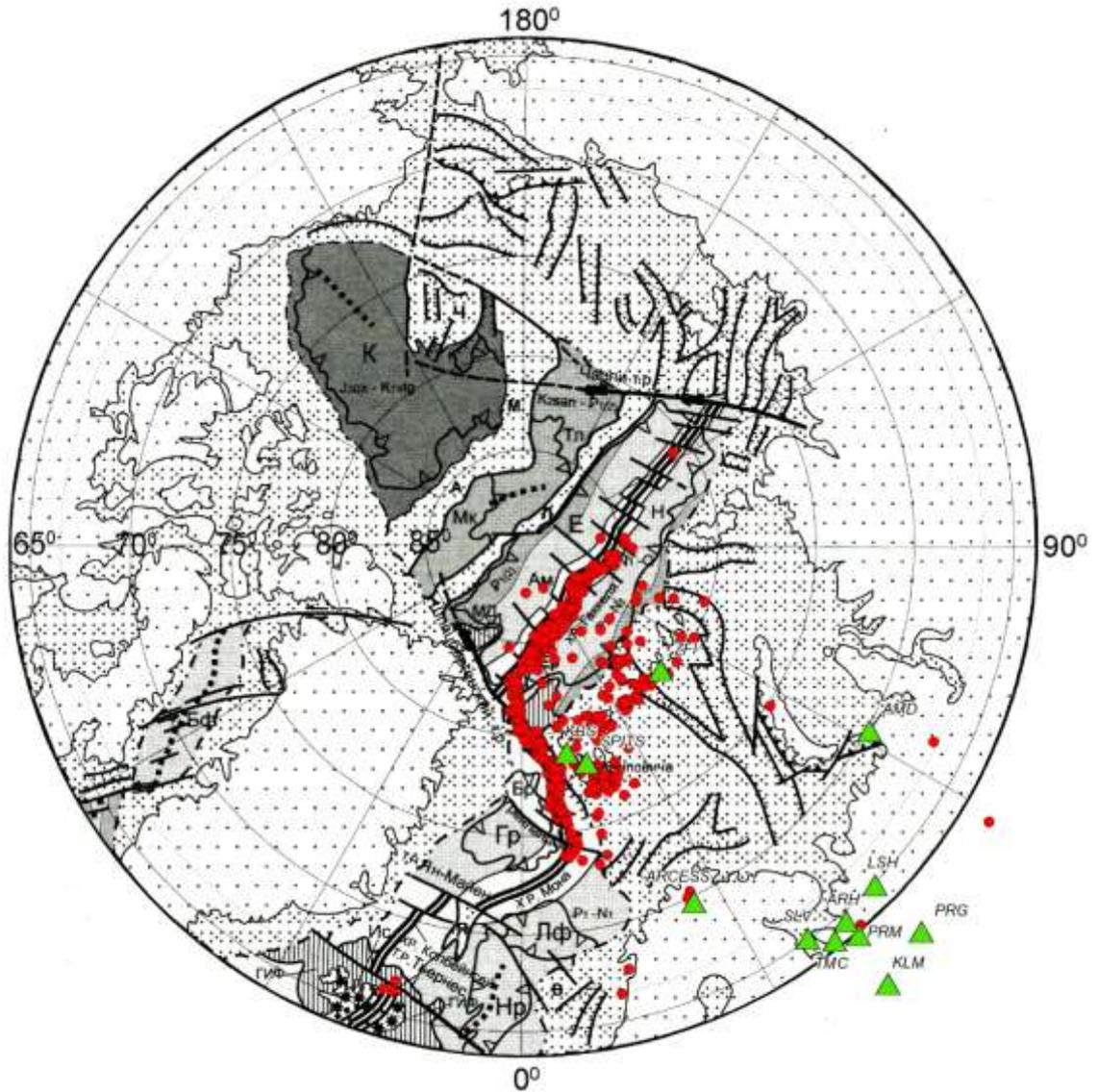


Рис. 4.2. Тектоническая карта Арктического сегмента (Хаин, 2000) с нанесением эпицентров землетрясений по результатам регионального мониторинга за период с декабря 2011 г. по март 2014 г.

С установкой с/с ZFI увеличился поток данных о сейсмичности в зоне перехода континентальной коры к океанической и предполагаемой границы шельфа. В частности, ведется регистрация и обработка землетрясений, происходящих на склоне континентального шельфа западнее арх. Шпицберген, расположенного параллельно хр. Книповича, и севернее арх. Шпицберген и Земля Франца-Иосифа (параллельно хр. Гаккеля). Несколько событий отмечено в западной части акватории Баренцева моря и проливе Стур-Фиорд. Наиболее

интересным для детального изучения представляется район северной акватории Баренцева моря (желобы Орли, Франц-Виктории, Св. Анны), где ранее сведения об его сейсмичности (Конечная, 2013) были неполные (см. рис. 4.2).

На приарктических территориях (Фенноскандия, Кольский полуостров, Архангельская область и НАО, Полярный Урал, Карелия) за период наблюдений было отмечено несколько землетрясений (см. рис 4.1 и 4.2), в том числе в Архангельской области, в районе Полярного Урала и Новой Земли. Подробный анализ сейсмичности проведен в пунктах 4.2 и 4.3 текущей главы.

Основной вклад в регистрацию арктических землетрясений вносит с/с ZFI. Широкополосные станции KLM и LSH регистрируют наиболее сильные землетрясения, но отличаются от остальных “континентальных” станций более качественными записями. Сейсмическая станция AMD позволяет вести мониторинг техногенной сейсмичности, связанной с деятельностью Воркутинского горнопромышленного узла (более подробно – в главе 3, п. 3.3.1).

На диаграмме рис. 4.3 представлено распределение зарегистрированных сейсмических событий по типам. Число взрывов и других событий техногенного происхождения составляет 44 %.

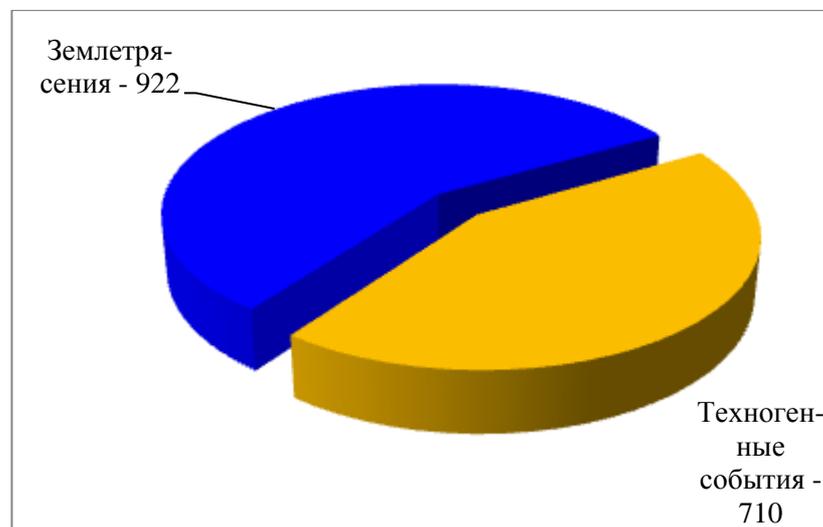


Рис. 4.3. Диаграмма распределения числа зарегистрированных сейсмических событий по типам за период декабрь 2011 г. – июнь 2014 г.

Основное количество сейсмических событий, регистрируемых в приарктических регионах, имеют техногенную природу, связанную с добычей полезных ископаемых в шахтах и открытых карьерах. Мониторинг техногенной сейсмичности Архангельской области и прилегающих территорий ведется с

момента основания АСС (Французова, Иванова, Морозов 2012; Морозов, 2008; Французова, Морозов, Николаев, 2011) и является одной из ее основных задач. Карта сейсмических событий техногенной или неизвестной природы показана на рис. 4.1.

При мониторинге техногенной сейсмичности основной вклад вносят регистрацию вносят с/с KLM, TMC, PRM, SLV, LSH, AMD. На записях с/с ZFI за период наблюдений не выявлено ни одного события техногенного происхождения, имеющего характерную для них волновую форму. Хорошо видно (см. рис. 4.1), что большинство событий связано с деятельностью карьеров и шахт в Хибинском массиве на Кольском полуострове, Воркутинского горнопромышленного узла и карьеров в Архангельской области. Однако станциями Архангельской сети также регистрируются сейсмические события из Карелии и Скандинавии, которые вероятно также связаны с промышленной деятельностью. Меньшее число событий зарегистрировано из района Урала и Коми. За период проведения сейсмического мониторинга по измененной его схеме не было зарегистрировано ни одного сейсмического события (горно-тектонического удара) из района Северо-Уральского бокситового рудника (Урал). Теоретически, в отношении района СУБРа ситуация не должна измениться, поскольку конфигурация Архангельской сети на территории области осталось прежней.

Таким образом, проводимые нами (Архангельской сейсмической сетью) и в соавторстве с коллегами, сейсмологические наблюдения, позволяют обобщить опыт работ за 3 года и получить характеристики возможностей сети.

1. Сеть регистрирует без пропусков региональные события на территории: 60° – 90° с.ш. и 5° з.д.– 90° в.д. Район хр. Гаккеля (84° – 88° с.ш. и 5° з.д.– 90° в.д.) доступен преимущественно Архангельской сети (рис. 4.1), причем это территория Арктического сектора, представляющая большой отечественный практический и научный международный интерес.

2. Архангельская сейсмическая сеть позволяет вести сейсмический мониторинг работ на карьерах и в шахтах. Магнитудная чувствительность для этих районов позволяет (помимо непосредственно взрывов) вести мониторинг наведенной сейсмичности.

3. В настоящее время сеть позволяет вести наблюдения тектонических платформенных землетрясений, что существенно для задач выбора площадок под ответственные объекты.

4.2. Анализ тектонических землетрясений на севере Русской плиты

Информация о тектонических землетрясениях на Восточно-Европейской платформе (ВЕП) всегда привлекает большое внимание исследователей. Во-первых, платформа характеризуется относительно слабой сейсмической активностью. Редкое проявление тектонической сейсмичности делает каждое зарегистрированное землетрясение уникальным событием и требует его тщательного изучения. Во-вторых, до недавнего времени основными источниками знаний о сейсмичности платформы были письменные свидетельства за исторический период. В-третьих, высокий уровень урбанизации, наличие ответственных и экологически опасных объектов, крупных промышленных центров вызывают необходимость более внимательно отслеживать любые проявления сейсмических процессов на платформенных территориях.

На платформенных территориях тектонические землетрясения регистрируются редко в отличие от техногенных сейсмических событий (промышленных взрывов). В силу своей уникальности у исследователей всегда возникают сомнения в правильности определения природы таких событий, т.к. ошибочное определение природы может исказить представления о современной сейсмической активности исследуемой территории.

На рис. 4.4 приведена подборка исторических землетрясений, зафиксированных на территории Архангельской области. Выборка сделана из “Сводного каталога землетрясений ВЕП” (*Землетрясения и микросейсмичность...*, 2007) и на основании последних исследований А.А. Никонова (*Никонов, 2000, 2004, 2013*) по уточнению параметров очагов некоторых исторических землетрясений.

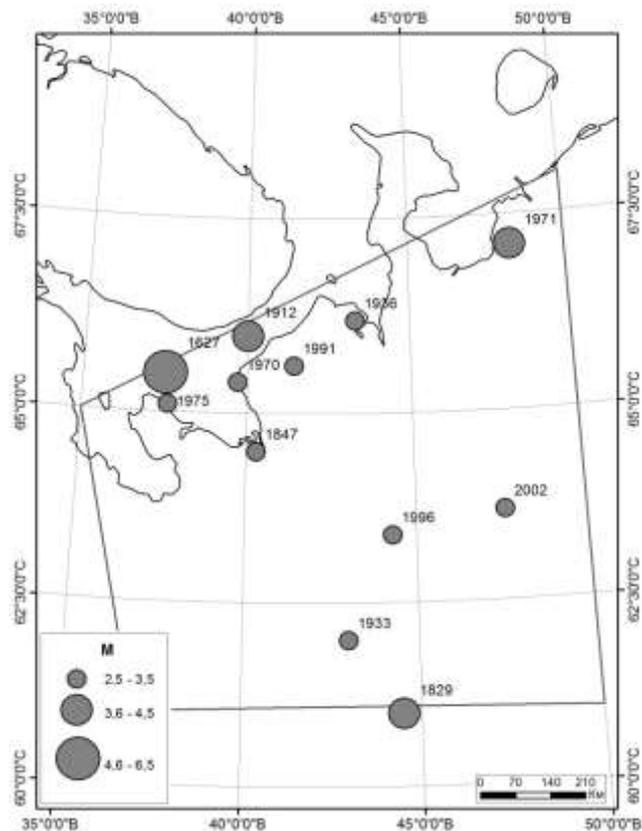


Рис. 4.4. Карта эпицентров тектонических землетрясений на территории Архангельской области и в сопредельных регионах за период с 1542 по 2005 г. (использованы данные А.А. Никонова (2000, 2004, 2013):

Согласно табл. 10, на территории севера Русской плиты произошло 16 тектонических землетрясений.

Таблица 10

Данные по тектоническим землетрясениям, произошедшим на севере Русской плиты

N п/п	Дата			Время			Координаты гипоцентра			Магнитуд а	Интенс ивност ь
	Год	м	д	ч	м	сек	$\varphi, ^\circ$	$\lambda, ^\circ$	h		
1	1627	5	31	2			65.5	37.5	25	6.5	8
2	1829	8	31	23	30		61	44.5	10	4.5	6
3	1847	8	16	6			64.5	40.3	7	3.0	4
4	1912	3	5	10	11		66	40	15	4.0	4-5
5	1933	3	3				62	43	10	3.3	4
6	1936	1	21	6			66.2	43.30	7	3.5	4-5
7	1970	5	10	4	8	23	65.4	39.7		3.4	
8	1971	9	15	9	15	13.3	67.12	48.25	10	3.9	
9	1975	8	7	7	40	14	65.10	37.6	17	3.3	
10	1991	10	21	4	47	13.7	65.62	41.42	10	2.9	
11	1996	12	26	4	44	11.2	63.4	44.3	0	3.4	
12	2002	2	25	18	38	17	63.7	47.6		3.3	

За исключением землетрясения 1627 года с магнитудой 6.5, магнитуды остальных землетрясений лежат в диапазоне от 2.6 до 4.6. Большинство эпицентров рассматриваемого района сосредоточено в полосе северо-восточного простирания, являющейся частью более протяженной и почти непрерывной полосы эпицентров исторических землетрясений от Балтийского щита до Урала (*Никонов, 2013*). Такое распределение эпицентров является следствием (или отражением) геодинамических процессов, протекающих в регионе, и отмеченных в предыдущем разделе.

В г. Архангельске и в непосредственной близости от него в акваториях Двинской губы и горла Белого моря зафиксированы ощутимые землетрясения: 16.08.1847 г. ($I_0=5$ баллов, $M=4.0$) и 04.03.1933 г. ($M=3.5$).

Проверка тектонической природы зарегистрированных землетрясений осуществлялась с помощью совокупности критериев (*Морозов, 2008*) на основе опыта накопленного сотрудниками Кольского филиала ГС РАН. Задача идентификации для АСС решается путем анализа сейсмического события неизвестной природы по записям станции KLM по следующим критериям:

- отношение средних амплитуд волн P и S (если значение параметра P/S меньше 0.3; это может быть свидетельством в пользу того, что сейсмическое событие является землетрясением);
- характер изменение спектра во времени - высокие значения параметра линейной регрессии, вычисленные для средней корреляции спектров $A(t)$ свидетельствуют об искусственном происхождении сейсмического события;
- сравнение обобщенных огибающих записей промышленных взрывов, характерных для региона, и анализируемого события;
- значение магнитуды M_L (значение M_L для взрывов из карьеров Архангельской области не превышают 2.8);
- наличие или отсутствие карьера в районе, куда падает эпицентр события (события, произошедшие в пределах карьеров, с большей вероятностью могут быть квалифицированы как взрывы или иные проявления техногенной сейсмичности);
- время (UTC) и день недели – для каждого карьера Архангельской области были проанализированы времена и дни недели производства взрывных работ.

4.2.1. Землетрясение 22.10.2005 г. с $M_L=2.9$

В период функционирования АСС (2002 г. – наст. время) – это первое тектоническое землетрясение на севере Русской плиты, которое было зарегистрировано инструментально 22.10.2005 г. в 17:46 (время по Гринвичу). Помимо станций АСС оно было записано станциями сетей ГС РАН и Finnish National Seismic Network, Estonian Seismological Network и агентства NOR SAR. Параметры очага, вычисленные в сейсмологических Центрах ГС РАН и Институте сейсмологии в Хельсинки, представлены в табл. 11.

Таблица 11

Параметры гипоцентра землетрясения 22.10.2005 г. по данным различных сейсмологических Центров

Сейсмологический Центр	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\Delta\varphi$	$\lambda, ^\circ$ в. д.	$\Delta\lambda$	h, км	Время в очаге	Магнитуда ML	Источник
ГС РАН, г. Обнинск	64.63	0.05°	40.32	0.05°	2	17:46:46.6	2.8	(Землетрясения..., 2007)
Институт сейсмологии Финляндия, г. Хельсинки	64.60	5.0 км	40.77	6.4 км	до 10	17:46:46.0	2.8	(Электронный ресурс Института сейсмологии)

Обычной практикой в сейсмологии являются работы по уточнению параметров очагов ранее зарегистрированных землетрясений. Сведения, полученные в разных сейсмологических Центрах и публикуемые в бюллетенях в оперативном режиме, основаны на данных лишь собственных станций, они являются предварительными. Как правило, более точная обработка событий происходит спустя некоторое время, когда появляется возможность привлечения данных сейсмических станций других сетей.

В данном случае, нами проведена повторная обработка землетрясения 22.10.2005 г. с привлечением исходных данных 12 сейсмических станций (рис. 4.5). Диапазон значений эпицентральных расстояний составляет от 24 до 1020 км, азимутальный створ от 191 до 316 градусов. Азимутальный створ дает количественную оценку того, как хорошо эпицентр землетрясения окружен сейсмическими станциями. Величина азимутального створа, непосредственно относящаяся к конфигурации сейсмических станций, напрямую влияет на точность определения координат эпицентра. В работе (Bondár et al, 2004) оцениваются

значения ошибки в зависимости от геометрии. В нашем конкретном случае (см. рис. 4.5) из-за малого азимутального створа ошибка в определении эпицентра может достигать 35 км.

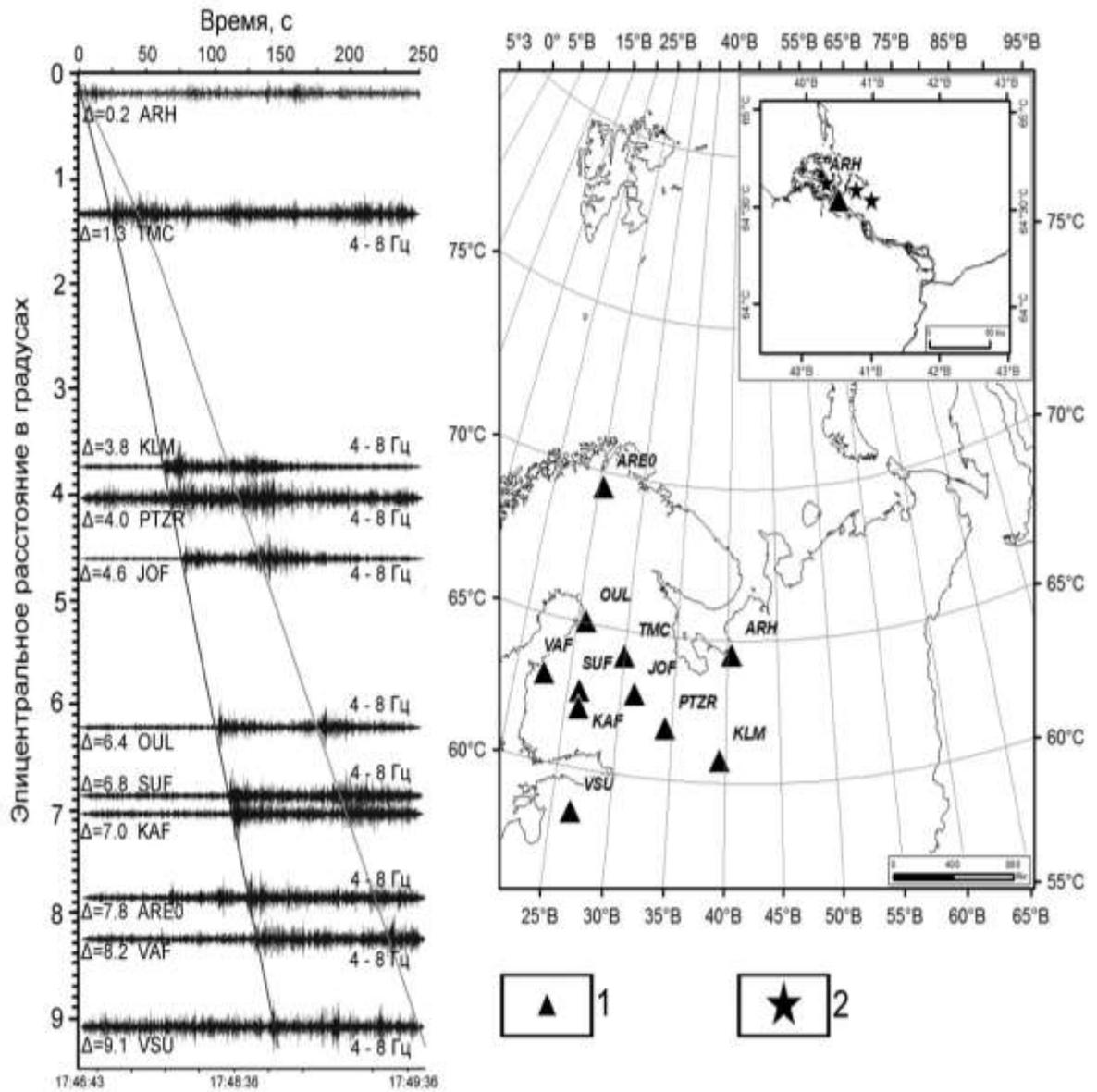


Рис. 4.5. Волновые формы (слева) и карта сейсмических станций (1), записавших землетрясение 22.10.2005 г. (справа); 2 – эпицентры по табл. 4.3

Были получены несколько вариантов гипоцентров (табл. 12), из которых был выбран наиболее предпочтительный (№4), содержащий минимальные временные невязки. Временные невязки определялись путем сравнения экспериментальных времен прихода Р-волн с теоретическими временами по решению прямой кинематической задачи.

Таблица 12

Параметры гипоцентра землетрясения 22.10.2005 г. и способы их расчета

№ п/п	Дата	Время в очаге	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\lambda, ^\circ$ в. д.	h, км	Способ обработки
1	22.10.2005	17:46:44.00	64.69	40.50	5f	Программа WSG, модель NORP, точка поставлена методом засечек, время в очаге по графику Вадати
2	22.10.2005	17:46:44.00	64.69	40.90	5f	Программа WSG, модель Varents, точка поставлена методом засечек, время в очаге по графику Вадати
3	22.10.2005	17:46:43.00	64.59	40.88	17	Программа WSG, модель NORP точка поставлена методом полного перебора по P и S фазам
4	22.10.2005	17:46:44.16	64.55	41.00	3	Программа WSG, модель Varents, точка поставлена методом полного перебора по P и S фазам
5	22.10.2005	17:46:43.86	64.62	40.26	19	Программа Нуро2014, модель Varents
6	22.10.2005	18:46:43.86	64.66	42.66	0	Программа Нуро2014, под каждой станцией собственная скоростная модель

В 2005 году сотрудниками лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН была сделана попытка изучения возможного макросейсмического эффекта от землетрясения. Для этого в ближайших к эпицентру населенных пунктах от координат эпицентра, полученных в ГС РАН, был проведен опрос местного населения. Однако каких-либо сведений о макросейсмических эффектах, а именно воздействия на людей, здания, предметы и представителей фауны, получено не было. Все это позволяет считать произошедшее землетрясение не ощутимым на поверхности и дает основание для присвоения землетрясению значения интенсивности 1 балл по шкале MSK-64. Таким образом, выбран вариант расчета параметров очага землетрясения 22.10.2005 года, которые представлены в табл. 13.

Таблица 13

Параметры гипоцентра землетрясения 22.10.2005 г.

Дата	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\lambda, ^\circ$ в. д.	h, км	Время в очаге	Магнитуда ML	Интенсивность, балл (MSK-64)
22.10.2005	64.55	41.00	3	17:46:44.16	2.9	1

Низкие значения отношения сигнал/шум на записи сейсмической станции KLM не позволяют получить достоверный результат по большинству критериев идентификации природы события: вычислению средних значений амплитуд волн P и S, характеру изменения спектра и сравнению обобщенных огибающих. Поэтому

при обосновании тектонической природы землетрясения 22.10.2005 года мы исходили из следующих соображений:

– в районе эпицентра отсутствуют функционирующие промышленные карьеры. Ближайшие карьеры располагаются на расстоянии более 100 км. За весь период работы Архангельской сейсмической сети (11 лет) из этого района больше не регистрировались сейсмические события.

– вычисленное значение магнитуды землетрясения равное 2.9 превышает значения M_L для взрывов из карьеров Архангельской области. Большая часть промышленных взрывов (в карьерах) имеет магнитуды меньше 2.5.

– факт регистрации землетрясения 22.10.2005 года удаленными сейсмическими станциями, такими как VSU (1020 км) и VAF (920 км), что является редкостью для взрывов аналогичной магнитуды.

Таким образом, на основе анализа исходных данных большого количества станций проведено уточнение параметров очага для землетрясения 22.10.2005 года. Эпицентр располагается в 20 км восточнее от г. Архангельска в слабозаселенном районе.

4.2.2. Землетрясение 28.03.2013 г. с $M_L=3.4$

Еще одно тектоническое землетрясение на севере Русской плиты было зарегистрировано 28 марта 2013 года в 07:02 (время по Гринвичу). Оно было записано большим количеством станций разных сейсмологических Центров. Параметры очага, вычисленные в Центрах, представлены в табл. 14.

Определение основных параметров очага землетрясения проводилось с привлечением данных 14 сейсмических станций (рис. 4.6). Диапазон значений эпицентральных расстояний составляет от 85 до 1800 км, а азимутальный створ от 45 до 342 градусов. При такой конфигурации сейсмических станций, согласно работе (*Bondár et al, 2004*), значение ошибки в определении эпицентра не превышает 10 км.

Параметры гипоцентра землетрясения 28.03.2013 г. по данным различных сейсмологических Центров

Сейсмологический Центр	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\lambda, ^\circ$ в. д.	h, км	Время в очаге	ML	Источник
ГС РАН, г. Обнинск	64.00	41.71	5	07:02:14.9	–	<i>(Устное сообщение к.ф.-м.н. И.П. Габсатаровой)</i>
NORSAR, Норвегия	64.18	40.67	-	07:02:18.4	3.1	<i>(NORSAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)</i>
Институт сейсмологии (Финляндия, Хельсинки)	64.10	40.94	15	07:02:18.2	2.8	<i>(Institute of Seismology. University of Helsinki)</i>
International Data Centre, СТВТО (IDC), Вена, Австрия	64.01	41.18	-	07:02:16.4	2.9	<i>(ISC Bulletin: event catalogue search)</i>

По аналогии с предыдущим землетрясением обработка проводилась с применением разного программного обеспечения, скоростных моделей и методических подходов, указанных выше. Были получены несколько вариантов гипоцентров (табл. 15), из которых был выбран наиболее предпочтительный (№4), содержащий минимальные временные невязки и ошибки.

В пользу тектонической природы события свидетельствуют следующие критерии: отсутствие карьера в районе, куда попадает эпицентр события; высокое значение магнитуды $ML=3.1$; отношение средних амплитуд волн P и S для анализируемого сейсмического события не попадает в диапазон возможных значений для промышленных взрывов. Более подробно анализ природы землетрясения рассматривается в работе *(Морозов и др., 2012)*. По всей совокупности критериев природа землетрясения определялась, как преимущественно тектоническая.

В программе FA2011 *(Иванова и др., 2011)* был рассчитан механизм очага землетрясения по знакам первых вступлений продольных волн. Параметры первых вступлений были определены по 15 станциям, из них на 11 зарегистрированы волны сжатия, на 4 – волны разрежения (часть вступлений была определена к.ф.-м.н. И.П. Габсатаровой по данным сейсмических станций сети 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.

Таблица 15

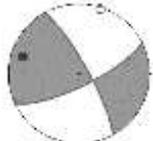
Параметры гипоцентра землетрясения 28.03.2013 г.

№ п/п	Дата	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\lambda, ^\circ$ в. д.	h, км	Время в очаге	Способ обработки
1	28.03.2013	63.99	41.20	15f	07:02:16.0	Программа WSG, модель NORP, точка поставлена методом засечек, время в очаге по графику Вадати
2	28.03.2013	63.95	41.46	30f	07:02:16.0	Программа WSG, модель NORP, точка поставлена методом засечек, время в очаге по графику Вадати
3	28.03.2013	63.91	41.44	5f	07:02:16.0	Программа WSG, модель Varents, точка поставлена методом засечек, время в очаге по графику Вадати
4	28.03.2013	63.91	41.44	15f	07:02:16.0	Программа WSG, модель Varents, точка поставлена методом засечек, время в очаге по графику Вадати
5	28.03.2013	63.97	41.46	30f	07:02:16.0	Программа WSG, модель Varents, точка поставлена методом засечек
6	28.03.2013	64.03	41.81	60	07:02:14.9	Программа WSG, модель NORP точка поставлена методом полного перебора по P и S фазам
7	28.03.2013	63.98	41.76	21	07:02:15.6	Программа WSG, модель Varents, точка поставлена методом полного перебора по P и S фазам
8	28.03.2013	64.10	39.03	31	07:02:16.0	Программа Нуро2014, модель Varents
9	28.03.2013	64.32	39.79	96	07:02:16.0	Программа Нуро2014, под каждой станцией собственная скоростная модель

Вычисленные итоговые параметры очага представлены в таблице 16.

Таблица 16

Параметры гипоцентра землетрясения 28.03.2013 г.

Дата	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\lambda, ^\circ$ в. д.	h, км	Время в очаге	Магнитуда ML	Интенсивность, балл (MSK-64)	Фокальный механизм (Double Couple)
28.03.2013	63.91	41.44	15f	07:02:16.00	3.4	1	

Таким образом, на основе анализа исходных данных большого количества станций проведено уточнение параметров очага для землетрясения 28.03.2013 года по сравнению с предварительными параметрами очага, полученными ранее в

работе (Ваганова, Морозов, 2013). Эпицентр располагается в 85 км южнее г. Архангельска, чуть западнее реки Северная Двина (рис. 4.6).

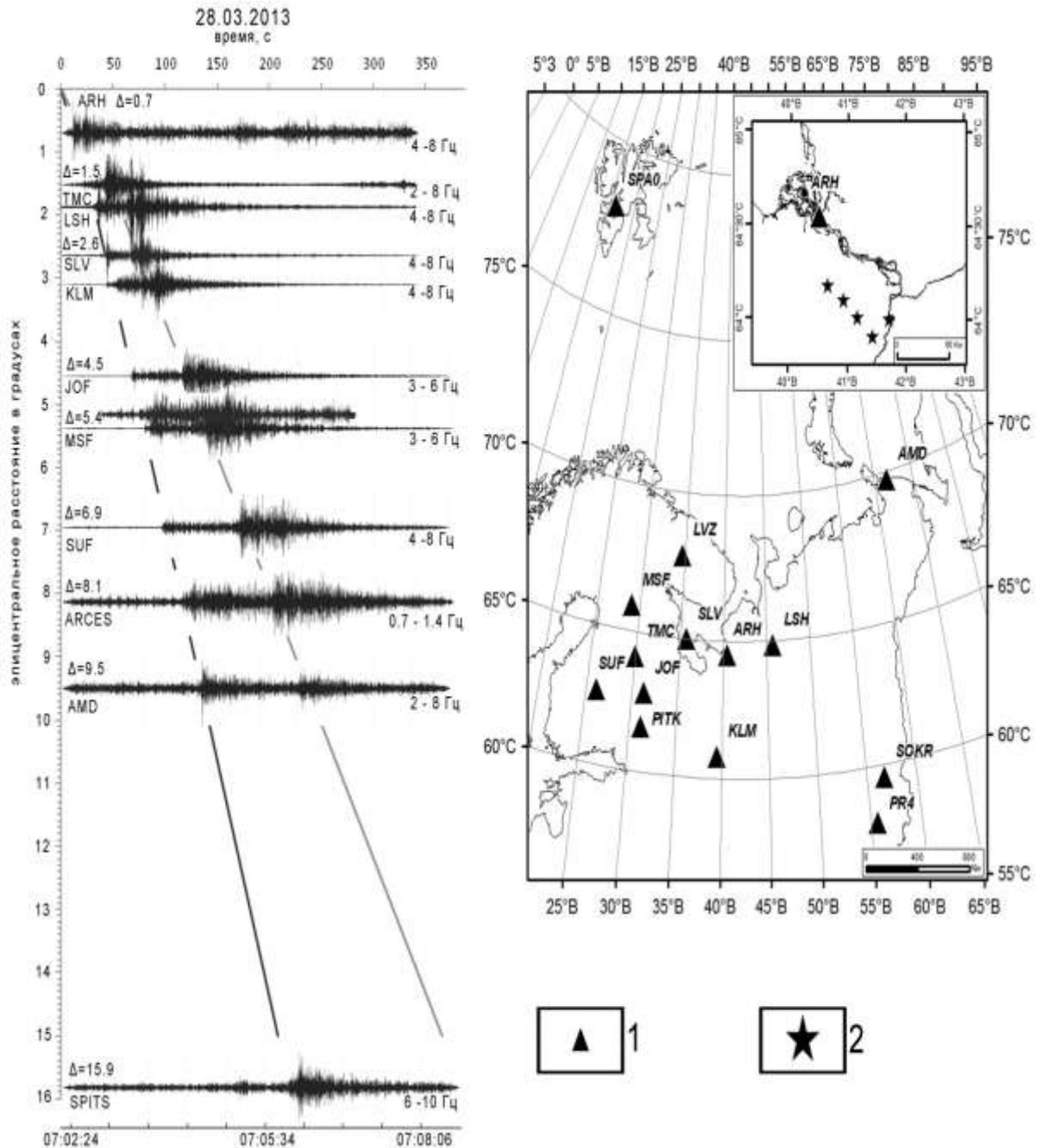


Рис. 4.6. Волновые формы (слева) и карта сейсмических станций, зарегистрировавших землетрясение 28.03.2013 г. (справа):
1 – сейсмические станции; 2 – эпицентры землетрясений, согласно табл. 4.6

4.2.3. Сопоставление эпицентров с тектоническими данными

Факт возникновения землетрясения 2005 года, если его рассматривать совместно со сведениями о землетрясениях 1847 и 1935 гг., а также с

землетрясениями 1970 и 1975 годов, говорит о потенциальной активности Беломорско-Двинского района севера Русской плиты.

Эпицентры можно соотнести с системой крупных разломов, разграничивающих Архангельский выступ и Керецко-Пинежский рифт на северо-востоке и Онежско-Кандалакшский палеорифт на юго-западе (рис. 4.7).

Эпицентр землетрясения 2013 г. приурочен к разлому, ограничивающему Архангельский выступ и Онежско-Кандалакшский палеорифт. Примечательно, что активность этого разлома была показана ранее в работе (*Юдахин, Капустян, Шахова, 2008*) на основе регистрации эндогенного излучения. Вычисленный фокальный механизм очага землетрясения полностью соответствует выводам работы Л.А. Сим (*Сим, Жиров, Маринин, 2011*) о характерном для севера Русской плиты региональном субмеридиональном сжатии и субширотном растяжении в горизонтальной плоскости. Меридиональное сжатие, как уже отмечалось, вызвано влиянием рифтогенеза в Атлантическом и Арктическом бассейнах (рис. 4.7).

Землетрясения 2005 и 2013 гг. можно рассматривать как подтверждение активности разломов СЗ-ЮВ простирания, подвижки по которым и породили их очаги в земной коре. В совокупности знаний об исторической сейсмичности, инструментально наблюдаемые тектонические землетрясения и анализ потока микрособытий в микросейсмическом фоне (*Юдахин, Капустян, Шахова, 2008*) свидетельствует о том, что север Русской плиты у южного побережья Белого моря обладает высоким сейсмическим потенциалом при редкой повторяемости крупных событий.

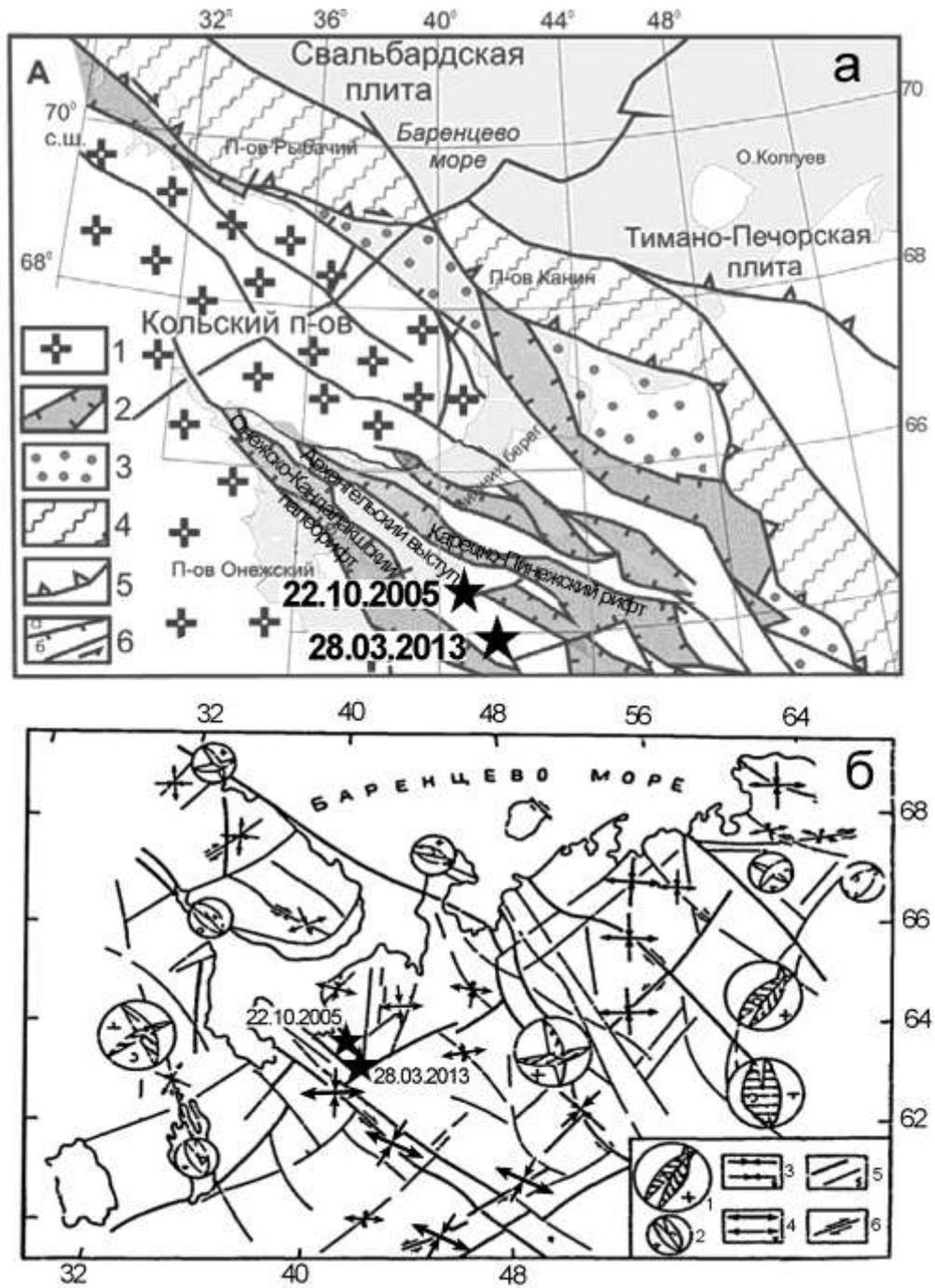


Рис. 4.7. Тектоника палеорифтовой системы Белого моря (Балуев, Пржиялговский, Терехов, 2009) (вверху) и Карта неотектонических напряжений европейского севера России (Сим, Жиров, Маринин, 2011) (внизу) с обозначением эпицентров землетрясений (звездочка) 22.10.2005 и 28.03.2013 гг.

- а: 1 – Балтийский щит; 2 – рифейские палеорифты; 3 – Притиманский прогиб; 4 – Тимано-Варангельский пояс байкалитид; 5 – конвергентный шов; 6 – сбросы (а) и сдвиги (б)
- б: 1, 2 — тектонические напряжения первого (1) и второго (2) порядка, восстановленные кинематическим методом по зеркалам скольжения (стереографические проекции, верхняя полусфера, оси сжатия показаны крестиками, оси растяжения — кружками; стрелки на плоскостях максимальных касательных напряжений указывают перемещение висячего крыла); 3, 4 — субгоризонтальные оси сжатия (3) и растяжения (4) первого (а) и второго (б) ранга, восстановленные методом вторичных нарушений; 5 — неотектонические разломы первого (а) и второго (б) ранга; 6 — прогнозируемые сдвиговые смещения

4.3. Анализ землетрясений в районе Полярного Урала 24.12.2012 г. и 28.01.2014 г.

Территория севера Урала не является асейсмичной (*Удоротин и др., 2008*), и землетрясения, произошедшие в 2012 и 2014 гг., не являются уникальными. На рис. 4.8 показаны эпицентры землетрясений из рассматриваемого региона, произошедшие в XX и начале XXI в. по данным международной сейсмологической службы IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)*). Их параметры приведены в табл. 17. До недавнего времени определение эпицентров событий, и тем более глубины очагов, затруднялось отсутствием близкорасположенных сейсмических станций.

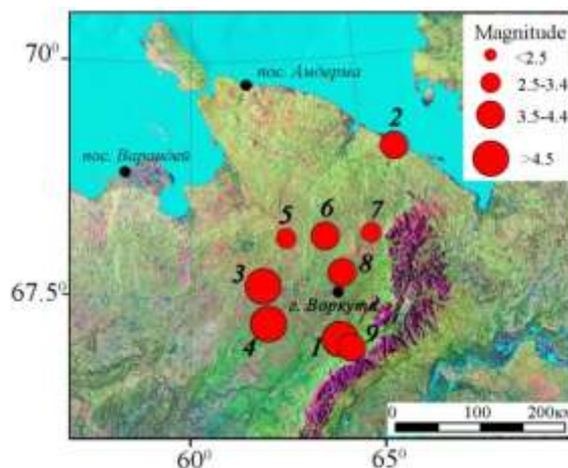


Рис. 4.8. Инструментально зарегистрированные землетрясения на Полярном Урале и прилегающих территориях за период с 1966–2013 гг. Цифры соответствуют № в табл. 17

Таблица 17

Список землетрясений, произошедших в районе Полярного Урала по данным IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)*).

№ на рис. 4.8	Дата	Время в очаге	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\lambda, ^\circ$ в. д.	h, км	Магнитуда
1	30.11.1966	17:28:04.0	67.0	64.0	33	NULL=4.6
2	17.05.1970	12:20:30.0	69.0	66.0	0	MB=3.7
3	02.07.1971	17:00:01.9	67.6	62.0	0	MB=4.7
4	29.08.1974	14:59:58.9	67.2	62.1	0	MB=5.0
5	12.01.1997	09:37:16.8	68.1	62.7	0	MB=3.4
6	14.07.1998	22:05:44.1	68.1	63.8	0	ML=3.8
7	03.08.2004	15:33:38.7	68.1	65.1	0	MB=3.4
8	23.05.2005	19:17:12.6	67.7	64.2	10	MB=3.6
9	24.12.2012	06:22:36.3	66.9	64.3	10	MB=4.2

4.3.1. Землетрясение 24.12.2012 г. с $M_L=3.8$

24 декабря 2012 года в 06:22 (по Гринвичу) на территории Республики Коми произошло сейсмическое событие в 100 км южнее г. Воркута. Параметры гипоцентра этого события были определены в Информационно-обрабатывающем центре Геофизической службы РАН по данным 15 станций, входящих в Службу Срочных донесений (ССД ГС РАН) и расположенных на расстояниях от 9 до 32 градусов.

Магнитуда события около 4.0, для данного района оно достаточно сильное и было зарегистрировано станциями Архангельской сети AMD, LSH, PRG, KLM, ZFI2, Института геологии Коми НЦ УрО РАН, Уральского сектора ГС РАН, Кольского филиала ГС РАН и др.

Самая ближайшая станция AMD входит в Архангельскую сеть и находится на расстоянии около 380 км от эпицентра. Примеры записей приведены на рис. 4.9.

В Архангельском Информационно-обрабатывающем центре была проведена собственная обработка с включением в анализ 8 наиболее близких станций, с применением разного программного обеспечения, скоростных моделей и методических подходов. В качестве основных программных средств обработки использовались программный комплекс WSG и HYPO71. Применялись скоростные модели IASPEI91, Varents, NORP (региональный годограф Севера Русской плиты).

Локация эпицентра осуществлялась методами засечек и минимизации невязок; время в очаге – по графику Вадати. В результате предварительной обработки были получены несколько вариантов гипоцентров, разброс в параметрах которых составлял по широте 0.28° , по долготе 2.49° , по глубине 2.5 км, по времени в очаге около 6 сек. Далее, из полученного набора параметров выбирался вариант, содержащий минимальные временные невязки и ошибки. Временные невязки определялись путем сравнения экспериментальных времен прихода Р-волн с теоретическими по решению прямой кинематической задачи. Таким образом, как наиболее предпочтительные были принят вариант: $\varphi=66.68^\circ$ с.ш., $\lambda=64.15^\circ$ в.д., $h=10.0$ км, $t_0=06:22:39.05$, $M_L=3.8$.

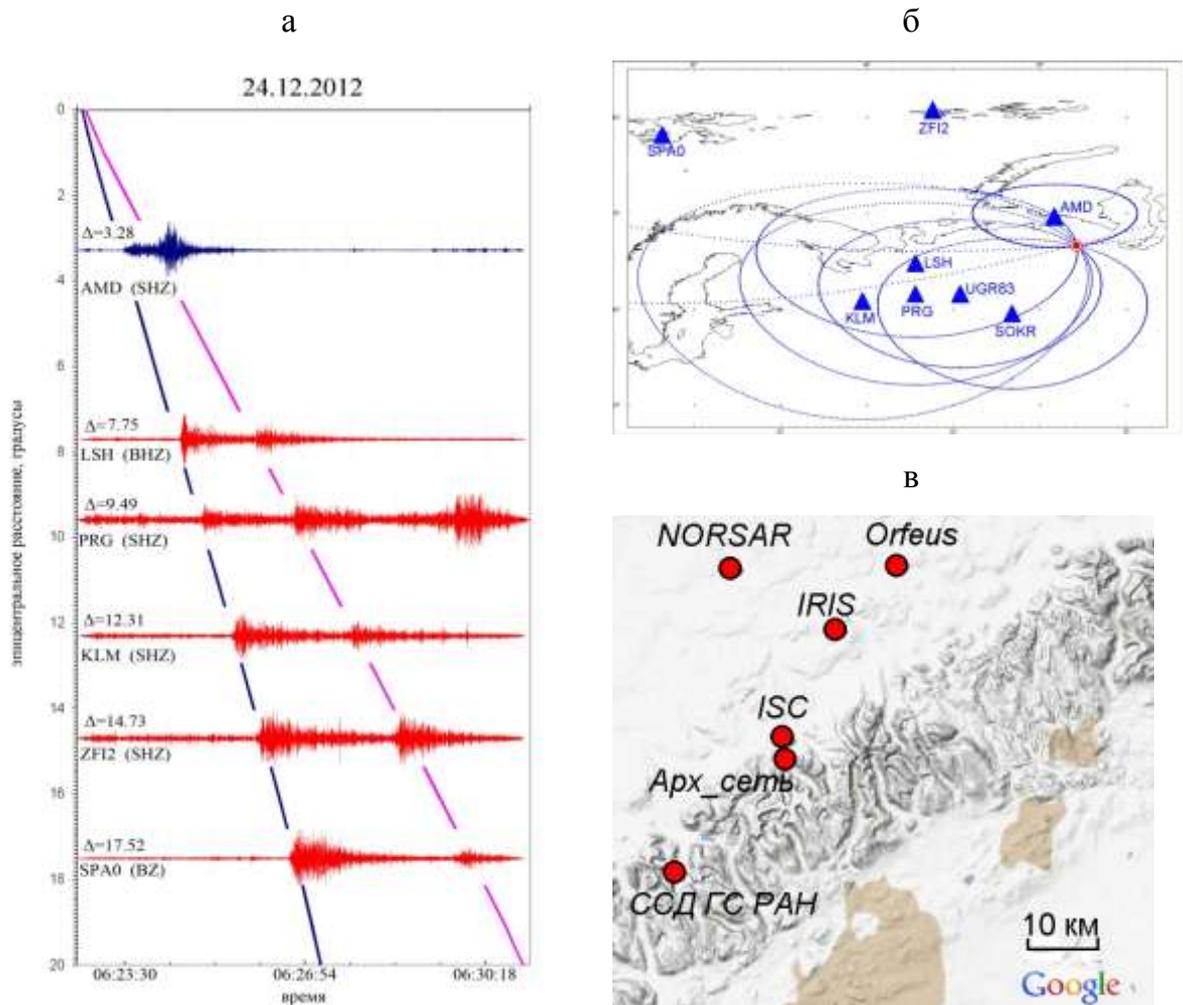


Рис. 4.9. Землетрясение, произошедшее в районе Полярного Урала 24.12.2012 г: а – волновые формы; б – локация эпицентра землетрясения методом засечек; в – положение эпицентра по данным различных сейсмологических центров

Информация о произошедшем событии имела также в каталогах различных сейсмологических центров и представлена ниже в табл. 18.

Таблица 18

Эпицентры землетрясения 24.12.2012 г. по данным различных сейсмологических центров

Сейсмологический Центр	Время в очаге	$\varphi, ^\circ$ с. ш.	$\lambda, ^\circ$ в. д.	h, км	Магнитуда
ССД ГС РАН (www.ceme.gsras.ru)	06:22:39.9	66.55	63.70	20.0	mb=4.0
NORSAR (www.norsardata.no)	06:22:39.1	66.94	63.95	–	ML=4.5
ORFEUS (http://www.seismicportal.eu/)	06:22:34.0	66.94	64.49	2.0	mb =3.9
ISC (www.isc.ac.uk)	06:22:37.3	66.72	64.12	10.0	mb =4.0
Архангельская сеть	06:22:39.1	66.68	64.15	10.0	ML =3.8

Сопоставление данных, приведенных в табл. 4.9, свидетельствует о разбросе результатов локации гипоцентра, в особенности, по долготе и времени в очаге. Факторами, повлиявшими на точность определения параметров, являются: количество вовлеченных в обработку станций, качество записей; несовершенство применяемых скоростных моделей; отсутствие в региональных годографах Varents и NORP разделения фаз, например, на P_g и P_n (имеется только P). Расстояние между вычисленными эпицентрами составляет от 10 до 60 км (см. рис. 4.9в). Механизм очага данного сейсмического события определить не удалось, так как не представлялось возможным снять направления первого движения из-за удаленности станций и недостаточного азимутального окружения. По результатам проведенного исследования (по той же совокупности критериев, что и для землетрясений Архангельской области, см. п. 4.2) (*Конечная и др., 2013*) с большой долей вероятности можно говорить о тектонической природе сейсмического события, зарегистрированного в 24.12.2012 года, и рассматривать его как природное землетрясение.

В геолого-тектоническом отношении эпицентр землетрясения приурочен к зоне Главного Уральского разлома на пересечении предполагаемых структурных зон уралид и тиманид (*Пучков, 2010*). На рассматриваемой площади ведущую роль занимают покровно-надвиговые структуры, по ослабленным границам которых, возможно, и происходит разрядка напряжений. Это, может быть, обусловлено новейшими движениями территории Полярного Урала, испытавшей крупные эпейрогенетические поднятия (1000–1800 м) начиная со среднего олигоцена (*Белякова и др., 2008*). Л.А.Сим установлено, что формирование новейших структур Полярного Урала происходит в поле напряжений с субмеридиональным сжатием и субширотным растяжением (*Сим, Чекмарев, 2006*).

4.3.2. Землетрясение 28.01.2014 г. с ML=3.1

В январе 2014 г. на Северном Урале произошло еще одно событий тектонической природы. Несмотря на то, что обработка землетрясения проводилась лишь в рамках регионального мониторинга, его появление остается важным для понимания современных процессов, происходящих на Урале.

Волновые формы, полученные с сейсмических станций АСС, а также станций республики Коми и сейсмической сети Урала, показаны на рис. 4.10.

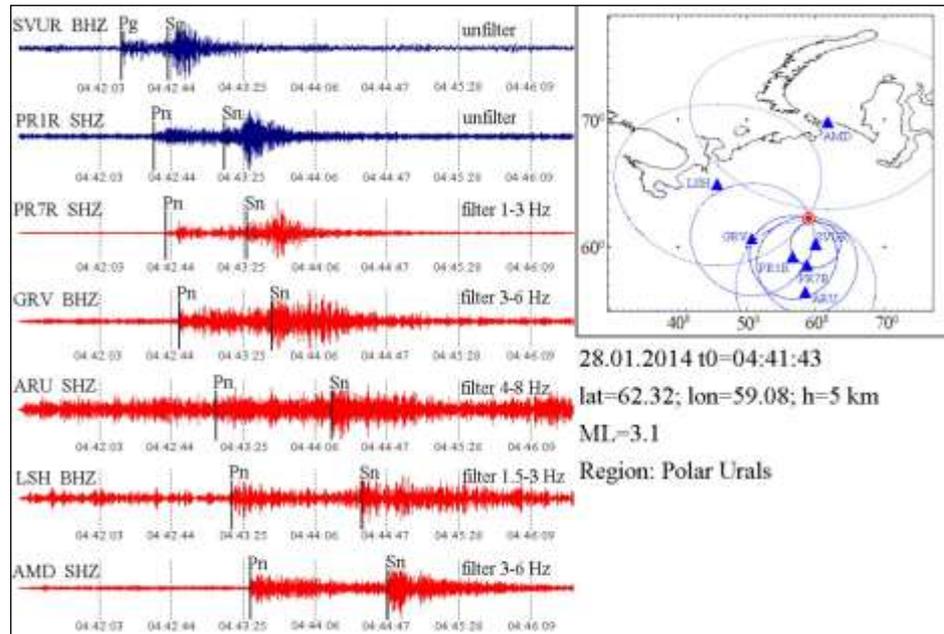


Рис. 4.10. Фрагменты записи и обработки землетрясения 28.01.2014 г.

Стоит отметить, что данное событие не отмечено ни в одном международном или региональном сейсмическом каталоге. Однако наиболее полный анализ и более тщательную обработку провели сотрудники Института геологии Коми НЦ УрО РАН (Носкова, Пономарева, 2014). Параметры очага землетрясения, по данным разных сейсмологических центров представлены в табл. 19. В обоих случаях обработка проводилась с применением годографа IASPEI и по данным одних и тех же станций. Разница в координатах эпицентров составляет порядка 30 км, что является хорошим результатом при локации землетрясения.

Таблица 19

Эпицентры землетрясения 28.01.2014 г. по данным различных сейсмологических центров

Сейсмологический Центр	Время в очаге	Широта, град	Долгота, град	Глубина, км	Магнитуда
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН (Носкова, Пономарева, 2014)	04:41:39.0	62.47	59.63	19.0	ML=3.4
Архангельская сеть	04:41:43.0	62.32	59.08	5.0f	ML=3.1

В работе (Носкова, Пономарева, 2014) проведено сопоставление произошедшего события с геологическими данными. В тектоническом отношении землетрясение 28 января 2014 г. приурочено к Тагило-Магнитогорской

палеозойской мегазоне. С запада мегазону отделяет от Центрально-Уральской мегазоны структура Главного Уральского разлома (ГУР). Зона ГУР в Тагильском сегменте Тагило-Магнитогорской мегазоны осложнена сбросами. Разлом трассируется узкими лентовидными телами серпентинитовых тектинитов офиолитового Саламатинского аллохтона. Там же (Носкова, Пономарева, 2014) отмечается, что оба эпицентра (24.12.2012 г. и 28.01.2014 г.) расположены вблизи Войкаро-Сынинского офиолитового комплекса.

4.4. Землетрясение на Новой Земле 04.03.2014 г. с $M_L=3.2$

За весь период инструментальных сейсмологических наблюдений каталог ISC содержит информацию о 59 сейсмических событиях из этого района (*International Seismological Centre*). Большинство их них – ядерные взрывы, проводимые на полигонах Новой Земли в советское время. Воздушные ядерные испытания были прекращены на архипелаге в 1963 году, последние подземные ядерные взрывы проведены 24 октября 1990 г. (*Прекращение ядерных испытаний*). Проанализировав имеющуюся информацию о взрывах в районе Новой Земли (*Ringdal, 1997; Worldwide Nuclear Explosions*), из каталога ISC были выбраны данные о сейсмических событиях, не подтвержденных как взрывы и имеющих, вероятно, естественную природу (рис. 4.11 и табл. 20). Все они датируются позже 1990 г., за исключением события №1 (табл. 20).

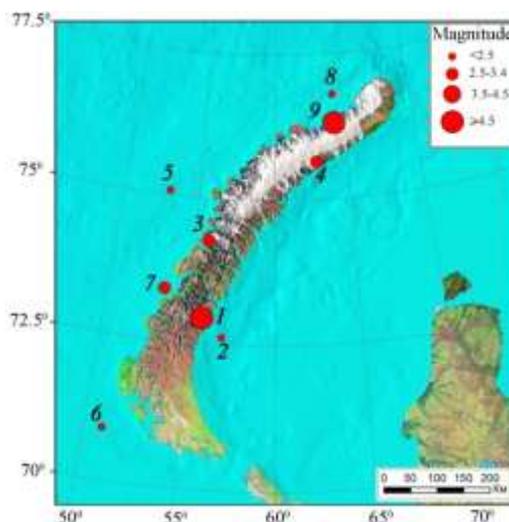


Рис. 4.11. Карта эпицентров сейсмических событий в районе арх. Новая Земля за период с 1966–2013 гг. (цифровые обозначения соответствуют № в таблице 20)

Список сейсмических событий, зарегистрированных в районе Новой Земли за период с 1986 по 2010 гг.

№ на рис.1	Дата	Время в очаге	$\varphi, ^\circ$	$\lambda, ^\circ$	h, км	Магнитуда	Источник
1	01.08.1986	13:56:37.07	72.9	55.8	10	mb=4.8	(ISC Bulletin: bulletin search)
2	16.08.1997	02:10:59.18	72.6	56.9	10	ML=2.5	(ISC Bulletin: bulletin search)
3	23.02.2002	01:21:12.17	74.3	55.8	10	mb=3.0	(ISC Bulletin: bulletin search; NOR SAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)
4	08.10.2003	23:07:19.70	75.6	62.9	-	ML=2.6	ISC Bulletin: bulletin search; NOR SAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)
5	14.03.2006	20:57:02.40	75.1	53.1	-	ML=2.2	ISC Bulletin: bulletin search; NOR SAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)
6	30.03.2006	10:46:02.43	70.9	51.0	0	ML=2.3	ISC Bulletin: bulletin search; NOR SAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)
7	26.06.2007	03:19:19.40	73.4	53.4	-	ML=2.8	ISC Bulletin: bulletin search; NOR SAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)
8	05.03.2006	23:17:35.73	76.8	64.3	-	ML=2.5	ISC Bulletin: bulletin search; NOR SAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)
9	11.10.2010	22:48:28.82	76.3	64.3	19.4	mb=4.7	ISC Bulletin: bulletin search; NOR SAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)

Сейсмические события, произошедшие в районе арх. Новая Земля, привлекают специалистов со всего мира с целью определения их природы. Например, события №1 и №2 из табл. 20 классифицируются как землетрясения (Ringdal, 1997; Bowers, 2002). Эпицентры сейсмических событий (см. рис. 4.11) лоцируются либо в акваториях Карского и Баренцева морей (№2,5,6,8), либо у береговой линии (№1,3,4,7,9). Природа большинства данных событий до сих пор не ясна.

Событие, произошедшее 11 октября 2010 г. (№9 табл. 20), было зарегистрировано отечественными и зарубежными сейсмологическими центрами, в частности, ССД ГС РАН и норвежским центром NOR SAR, а также некоторыми станциями АСС. По записям станций “Климовская”, “Лешуконское” и “Тамица” в лаборатории сейсмологии ИЭПС УрО РАН удалось оценить положение эпицентра. На рис. 4.12 показаны волновые формы и фрагменты его обработки. С

применением фильтра 1.5–3 Гц на всех станциях фазы выделяются уверенно, зашумленность записей небольшая.

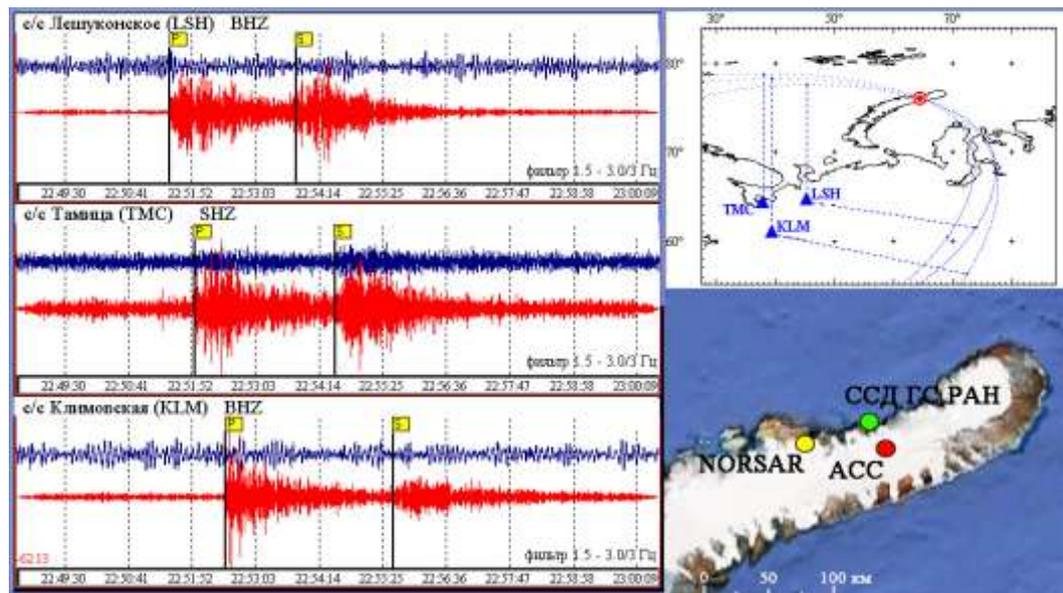


Рис. 4.12. Волновые формы и фрагмент обработки землетрясения на арх. Новая Земля 11.10.2010 г.

Несмотря на малое количество станций АСС, привлеченных в обработку (заполярные станции АСС на тот момент еще не были установлены), применения мирового годографа вместо регионального, разница в локации очага землетрясения незначительна (25 км – между ССД ГС РАН и АСС, 50 км – между NOR SAR и АСС) (таблица 21).

Таблица 21

Основные параметры эпицентра землетрясения на архипелаге Новая Земля 11.10.2010 г. по данным различных сейсмологических центров

Сейсмологический центр	Время в очаге	φ , °	λ , °	h, км	Магнитуда	Источник
ССД ГС РАН	22:48:23.7	76.4	64.1	5	mb=4.6	(Последние землетрясения по данным ССД)
NORSAR	22:48:31.0	76.1	62.4	-	ML=4.5	(NORSAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)
Архангельская сейсмическая сеть	22:48:19.8	76.2	64.6	-	-	(Архангельский сейсмологический стационар-обсерватория)
Кольский филиал ГС РАН	22:48:28.8	76.2	63.9	0	ML=4.0	(Виноградов и др., 2011)

Природа данного события, вероятнее всего, тектоническая. По имеющимся данным в районе эпицентра события не существует действующих добывающих предприятий, полигонов и других промышленных объектов. Проверить событие по критериям разделения взрывов и землетрясений (*Морозов, 2008*) в данном случае не представляется возможным, поскольку оно удалено от имеющихся сейсмических станций на значительное расстояние. Однако существует и другое мнение относительно его природы. В работе (*Виноградов и др., 2011*) авторы обосновывают происхождение события образованием айсберга (т.н. “льдотрясение”). Тем не менее, остается очевидным природное происхождение данного сейсмического события.

4 марта 2014 г. в районе арх. Новая Земля произошло еще одно сейсмическое событие с магнитудой $M_L=3.2$, которое выделено сотрудниками АСС на сейсмических записях. На рис. 4.13 приведены волновые формы и фрагмент его обработки. Событие хорошо выделяется на записях станций, расположенных на островных территориях (арх. Шпицберген и арх. Земля Франца-Иосифа), и практически не зарегистрировано континентальными станциями, за исключением северной норвежской сейсмической группы ARCESS (служба NOR SAR), станциями KEV (Финская национальная сейсмическая сеть) и “Амдерма” (АСС). Несмотря на то, что станция “Амдерма” является ближайшей к эпицентру, вступления фаз на ее записях очень слабые, первое вступление практически не выделяется, поэтому данные записи были исключены из обработки ввиду их плохого качества. Итоговая обработка проводилась по записям 5 станций (см. рис. 4.13).

Отметим, что информация об этом событии не отражена в каталогах других сейсмологических центров (например, ГС РАН, International Seismological Centre и Orfeus). Координаты эпицентра, полученные в NOR SAR и в ИЭПС УрО РАН, приведены в табл. 22. Разница в определении эпицентра составляет 15 км, что является хорошей сходимостью при подобном расположении и удаленности станций от очага.

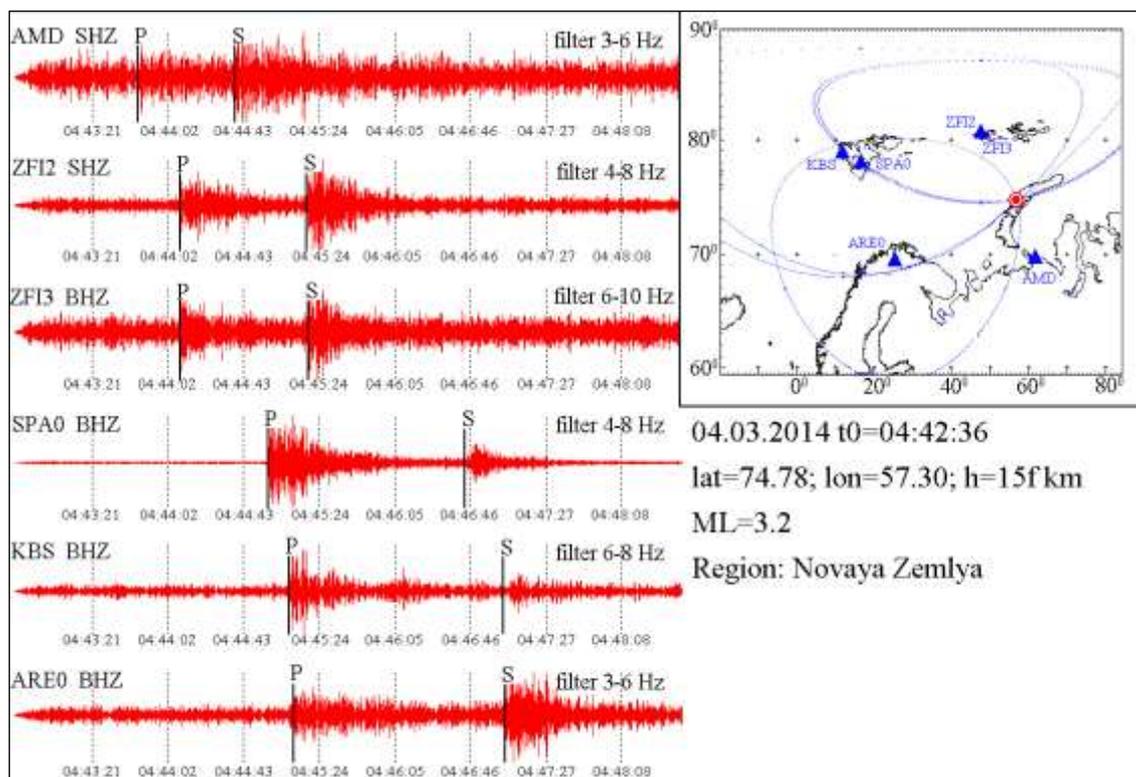


Рис. 4.13. Волновые формы и фрагмент обработки землетрясения на арх. Новая Земля 04.03.2014 г.

Таблица 22

Основные параметры эпицентра землетрясения на арх. Новая Земля 04.03.2014 г. по данным различных сейсмологических центров

Сейсмологический центр	Время в очаге	φ , °	λ °	h, км	Магнитуда	Источник
NORSAR	04:42:32.9	74.50	56.82	0f	ML=3.2	(NORSAR Reviewed Regional Seismic Bulletin)
Архангельская сейсмическая сеть	04:42:36.0	74.78	57.30	15f	ML=3.2	(Архангельский сейсмологический стационар-обсерватория)

В связи с тем, что в районе арх. Новая Земля в последнее время наблюдается слабая сейсмичность, становится очевидным важность установки там стационарной сейсмической станции. Это даст возможность более точно определять положения эпицентров сейсмических событий из данного региона. Кроме того, позволит повысить в целом качество сейсмического мониторинга Западно-Арктического сектора России.

4.5. Сейсмичность северной акватории Баренцева моря в районе желобов Франц-Виктория и Орла

4.5.1. Тектоника и морфологическая характеристика северной части Баренцева моря

Основные данные о тектонике арктического бассейна изложены в работе (Хаин, 2001). Особенности геологического и тектонического строения зоны “континент-океан” Северного Ледовитого океана - в работе (Погребницкий, 1984), а результаты современных исследований по уточнению строения отдельных участков зоны перехода “континент-океан” представлены в работах (Зайончек и др., 2010; Мороз и др., 2010). Эволюция Баренцево-Карского региона рассмотрена в работе (Верба, 2007). Информация о наиболее крупных морфоструктурах шельфа Баренцева моря содержится в работах (Дибнер, 1978; Милановский, 1996).

На основании этих работ Баренцево-Карский регион является северо-западной частью Евразийского шельфа Арктики. Шельф региона относится к пассивным континентальным окраинам атлантического типа. Для них свойственно наличие зрелой материковой коры. В тектоническом отношении регион включает часть Восточно-Европейской платформы, а также фрагменты Свальбардской, Тимано-Печорской, Северо-Карской и Западно-Сибирской плит.

Окраинно-шельфовая провинция Баренцево-Карского региона протягивается вдоль континентального склона Евразийского суббассейна Северного Ледовитого океана и фиксируется сводово-купольными поднятиями архипелагов Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Северная Земля, а также подводным плато о. Ушакова. Они представляют собой активизированные и высоко поднятые в новейшее время (до + 500 - + 1500 м) блоки окраинно-материковой плиты.

Континентальный склон Евразийского суббассейна Северного Ледовитого океана по морфологическим показателям относится к атлантическому типу. Тектонической структуре рассматриваемой переходной зоны “континент-океан”, по Ю.Е. Погребницкому (Погребницкий, 1984), отвечает клиновидный блок земной коры (рис. 4.14) шириной около 150 км, мощностью 28–30 км на краю шельфа и около 10 км на контакте с океанической плитой, ограниченный поверхностями дна

и поверхностью Мохо, генерализованные наклоны которых составляют соответственно, 1.5° и 6° . Согласно региональным гравиметрическим исследованиям, клиновидный блок изостатически уравновешен. Континентальный склон включает в себя краевую бровку шельфа, непосредственно склон и материковое подножие.

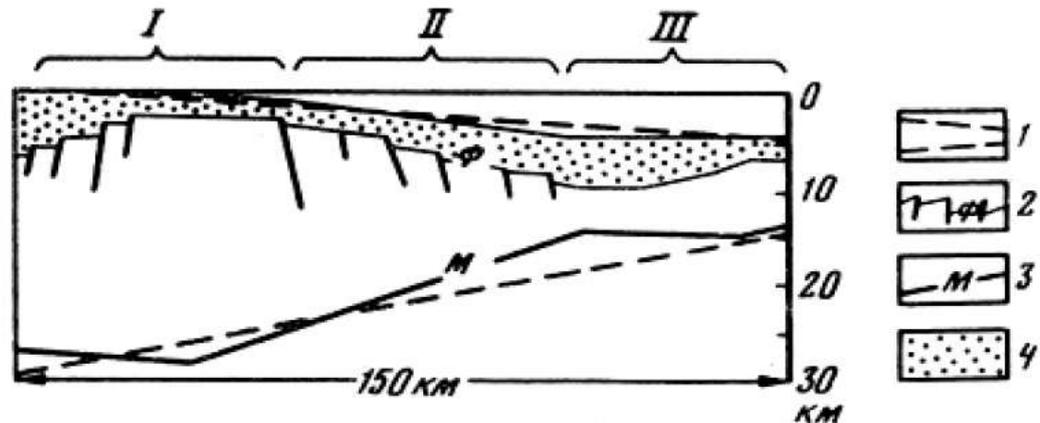


Рис. 4.14. Схематичный разрез земной коры переходной зоны (Погребницкий, 1984)
 I – крайне-шельфовое поднятие; II – флексурно-разломная зона; III – предконтинентальный прогиб; 1 – генерализованные границы блока; 2 – граница фундамента; 3 – граница Моховичича; 4 – осадочный чехол

Особенностью окраинных частей Баренцево и Карского морей является наличие крупных отрицательных морфоструктур, которые в литературе именуются трогами и/или грабенами. На севере - это желоба Орла, Франц-Виктория, Св. Анны, Воронина, Шокальского, Вилькицкого и Комсомольская правда (рис. 4.15). Некоторые из этих желобов далеко впадают в шельф и разветвляются, а на продолжении их выявлены и исследованы более мелкие желоба, по размерам напоминающие речные долины.

В тектоническом отношении они представляют собой грабены, сформированные в результате одновременных тектонических и геоморфологических процессов. В работе (Верба, 2007) детально рассмотрена морфология поверхности дна Баренцева моря, генезис и возраст краешельфовых желобов, обоснована их природа, связываемая с процессами рифтогенеза при зарождении Евразийского суббассейна на стадии “break-up”.

Согласно морфологическому описанию в работе (Мороз и др., 2010), грабен Франц-Виктория находится на северной оконечности шельфа Баренцева моря к западу от архипелага Земля Франца-Иосифа и представляет собой

субмеридиональный прогиб, который пересекает континентальный склон Евразии, и имеет длину порядка 500 км. Его ширина в южной части составляет 40–90 км, а в северной колеблется от 150 до 300 км. Склон восточного борта грабена по большей части прямой, а западный ступенчатый. Глубины в грабене достигают 470 м, в основном доходят до 250–350 м. В геологическом строении грабена Франц-Виктория участвуют нижнемеловые базальтовые и порфиристо-базальтовые породы.

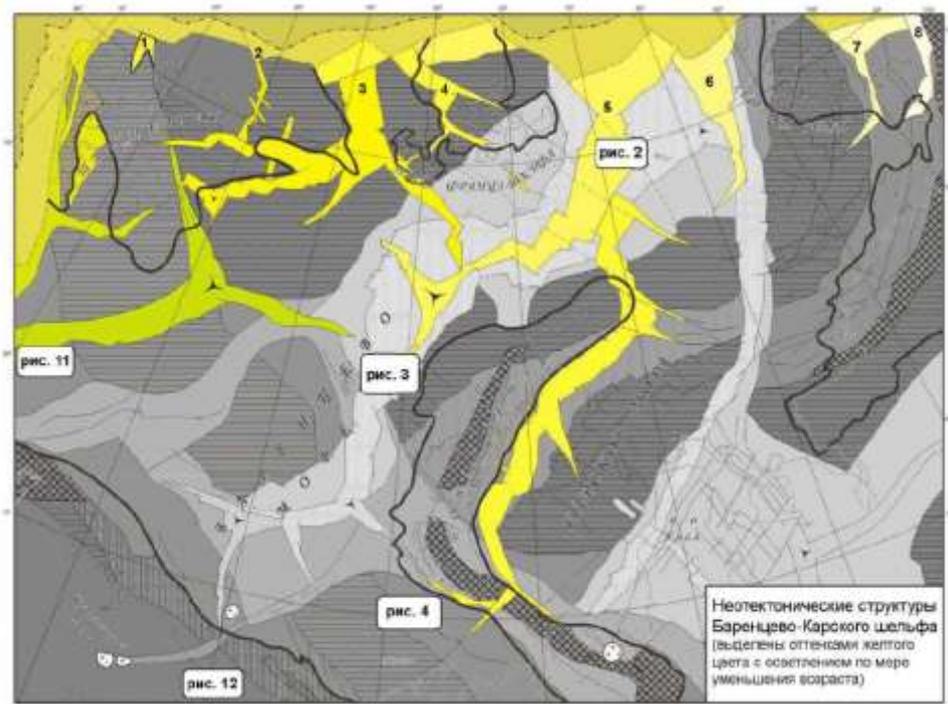


Рис. 4.15. Принципиальная морфоструктурная схема поверхности дна Баренцева моря и местоположения диластиционных морфоструктур (Верба, 2007)
Цифрами обозначены окраинношельфовые желоба (по Дибнеру, 1998): 1 – Литке; 2 – Орла; 3 – Франц-Виктории; 4 – Британского канала; 5 – св. Анны; 6 – Воронина; 7 – Шокальского; 8 – Вилькицкого

Грабен Орли огибает о. Северо-Восточная Земля архипелага Шпицберген и на юге соединяется с грабеном Эрик-Эриксен, а на севере «открывается» в сторону континентального склона. Ширина грабена меняется в пределах от 20 - 25 км на юге до 80 км на севере. Днище грабена имеет разветвленный характер и имеет глубины свыше 400 м. Восточный склон более пологий и имеет крутизну первые градусы. Западный склон обладает несколько большим уклоном (Мороз и др., 2010).

Грабен Св. Анны находится между Баренцевым и Карским морями, юго-восточнее архипелага Земля Франца-Иосифа. Глубина жёлоба достигает 500-600 м на севере, к югу уменьшается до 300–400 м; по мере приближения к архипелагу

Новая Земля рельеф дна выравнивается. Длина грабена около 600 км. На юге жёлоб Святой Анны отделяется порогом Брусилова от Восточно-Новоземельского грабена. Имевшиеся геофизические данные не дают оснований для выделения по бортам желобов разрывных нарушений (*Верба, 2007*).

Представление о сейсмичности зоны перехода “континент-океан” Баренцево-Карского региона ранее было весьма схематично, что обусловлено удаленностью регистрирующих сейсмических станций. В работе (*Аветисов, 1996*) на основе анализа всей доступной информации об арктических землетрясениях указывалось, что континентальный склон отмечен редкими эпицентрами землетрясений, распределенными неравномерно: они образуют отдельные группы, тяготеющие к окраинно-шельфовым желобам и разломам.

На рис. 4.16 зеленым цветом отмечены эпицентры, зарегистрированные мировыми сетями в 2000–2012 гг. (по данным каталога ISC). Всего в каталоге за этот период отмечено 52 землетрясения, произошедшие, в основном, севернее арх. Шпицберген. Все они имеют магнитуды выше 2.0. Восточнее 40° землетрясения в каталоге ISC отсутствуют. Данные Архангельской сейсмической сети (с/с ZFI) расширяют представления о сейсмичности этого района, в частности восточнее 30° долготы (см. рис. 4.16). За период функционирования с/с ZFI (с конца 2011 г.) обработано 66 землетрясений. На карте (см. рис. 4.16) они обозначены красным цветом. Более подробно особенности распределения эпицентров, полученных по данным АСС, рассматриваются в следующем подпункте текущей главы.

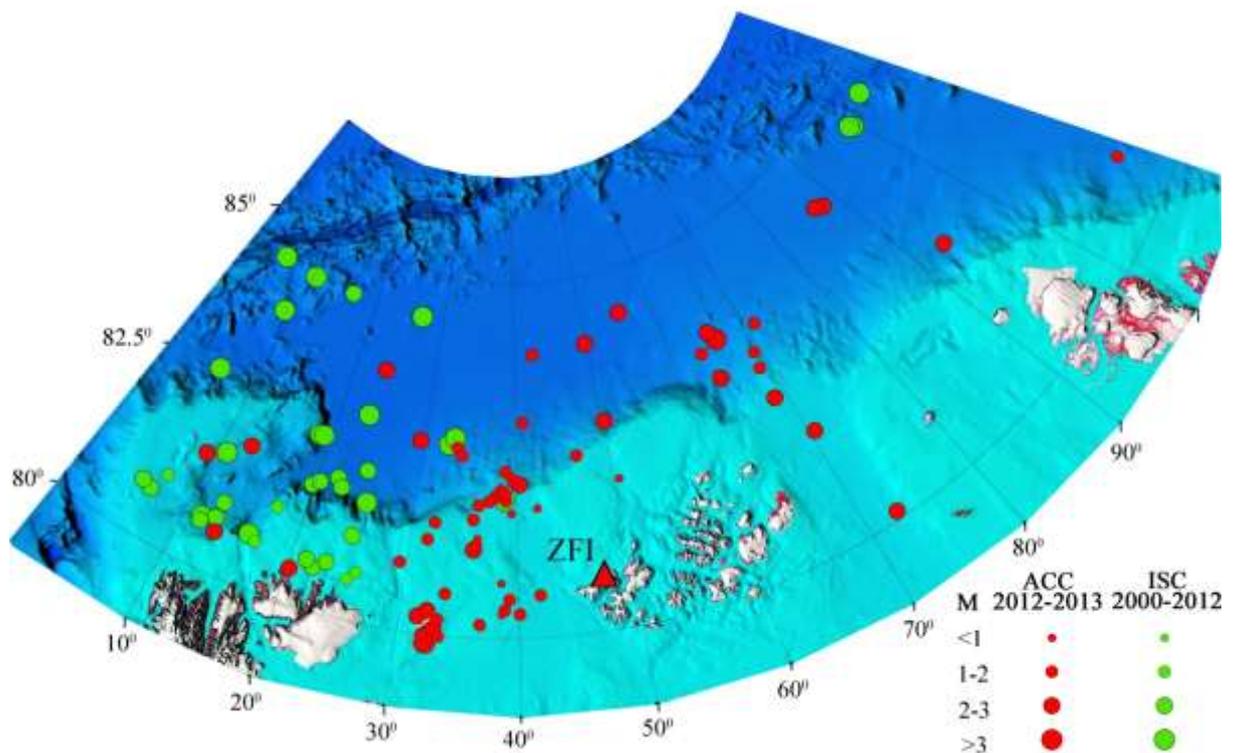


Рис. 4.16. Распределение эпицентров землетрясений зоны перехода “континент-океан” Баренцево-Карского региона по данным ISC (2000–2012 гг.) и ACC (2012–2013 гг.)

4.5.2. Особенности обработки сейсмологических данных и анализ сейсмичности северной части Баренцева моря

Для минимизации ошибки в определении координат эпицентров дополнительно привлекались исходные данные сейсмических станций на архипелаге Шпицберген и севере Скандинавии. Это станция KBS из сети GE (GEOFON – Global Seismic Network), станция HSPB из сети PL (Polish Seismic Network), станции HOPEN и BJO1 из сети NS (*Norwegian National Seismic Network*), станции SPA0 и ARA0, входящие в сейсмические группы, соответственно, SPITS и ARCES (NORSAR), а также станция KEV из сети IU (Global Seismograph Network) (см. рис. 4.16). Доступ к данным осуществлялся с помощью электронного ресурса GEOFON (*GEOFON Program GFZ Potsdam*).

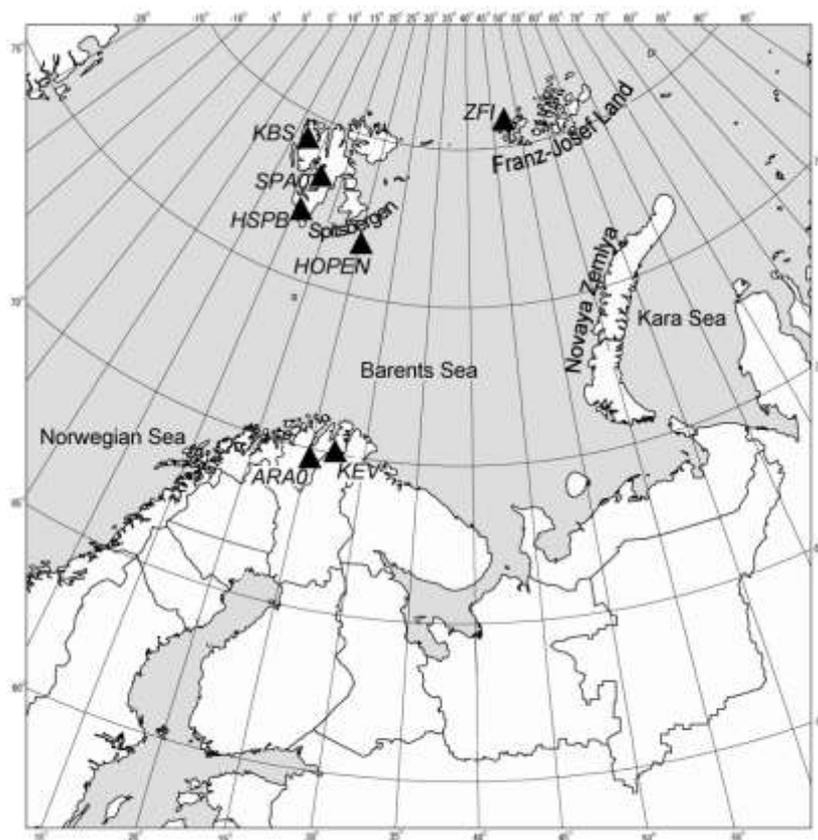


Рис. 4.16. Карта расположения сейсмических станций, участвующих в обработке землетрясений

Важно отметить, что не каждое землетрясение, зарегистрированное станцией ZFI в районе континентального склона, могло быть выявлено на записях других станций даже при использовании процедуры фильтрации. В этом случае использовался метод определения координат эпицентров землетрясений по записям одной станции, реализованный в программе Event Locator (*Kremenetskaya, Asming, 2002*). Суть метода состоит в определении положения эпицентра путем пересечения эпицентральной окружности и линии азимутального направления.

Для минимизации возможной ошибки в определении координат эпицентров анализировались только землетрясения с четкими вступлениями фаз P и S, т.е. с высоким значением “сигнал/шум”. В итоговом сейсмическом каталоге (приложение Б) для 26 из 66 землетрясений значения координат эпицентров определялись в программе Event Locator.

За период с октября 2011 по декабрь 2013 гг. в районе зоны перехода “континент-океан” Баренцево-Карского региона было зарегистрировано 66 землетрясений. Значения магнитуд ML землетрясений варьируются от 0.7 до 3.6.

Для каждого землетрясения были рассчитаны параметры очага (приложение Б). Однако из-за небольших значений магнитуд и удаленностью сейсмических станций вычислить значений глубин не удалось.

Пространственное распределение эпицентров имеет ряд характерных особенностей (рис. 4.17).

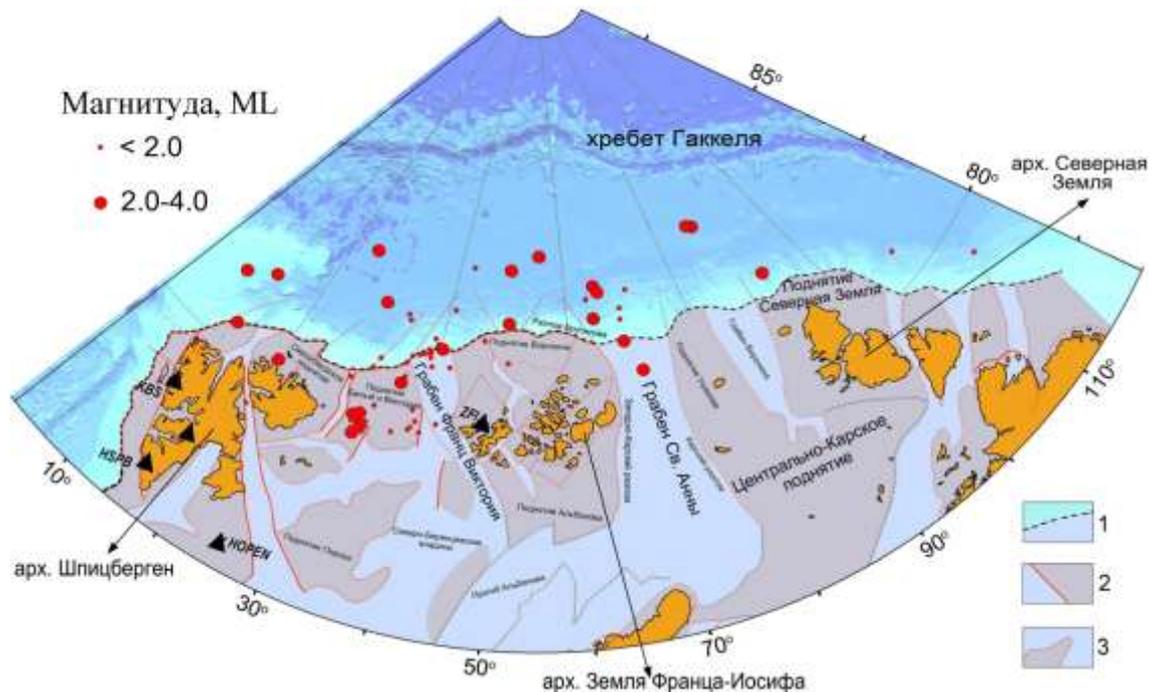


Рис. 4.17. Сопоставление эпицентров землетрясений в районе желобов Франц-Виктория и Орла (октябрь 2011 г. – декабрь 2013 г.), неотектонических структур и активных разломов (*Атлас, 2004*) в совмещении с батиметрическими данными (*NOAA National Geophysical Data Center*):

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

Грабены Франц-Виктория и Св. Анны. Прослеживается четкая приуроченность эпицентров к отрицательным морфоструктурам континентального склона (грабенам). Большая часть зарегистрированных землетрясений приходится на грабены Франц-Виктория и Св. Анны. В районе самих грабенов эпицентры землетрясений также расположены неравномерно.

В районе грабена Франц-Виктория эпицентры землетрясений тяготеют к нескольким его частям. Большинство эпицентров располагаются в устьевой части грабена, непосредственно у континентального склона. Небольшие группы эпицентров располагается на границе грабена с поднятием Белый и Виктория в северной и центральной частях грабена. А также несколько эпицентров слабых землетрясений приурочены к материковому подножию напротив устьевой части.

Эпицентры землетрясений, зарегистрированные в районе грабена Св. Анны, тяготеют к его широкой устьевой части в районе материкового подножия. В этой части грабена 07.04.13 г. произошло землетрясение с магнитудой 3.3, максимальной из рассматриваемой выборки. Два землетрясения произошли непосредственно в его устьевой части ближе к бровке шельфа.

Севернее архипелага Земля Франца-Иосифа в районе грабена Британия зарегистрировано два слабых землетрясения с $M < 2.0$ и одно с $M = 2.9$ непосредственно на континентальном склоне.

В районах грабенов Франц-Виктория, Британия и Св. Анны сосредоточены практически все землетрясения с магнитудами до 2.0., Отсутствие событий в грабенах расположенных восточнее объясняется удаленностью от сейсмической станции ZFI.

Однако отсутствие слабой сейсмичности в районе грабена Орла, в котором зарегистрировано только одно слабое землетрясение в его устьевой части за весь период наблюдений, объяснить удаленность от станции нельзя.

Из грабена Воронина зарегистрировано три землетрясения: одно на склоне, два на материковом подножии напротив устьевой части. Два слабых землетрясения зарегистрированы на материковом подножии напротив устьевых частей грабенов Шокальского и Комсомольской правды. Как уже отмечалось, удаленность от станции не позволяет получить исчерпывающую информацию о проявлении сейсмичности в этих районах.

Также были зарегистрированы несколько землетрясений в районе материкового подножия севернее архипелага Земля Франца-Иосифа и в районе плато Ермак, не связанных напрямую с крупными морфоструктурами континентального склона.

Поднятие Белый и Виктория. Значительная часть эпицентров зарегистрированных землетрясений приурочена к поднятию Белый и Виктория между грабенами Орли и Франц-Виктория (см. рис. 4.17). В частности, можно отметить в районе поднятия зону повышенной сейсмичности около о. Белый. За период наблюдений около острова 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.

Сводная информация о землетрясениях из акватории северной части Баренцева моря представлена в табл. 23.

Таблица 23

Количество землетрясений в районах тектонических единиц		
Тектоническая единица	Количество землетрясений	Диапазон магнитуд
Грабен Франц-Виктории	17	0.7–2.2
Грабен Св. Анны	10	1.7–3.3
Грабен Британии	2	0.7–1.2
Грабен Воронина	1	2.3
Грабен Шокальского	1	–
Грабен Орли	1	1.4
Грабен Комсомольской правды	1	–
Поднятие Белый и Виктория	20	0.8–3.6
Поднятие Свальбардское	1	2.2
Поднятие Шпицбергенское	1	2.1

Рассмотренные особенности пространственного распределения землетрясений представляют существенный научный интерес. Во-первых, в силу географических и климатических условий, рассматриваемый регион до сих пор остается сейсмически слабо изученным. Во-вторых, полученные данные дополнительно с имеющейся геофизической информацией позволяют по-новому взглянуть на геодинамику региона. Постараемся определить, маркером какого геодинамического процесса являются зарегистрированные землетрясения.

Формирование рифтогенных структур в Баренцево-Карском регионе является следствием процессов растяжения земной коры при формировании Евразийского суббассейна. Заложение структуры желобов началось на доспредиинговом этапе развития этого бассейна (стадия “break-up”). Согласно данным, приведенным в статье (Верба, 2007), стадия “break-up” охватила период времени около 100 млн лет от второй половины юры до конца мела. Дальнейшее формирование этих рифтов шло по сложной схеме с участием не столько разрывных, сколько реидных деформаций. Поэтому к настоящему времени период активного рифтогенеза завершился, и он не несёт существенного вклада в уровень сейсмичности рассматриваемого региона.

Данный вывод подтверждается исследованиями по изучению теплового потока в грабене Франц-Виктория (рис. 4.18,а), который характеризуется в целом фоновыми значениями для Баренцева моря (Хуторской и др., 2009). Имеются также данные геоакустического профилирования (Верба, 2007) по желобам Франц-

Виктория и Св. Анны, которые не дают оснований для выделения разрывных нарушений.

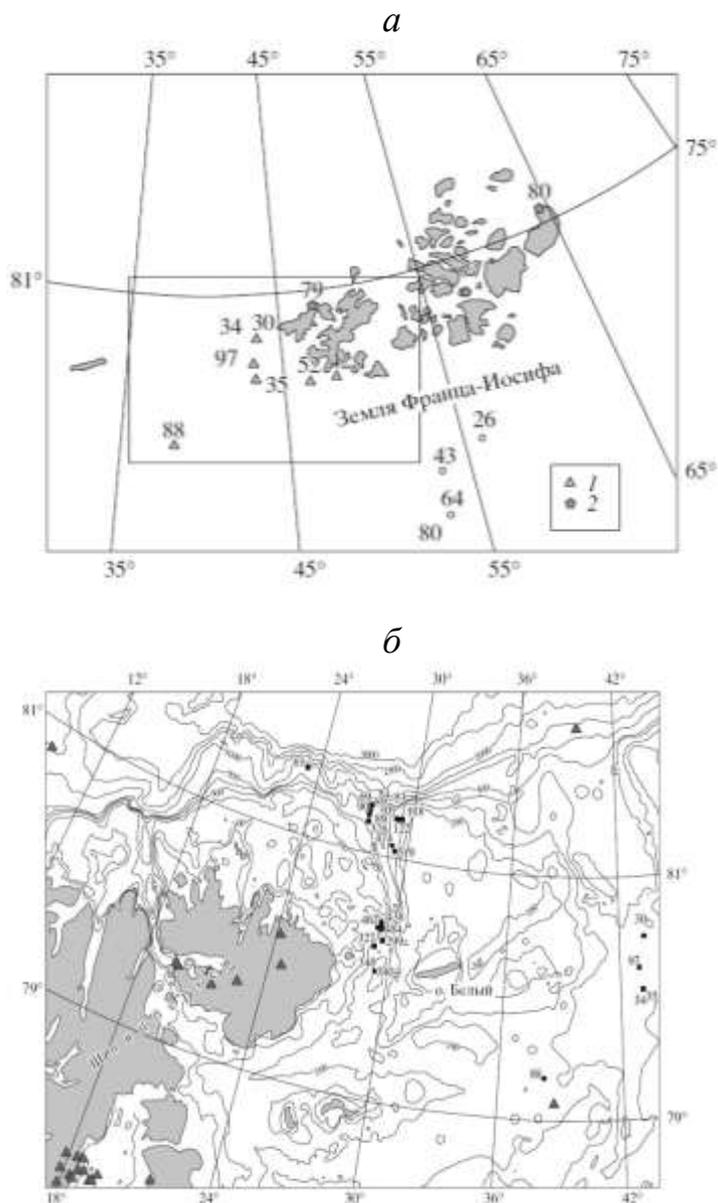


Рис. 4.18. Значения теплового потока в мВт/м² (Хуторской и др., 2009):
а – на полигоне ЗФИ; б – на полигоне Шпицберген

Однако исследования теплового потока, проведенные в районе желоба Орла (см. рис. 4.18б), показали anomalно высокие значения от 300 до 520 мВт/м², что почти в 10 раз выше уровня фоновых значений (Хуторской и др., 2009). Anomalно высокий поток характерен для всего желоба Орла и для его продолжения на континентальном склоне вплоть до изобары в 1200 м. Авторы исследований предполагают в районе желоба деструкцию коры на всю её мощность с внедрением в фундамент горячего мантийного вещества, что говорит уже об активной фазе

развития грабена. Высокой температурой в литосфере можно объяснить практически полное отсутствие зарегистрированных землетрясений из района грабена Орле.

В 2006–2009 года 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 Баренцево 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 ходе одной из экспедиций в толще грабена Орли 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.

Сотрудниками Кольского филиала ГС РАН (*Виноградов, Баранов, 2013*) изучался характер проявления сейсмичности в западной части шельфа Баренцева моря в районе континентального склона. Для слабой сейсмичности ($M \leq 2.2$) в районе от пролива Стур-фьорд до о. Медвежий была выявлена сезонность в количестве зарегистрированных землетрясений. Была выдвинута гипотеза, согласно которой большая часть слабых землетрясений являются следствием оползневых процессов на крутых участках шельфа, а их сезонность - результат резкого изменения массопотока аллювиального материала в теплый сезон года. В частности, авторы, анализируя записи сейсмической группы SPITS, выявили волновые формы от оползневых явлений на севере Шпицбергена.

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”.

4.6. Выводы

Результаты сейсмического мониторинга по данным ВАСС позволяют проводить исследования природной сейсмичности Западного сектора Арктики, а также выделять техногенные сейсмические события.

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

По результатам мониторинга сейсмичности северных акваторий Баренцева и Карского морей за период с октября 2011 по декабрь 2013 года можно сделать следующие выводы:

1. 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.

2. Прослеживается четкая приуроченность эпицентров зарегистрированных землетрясений к отрицательным морфоструктурам континентального склона (грабенам). В районе грабенов эпицентры землетрясений расположены также неравномерно и тяготеют к их устьевым частям. Высказано предположение, что превалирующим геодинамическим фактором, отвечающим за возникновение слабых землетрясений, является изостатическая компенсация лавинного осадконакопления в зоне перехода “континент-океан”.

3. Выявлена зона повышенной сейсмичности у о. Белый в районе поднятия Белый и Виктория.

Приведенные в главе 4 результаты, доказывают 3 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 событий, 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 использование 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 Орли, 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.

Результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют определить направления дальнейших исследований и развития АСС.

1. Необходимо открытие новых пунктов сейсмологических наблюдений на арктических архипелагах. Установка новых станций позволит снизить представительный уровень магнитуды в отдельных районах Арктики, прежде всего, это относится к районам арх. Новая Земля и Северная Земля, к восточной части хребта Гаккеля, а также для северной акватории Карского моря (грабены Св. Анны, Воронина и др.).

2. Для совершенствования системы регионального мониторинга важно решать не только технические задачи, такие как улучшение инфраструктуры, передачи данных в режиме on-line и т.д. Необходимо уточнить используемые годографы для Арктики на основе накопленного материала по станции “Земля Франца-Иосифа”, внедрить использование системы автоматического детектирования сейсмических событий. Отлаженная система сбора и передачи данных on-line совокупно с применением детектора существенно сократит временные задержки выпуска регионального каталога.

3. Важно продолжить интегрирование АСС в систему глобального мониторинга. Работа в этом направлении частично ведется в рамках международного проекта РФФИ совместно с норвежской службой NORSAR. Результатом проекта является разработка совместного каталога Баренц-региона.

4. Получаемая информация с заполярных сейсмических станций АСС может быть активно использована для новых направлений исследований (микросейсмические явления, изучение слабой сейсмичности хребта Гаккеля, анализ гидроакустических Т-волн).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. 186 с.

Аветисян А.М., Бурмин В.Ю., Манукян А.Г. Основные методы повышения точности регистрации и обработки сейсмологической информации // Известия НАН РА, Науки о Земле, 2012. 65. №3. С. 70-77.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) сейсмолога [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ceme.gsras.ru/1251/stations/wsg_arm.htm

Адушкин В.В., Родионов В.Н., Турунтаев С.Б., Юдин А.Е. Сейсмичность месторождений углеводородов // Нефтегазовое обозрение – Шлюмберже. 2000. Т. 5, № 1. С. 4–15.

Аксенович Г.И., Антонова Л.В., Антикаев Ф.Ф., Нерсесов И.Л., Николаев А.В., Ситников А.В., Трегуб Ф.С., Халтурин В.И. Отчет комплексной сейсмологической экспедиции ИФЗ АН СССР «Талгар», 1988. 98с.

Антоновская Г.Н., Капустян Н.К., Кременецкая Е.О. Концепция сейсмического мониторинга в Арктике для снижения риска природных и техногенных катастроф // Конкурентный потенциал северных и арктических регионов: Сб. научных трудов / Отв. ред. д.э.н. В.И. Павленко. Архангельск, 2014. С. 5-10.

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. Санкт-Петербург: Государственный научный центр РФ "ААНИИ" Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. С. 16-25.

Аплов С.В. О соотношении скоростей спрединга и продвижения рифтогенных структур // Докл. АН, 1990. Т. 313, № 6. С. 1433-1438.

Артюшков Е., Чехович П. Глубокие осадочные бассейны в акватории российской Арктики: механизмы образования, перспективы нефтегазоносности, обоснование принадлежности к континентальному шельфу // Арктика: экология и экономика. — 2015. — Т. 18, № 2. — С. 26–34.

Архангельский сейсмологический стационар-обсерватория (АССО) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.iepn.ru/?page=186>

Ассиновская Б.А. Сейсмичность Баренцева моря. М: РАН, 1994. 128 с.

Ассиновская Б.А. Сейсмоструктура и современная сейсмическая активность в Северной Атлантике // Геоэкология и геодинамика: Матер. междунар. конф. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 1999. С.19.

Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: Научный мир, 2004. 108 с.

Балуев А.С., Пржиялговский Е.С., Терехов Е.Н. Тектоника палеорифтовой системы Белого моря. Материалы XVIII Международной научной конференции по морской геологии . Т.3, Москва, 2009 г. С. 148 – 152.

Баранов С.В., Виноградов А.Н., Николаева С.Б., Петров С.И. Сейсмичность Кольского полуострова по инструментальным данным. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 47-51.

Беленович Т.Я. О напряженно-деформируемом состоянии земной коры Срединно-Арктического хребта // Вестник ПГУ. 2005. №2 (8). С. 12-18.

Беленович Т.Я., Кутинов Ю.Г. Современный геодинамический режим Срединно-Арктического хребта и прилегающих территорий // Структура, свойства, динамика и минералогения литосферы Восточно-Европейской платформы: Матер. XVI междунар. конф. 20-24 сентября 2010 г.: в 2-х т. / под ред. член. Корр. РАН Н.М. Чернышова, член. Корр. РАН А.А. Маловичко. Воронеж: научн. книга, 2010. Т.1 398 с.

Белякова Л.Т., Богацкий В.И., Богданов Б.П., Довжикова Е.Г. и др. Фундамент Тимано-Печерского нефтегазосного бассейна. – Киров: ОАО “Кировская областная типография”, 2008. – 288 с.

Богоявленский В.И. Исследование природы возникновения гигантских кратеров типа воронок взрыва в арктических регионах России – Ямал и Таймыр // Бурение и нефть. 2014. №9. С. 13 – 18.

Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Особенности геологического строения и разработки нефтегазовых месторождений в регионе Северного моря. “Тронинген” и “Экофиск” // Бурение и нефть. 2014. №4. С. 4 – 8.

Бурмин В.Ю. Обратные кинематические задачи сейсмологии. Новые подходы и результаты. Saarbrücken, Germany: Palmarium Academic Publishing, 2012. 146 с.

Ваганова Н.В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук на тему «Строение земной коры и верхней мантии Севера Русской плиты по наблюдениям обменных волн от телесеизмических землетрясений» / Екатеринбург, 2012. 23 с.

Ваганова Н.В., Конечная Я.В., Морозов А.Н. Организация мониторинга региональных и локальных сейсмических событий на базе Архангельской сети // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Седьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – С. 47-49.

Ваганова Н.В., Морозов А.Н. Параметры очага землетрясения в Архангельской области 28 марта 2013 года // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2013, №4. С. 5 - 11.

Верба М.Л. Современное билатеральное растяжение земной коры в Баренцево-Карском регионе и его роль при оценке перспектив нефтегазосности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007. Т.2. - <http://www.ngtp.ru/rub/4/026.pdf>

Виноградов А.Н., Баранов С.В. Возможное влияние оползневых процессов на сейсмичность северо-западной части Баренцева моря // Современные методы

обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 99-103.

Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А., Кременецкая Е.О., Петров С.И. Формирование системы сейсмологического и инфразвукового мониторинга в западной Арктике в XX веке и перспективы ее дальнейшего развития // Вестник КНЦ РАН, №4, 2012, с. 145-163.

Виноградов Ю.А., Виноградов А.Н., Кровотынцев В.А. Применение геофизических методов для дистанционного контроля динамики процессов деструкции ледовых покровов Арктики // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Матер. Шестой Межд. Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 87-89.

Габсатарова И.П., Голубева И.В., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Карпинский В.В., Мехрюшев Д.Ю., Надежка Л.И., Петров С.И., Пивоваров С.П., Пойгина С.Г., Санина И.А., Французова В.И. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь // Землетрясения в России в 2008 году. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 20-25.

Габсатарова И.П. Внедрение в рутинную практику подразделений Геофизической службы РАН процедуры вычисления локальной магнитуды // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С.49-53.

Габсатарова И.П., Пойгина Г.С., Бабкова Е.А. Адаптация программного комплекса WSG для региональных информационно-обрабатывающих центров // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С.76-82.

Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 5. Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря / ред. И С. Грамберг, В. Л. Иванов, Ю. Е. Погребницкий. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 468 с.

Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. В 10-ти тт. Л., 1984 – 1989

Данилов А.В. Микросейсмические исследования архипелага Земля Франца-Иосифа // Четырнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. Материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. – С. 83–87.

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.

Дибнер В.Д., Морфоструктура шельфа Баренцева моря. Л.: Недра. 1978. 211 с.

Дзюбло А.Д. Геолого-геофизические исследования и модели природных резервуаров Баренцево-Карского региона с целью наращивания ресурсной базы углеводородов / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора

геолого-минералогических наук. М.: Гос. университет нефти и газа им И.М. Губкина, 2009. 50 с.

Дягилев Р.А. Пакет прикладных программ для узких задач сейсмического мониторинга. Спектральный анализ сейсмических шумов [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.mi-perm.ru/solution/nr?show_id=29. Пермь: ГИ УрО РАН, 2012.

Зайончек А.В., Брекке Х., Соколов С.Ю., Мазарович А.О., Добролюбова К.О., Ефимов В.Н., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Кохан А.В., Мороз Е.А., Пейве А.А., Чамов Н.П., Ямпольский К.П. Строение зоны перехода континент-океан северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24, 25 и 26 рейсов НИС «Академик Николай Страхов», 2006-2009 гг.) // Строение и история развития литосферы. Вклад России в Международный Полярный Год. Том.4. М.: Paulsen. 2010. С.111-157.

Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. В 2-х кн. Кн. 2: Микросейсмичность. Петрозаводск. Карельский научный центр РАН, 2007. 96 с.

Землетрясения России в 2005 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – 180 с.: ил. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Землетрясения Северной Евразии в 2007 году. Обнинск: ГС РАН, 2013. 506 с.

Иванова Е.И., Ландер А.В., Токарев А.В., Чеброва А.Ю., Шевченко С.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за период 1980-2007 гг. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. Обнинск: ГС РАН, 2011. С.74-79.

Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Микросейсмический режим Приполярного Урала // Локальные и глобальные проявления воздействия на геосферы. Сборник научных трудов ИДГ РАН. – М.: ГЕОС, 2008. – С. 115-122.

Коломиец М.В., Рыжикова М.И., Обработка параметров техногенного землетрясения в Мурманской области 21 октября 2010 г. по оперативным данным. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 175-177.

Кондорская Н.В., Ашиткова Т.М., Мебель С.С. К вопросу о точности эпицентров // Алгоритмы интерпретации сейсмических данных. Вычислительная сейсмология. Вып. 5. М.: «Наука», 1971. С. 129-146

Конечная Я.В. Анализ сейсмичности в районе архипелага Земля Франца-Иосифа // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки». – Архангельск: САФУ им. М.В. Ломоносова, 2013. – №1. – С. 10–13.

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.

Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Морозов А.Н., Носкова Н.Н. Землетрясение на Полярном Урале 24 декабря 2013 года // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 179-183.

Конечная Я.В., Иванова Е.В., Шахова Е.В. Основы теории и практики обработки цифровых сейсмических записей: Руководство по обработке телесеismicких землетрясений на записях станций Архангельской сети. – Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – 88 с.

Косминская И.П. Метод глубинного сейсмического зондирования земной коры и верхов мантии. Изд-во «Наука», 1968. 227 с.

Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Первой Международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77–83.

Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я. Геодинамический режим Арктического сегмента по сейсмологическим данным // Строение, геодинамика и минерагенические процессы в литосфере: Мат. XI межд. науч. конф. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2005. С. 206-208.

Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Д., Шипилов Э.В. Геодинамическая модель развития арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа России // Геотектоника. – 2013. – № 1. – С. 3–35.

Линден Н.А. О карте сейсмичности Арктики // Сейсмические и гляциологические исследования в период МГГ. М.: АН СССР, 1959. № 2. С. 7-17.

Маловичко А.А., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А. Развитие систем геофизического мониторинга в Арктике / Арктика: экология и экономика №2 (14). – 2014. – С. 16-23.

Материалы совместного заседания Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН и Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики, 31 марта – 2 апреля 2010 г., г. Архангельск. Екатеринбург: УрО РАН, 2010.

Махутов Н.А., Гаденин М.М., Лебедев М.П., Аммосов А.П., Захарова М.И., Пермяков П.П., Глянцева Ю.С., Лифшиц С.Х. Особенности возникновения чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России и пути их парирования на основе концепции риска / Арктика: экология и экономика №1 (13). – 2014. – С. 10-29.

Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). 1996. М.: МГУ. 448 с.

Мирлин Е.Г., Синева Е.М. Зональность сегментации срединно-океанических хребтов и её геодинамическое значение // Докл. АН, 1990. Т.313. № 3. С. 665-670.

Мороз Е.А., Мазарович А.О., Абрамова А.С., Ефимов В.Н., Зарайская Ю.А., Соколов С.Ю. Неотектоника северо-запада Баренцева моря / Ред. Ю.А. Лаврушин Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Выпуск 2. // М.:ГЕОС, 2010. С.161-173.

Морозов А.Н. Метод идентификации взрывной сейсмичности на территории Архангельской области // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2008. №1 Выпуск № 11 С. 177-184.

Морозов А.Н., Французова В.И. Оценка эффективности регистрации сейсмических событий станциями Архангельской сейсмической сети // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки, 2009, № 1. С. 35-39.

Морозов А.Н., Ваганова Н.В. Годографы сейсмических волн для Севера Русской плиты по данным Архангельской сейсмической сети // Разведка и охрана недр. 2011, №12. С. 176 – 183.

Морозов А.Н., Иванова Е.В., Асминг В.Э. О природе сейсмического события, зарегистрированного в Архангельской области 28 марта 2013 года // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 214-218.

Мухамедиев Ш.А., Грачев А.Ф., Юнга С.Л. Нестационарный геодинамический контроль сейсмической активности платформенных областей со стороны срединно-океанических хребтов //Физики Земли. 2008. № 1. С. 12-22

Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений в Российской империи. СПб., 1893. 582 с. (Записки Русского, геогр. о-ва. Т. 26).

Национальный геофизический центр данных NOAA [Электронный ресурс] Режим доступа: – <http://www.ngdc.noaa.gov/>

Нефть и газ Российской Арктики: экологические проблемы и последствия. Доклад объединения Bellona. 2007. [Электронный ресурс] Режим доступа: – http://www.bellona.org/reports/report/russian_arctic_shelf

Никонов А.А. Землетрясения Севера Европейской России (новая версия каталога на основе первичных материалов) // Геодинамика и техногенез. Матер. Всеросс. совещ. Ярославль, 2000. С. 118-119.

Никонов А.А. Исторические землетрясения // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. С. 192-212.

Никонов А.А. Новый этап познания сейсмичности Восточно-Европейской платформы и её обрамления // Доклады академии наук, 2013, том 450, №4. С. 465-469.

Никишин А.М., Казмин Ю.Б., Петров Е.И., Глузов И.Ф., Лобковский Л.И., Малышев Н.А., Поселов В.А., Буров Е.Б., Гайна К. Строение и история

формирования Арктического океана // Материалы XLVII Тектонического совещания “Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты”. М.: ГЕОС, 2015. С. 7-10

Носкова Н.Н., Пономарева Н.Л. Землетрясение 28 января 2014 г. на Северном Урале // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Матер. Девятой Межд. Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 262-265.

Об утверждении Энергетической стратегии РФ на период до 2020 г. Распоряжение Правительства РФ от 28 августа 2003 г. N 1234-р. [Электронный ресурс] Режим доступа: – http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=25

Панасенко Г.Д. Проблемы сейсмического районирования Западного сектора советской Арктики // Природа и хозяйство Севера. Вып. 14. 1986. С. 4-6.

Погребницкий Ю.Е. Переходные зоны “материк-океан” в геодинамической системе Северного Ледовитого океана // Доклады 27-го МГК- Т. 7. 1984. С. 29-37.

Последние землетрясения по данным ССД [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ceme.gsras.ru/>

Прекращение ядерных испытаний [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.un.org/ru/events/againstnucleartestsday/history.shtml#a32>

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: дизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.

Райко Н.В., Линден Н.А. О землетрясении 20.XI.1933 в Баффиновом заливе и распределении сейсмических очагов в Арктике // Труды Сейсм. Ин-та АН СССР. 1935. № 61. С. 1-8.

Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Коллектив авторов. Под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011.

Сеть сейсмических станций, используемых КФ ГС РАН [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://krsc.ru/defmon.htm>

Сим Л.А., Жиров Д.В., Маринин А.В. Реконструкция напряженно-деформированного состояния восточной части Балтийского щита // Геодинамика и тектонофизика. 2011. № 3. С. 219-243.

Сим Л.А., Чекмарев К.В. Новейшая разломная тектоника Полярного Урала // Бюлл. МОИП, отд. геол. 2006. Т. 81, вып. 5. С. 51–56.

Скоростные модели [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.krsc.ru/defmon.htm>

Смирнов В.Б. Опыт оценки представительности данных каталогов землетрясений // Вулканология и сейсмология. – 1997. – № 4. – С. 93–105.

Соловьев С.Л., Белавин Ю.С., Кадыков И.Ф., У Тон Иль. Регистрация фаз Т в сигналах землетрясений северо-западной части Тихого океана // Вулканология и сейсмология. 1980. № 1. С. 60–69.

Соловьев С.Л., Воронин Р.С., Воронина С.И. Сейсмические и гидроакустические данные о волне Т (обзор и литературы) // Проблема цунами: Вопросы образования и распространения морских разрушительных волн от землетрясений и их оперативный прогноз. М., 1968. С. 141 – 173.

Старовойт О.Е. Сейсмические наблюдения по России // Земля и Вселенная. 2005. №2. С. 82-89.

Удоратин В.В. Ижма – новый пункт сейсмологического наблюдения / [Вестник, №1, 2004. С. 35.](#)

Удоратин В.В., Носкова Н.Н., Французова В.И., Конечная Я.В. Республика Коми // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 241–247.

Уломов В.И. Макросейсмический режим и дифференцированная оценка сейсмических воздействий // Геориск. № 3. М.:Геомаркетинг, 2009. С. 16-19.

Федоров А.В., Асминг В.Э. Результаты изучения трехгодичной сейсмической активности зоны пролива Стур-Фьорд, архипелаг Шпицберген // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 335-339.

Французова В.И., Ваганова Н.В. Обобщение результатов мониторинга, проводимого Архангельской сетью сейсмических станций // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 189 – 193

Французова В.И., Ваганова Н.В., Косарев Г.Л., Орешин С.И. Скоростные разрезы земной коры Севера Русской плиты по данным станций «Климовская» и «Лешуконское» // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 344 – 348.

Французова В.И., Иванова Е.В., Конечная Я.В. Сезонные вариации в регистрации сейсмических событий заполярными станциями Архангельской сети // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы / Отв. Редактор А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 332-335.

Французова В.И., Иванова Е.В., Морозов А.Н. Техногенная сейсмичность по данным Архангельской сети сейсмических станций // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 330-335.

Французова В.И., Николаев А.В., Морозов А.Н. Идентификация промышленных взрывов по данным региональной сейсмометрии в Архангельской области // Геоэкология. Инженерная сейсмология. Гидрогеология. Геокриология. 2010. №5. С. 433-445.

Французова В.И., Конечная Я.В., Ваганова Н.В. Результаты сейсмомониторинга, проводимого Архангельской сетью станций // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 205 – 210.

Французова В.И., Конечная Я.В., Ваганова Н.В. 10-летие Архангельской сети: мониторинг естественной сейсмичности // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 324-328.

Французова В.И., Конечная Я.В., Иванова Е.В. Регистрация сейсмических событий заполярной станцией “Амдерма” в составе Архангельской сети // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 332-336.

Французова В.И., Морозов А.Н., Николаев А.В. Сейсмический эффект техногенных событий и катастроф Архангельской области // Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Коллектив авторов. Под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 50 – 64.

Французова В.И., Фатьянов А.Г. О механизме генерации акустосейсмических сигналов, индуцируемых техногенными источниками // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Пятой Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 233 – 236.

Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 606 с.

Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. Аномальный тепловой поток и природа желобов в северной части Свальбардской плиты // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 1–7.

Шаров Н.В., Бекетова Е.Б., Матвеева Т.С., Федоренко Ю.В., Филатов П.В., Екимова И.А. Сейсмичность Карелии // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн.1 Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 193-218.

Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Шахова Е.В. Исследования активности территорий с использованием микросейсм. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 129 с.

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 Международной Сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 376 – 380.

Юдахин Ф.Н., Морозов А.Н., Конечная Я.В. Возможности Архангельской сейсмической сети для мониторинга Арктического региона // Геофизические исследования. Москва: ИФЗ РАН, 2012. Т.13, № 3. С. 74-84.

Юдахин Ф.Н., Старовойт О.Е., Французова В.И., Мехрюшев Д.Ю. Создание Архангельской сейсмической сети // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде Северных регионов: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2004. Т. 2. С. 414–418.

Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. М.: ГС РАН, 2001. – С. 128 – 139.

Юдахин Ф.Н., Французова В.И. О необходимости создания сети сейсмического мониторинга в северных регионах России // Вестник УрО РАН 2006. № 2(16). С. 25-35.

Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Сейсмичность и сейсмические волновые поля севера Русской плиты и западного сегмента Арктики по наблюдениям Архангельской сети // Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Коллектив авторов. Под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 30–41.

Юдахин Ф.Н., Французова В.И., Ваганова Н.В., Конечная Я.В. Обобщение результатов глобального и регионального сейсмомониторинга по данным станций Архангельской сети // Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Коллектив авторов. Под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 42 – 49.

Юдахин Ф.Н., Французова В.И., Мехрюшев Д.Ю. и др. Первая оценка регистрационных возможностей сейсмических станций Архангельской сети // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде Северных регионов: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2004. Т. 2. С. 418–422.

Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 300 с.

Alexey N. Morozov, Natalya V. Vaganova, Yana V. Konechnaya, Vladimir E. Asming. 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. January 2015, Volume 19, Issue 1, pp. 219-230.

Alexey N. Morozov, Yana V. Konechnaya. Monitoring of the Arctic region: contribution of the Arkhangelsk seismic network // Journal of Seismology. April 2013, Volume 17, Issue 2, pp. 819-827.

Bondár, I., S.C. Myers, E.R. Engdahl and E.A. Bergman. Epicenter accuracy based on seismic network criteria. Geophys. J. Int., 2004. 156. P. 483–496.

Bowers D. Was the 16 August 1997 Seismic Disturbance near Novaya Zemlya an Earthquake? // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 6, pp. 2400–2409, August 2002.

Bratt S.R., Bache T.C. Locating events with a space network of regional arrays// Bull. Seism. Soc. Am. – 1988. –78. – P. 780–798.

Bungum H., Lindholm C. "Seismo-and Neotectonics in Finnmark, Kola and the Southern Barents Sea, Part 2: Seismological Analysis and Seismotectonics." *Tectonophysics* 270.1 (1997): 15—28.

Kremenetskaya E., Asming V. Problems of regional seismic event location and depth estimation in the European Arctic.//Workshop on IMS Location Calibration and Screening, № 4, 2002, Oslo, Norway.

Kremenetskaya E., Asming V., Vinogradov Yu. Seismic profiling and calibration of seismic travel-time models for Barents region // *Geophysical Research Abstracts*, V.6, 00881, 2004. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU04-A-00881 с European Geosciences Union 2004.

GEOFON Program GFZ Potsdam [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://geofon.gfz-potsdam.de>

Hjelstuen, B., Eldholm, O., and Faleide, J. (2007) Recurrent Pleistocene megafailures on the SW Barents Sea margin. *Earth and Planetary Science Letters*. V. 258., Issues 4-3, 30 June 2007, 605–618

Hodgson J.H. et al. Seismicity of the Arctic // *Annals of the IGY*. 1965.V.30 P. 33-66.

Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iris.washington.edu>

Institute of Seismology. University of Helsinki [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.seismo.helsinki.fi/english/observation/stations.html>

International Seismological Centre [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk>

ISC Bulletin: bulletin search [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>

ISC Bulletin: event catalogue search [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>

IRIS DMC MetaData Aggregator [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.iris.washington.edu/mda>

Koyanagi, S., K. Aki, N. Biswas and K. Mayeda. Inferred attenuation from site effect-corrected T-phases recorded on the island of Hawaii, *PAGEOPH*, 144, 1-17, 1995.

Lee W.H.K., Lahr J.C. HYP071: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes. U.S. Geological Survey Open File Report 75-311. 1975. 113 pp.

Luosto U., Hyvönen T. Seismology in Finland in the Twentieth Century // *Geophysica*. 37(1–2). Institute of Seismology, University of Helsinki, Finland, 2001, pp. 147–185.

Mitchell, B. J., H. Bungum, W. W. Chan, and P. B. Mitchell (1990). Seismicity and present-day tectonics of the Svalbard region. *Geophysical Journal International* 102, 139–149.

Magnitude scales for local events // New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Peter Borman. GeoForschungsZentrum Potsdam, 2002. Vol. 1. Chapter 3, pp. 24-27.

NOAA National Geophysical Data Center [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ngdc.noaa.gov/>

NORSAR Available bulletins [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.norsardata.no/NDC/bulletins/>

NORSAR Reviewed Regional Seismic Bulletin [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://norsardata.no/NDC/bulletins/regional/>

Norwegian National Seismic Network [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.geo.uib.no>

Observatories and Research Facilities for European Seismology [Электронный ресурс] – Режим доступа: / www.orfeus-eu.org

Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise // U.S. Department of Interior, Geological Survey. Open-File Report 93 – 322. – 1993. – 91 p.

Preliminary automatic Storfjorden bulletin by Spitsbergen array (NORSAR) data [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.krsc.ru/Defspi.htm>

Ringdal F. Study of Low-Magnitude Seismic Events near the Novaya Zemlya Nuclear Test Site // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 87, No. 6, pp. 1563–1575, December 1997.

Station book listing [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk/registries/listing/>

Sykes L.R. The seismicity of the Arctic // Bull. Seismol. Soc. Am. 1965. V.55. № 2. P. 519-536.

U.S. Geological Survey [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.usgs.gov>

Vanneste, M., Mienert, J. and Bunz, S. (2006) The Hinlopen Slide: A giant, submarine slope failure on the northern Svalbard margin, Arctic Ocean. Reports of Earth and Planetary Science Letters. V. 245, 1-2, 373-388.

Winkelmann, D., and Stein, R. (2007) Triggering of the Hinlopen/Yermak Megaslide in relation to paleoceanography and climate history of the continental margin north of Spitsbergen. Reports of Geochem.Geophys. Geosyst. (G3), V. 8, 6, 1-15. (An electronic journal of the earth sciences doi:10.1029/2006GC001485)

Worldwide Nuclear Explosions. Yang X., North R., Romney C. Richards P. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ldeo.columbia.edu/~richards/my_papers/WW_nuclear_tests_IASPEI_NB.pdf

Приложение А

Региональный годограф “NORP” (the North of Russian Plate)

h=0 км

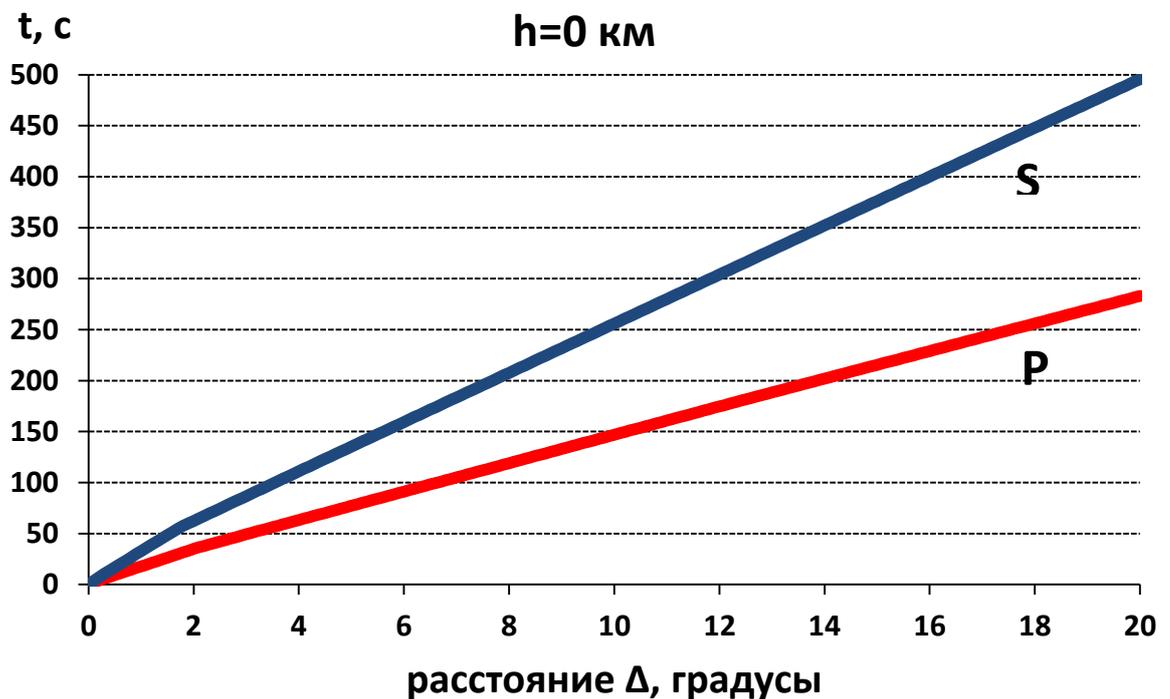
Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	0	0	3.800	60.445	106.180
0.100	1.941	3.587	3.900	61.840	108.615
0.200	3.881	7.174	4.000	63.235	111.049
0.300	5.737	10.586	4.100	64.630	113.484
0.400	7.455	13.744	4.200	66.025	115.919
0.500	9.173	16.901	4.300	67.419	118.337
0.600	10.890	20.059	4.400	68.814	120.751
0.700	12.608	23.216	4.500	70.209	123.166
0.800	14.326	26.374	4.600	71.604	125.580
0.900	16.044	29.531	4.700	73.000	127.995
1.000	17.762	32.688	4.800	74.394	130.409
1.100	19.479	35.846	4.900	75.788	132.823
1.200	21.197	39.003	5.000	77.183	135.238
1.300	22.915	42.160	5.100	78.578	137.652
1.400	24.633	45.318	5.200	79.972	140.066
1.500	26.350	48.475	5.300	81.367	142.480
1.600	28.068	51.632	5.400	82.762	144.894
1.700	29.786	54.790	5.500	84.156	147.309
1.800	31.503	57.472	5.600	85.551	149.723
1.900	33.221	59.908	5.700	86.945	152.137
2.000	34.939	62.343	5.800	88.339	154.550
2.100	36.448	64.779	5.900	89.734	156.964
2.200	37.871	67.215	6.000	91.128	159.378
2.300	39.294	69.650	6.100	92.522	161.792
2.400	40.718	72.086	6.200	93.917	164.206
2.500	42.141	74.521	6.300	95.311	166.619
2.600	43.564	76.957	6.400	96.705	169.033
2.700	44.987	79.392	6.500	98.099	171.446
2.800	46.410	81.828	6.600	99.493	173.859
2.900	47.833	84.263	6.700	100.887	176.273
3.000	49.256	86.698	6.800	102.281	178.686
3.100	50.679	89.134	6.900	103.675	181.099
3.200	52.074	91.569	7.000	105.069	183.512
3.300	53.470	94.004	7.100	106.463	185.925
3.400	54.865	96.439	7.200	107.857	188.338
3.500	56.260	98.875	7.300	109.250	190.751
3.600	57.655	101.310	7.400	110.644	193.164
3.700	59.050	103.745	7.500	112.038	195.577

Приложение А продолжение

7.600	113.431	197.989	11.900	173.282	301.612
7.700	114.825	200.402	12.000	174.672	304.018
7.800	116.218	202.814	12.100	176.061	306.424
7.900	117.611	205.226	12.200	177.451	308.831
8.000	119.005	207.638	12.300	178.826	311.237
8.100	120.398	210.051	12.400	180.182	313.642
8.200	121.791	212.463	12.500	181.539	316.048
8.300	123.184	214.874	12.600	182.896	318.453
8.400	124.577	217.286	12.700	184.252	320.858
8.500	125.970	219.698	12.800	185.609	323.263
8.600	127.363	222.110	12.900	186.965	325.668
8.700	128.756	224.521	13.000	188.322	328.073
8.800	130.148	226.932	13.100	189.678	330.477
8.900	131.541	229.344	13.200	191.034	332.881
9.000	132.934	231.755	13.300	192.390	335.285
9.100	134.326	234.166	13.400	193.746	337.689
9.200	135.719	236.577	13.500	195.102	340.092
9.300	137.111	238.987	13.600	196.458	342.495
9.400	138.503	241.398	13.700	197.814	344.898
9.500	139.896	243.809	13.800	199.170	347.300
9.600	141.288	246.219	13.900	200.525	349.703
9.700	142.680	248.629	14.000	201.881	352.105
9.800	144.072	251.039	14.100	203.236	354.507
9.900	145.464	253.449	14.200	204.591	356.908
10.000	146.855	255.858	14.300	205.946	359.310
10.100	148.247	258.268	14.400	207.302	361.711
10.200	149.639	260.677	14.500	208.657	364.112
10.300	151.030	263.086	14.600	210.012	366.513
10.400	152.422	265.495	14.700	211.366	368.914
10.500	153.813	267.904	14.800	212.721	371.314
10.600	155.205	270.313	14.900	214.076	373.714
10.700	156.596	272.721	15.000	215.430	376.114
10.800	157.987	275.130	15.100	216.785	378.514
10.900	159.378	277.538	15.200	218.139	380.913
11.000	160.769	279.946	15.300	219.493	383.312
11.100	162.160	282.354	15.400	220.847	385.711
11.200	163.550	284.762	15.500	222.201	388.110
11.300	164.941	287.169	15.600	223.555	390.508
11.400	166.331	289.577	15.700	224.909	392.907
11.500	167.722	291.984	15.800	226.262	395.305
11.600	169.112	294.391	15.900	227.616	397.702
11.700	170.502	296.798	16.000	228.969	400.100
11.800	171.892	299.205	16.100	230.323	402.497

Приложение А продолжение

16.200	231.676	404.894	18.100	257.359	450.380
16.300	233.029	407.291	18.200	258.709	452.771
16.400	234.382	409.687	18.300	260.059	455.161
16.500	235.735	412.083	18.400	261.409	457.552
16.600	237.087	414.479	18.500	262.759	459.942
16.700	238.440	416.875	18.600	264.108	462.331
16.800	239.792	419.270	18.700	265.458	464.721
16.900	241.145	421.665	18.800	266.807	467.110
17.000	242.497	424.060	18.900	268.156	469.498
17.100	243.848	426.455	19.000	269.505	471.887
17.200	245.200	428.849	19.100	270.854	474.275
17.300	246.552	431.242	19.200	272.202	476.663
17.400	247.903	433.635	19.300	273.551	479.050
17.500	249.255	436.028	19.400	274.899	481.438
17.600	250.606	438.421	19.500	276.248	483.824
17.700	251.957	440.813	19.600	277.596	486.211
17.800	253.308	443.205	19.700	278.944	488.597
17.900	254.658	445.597	19.800	280.291	490.983
18.000	256.009	447.989	19.900	281.639	493.369
			20.000	282.986	495.754

Рис. А1. График годографа NORP при $h=0$ км

h=5 км

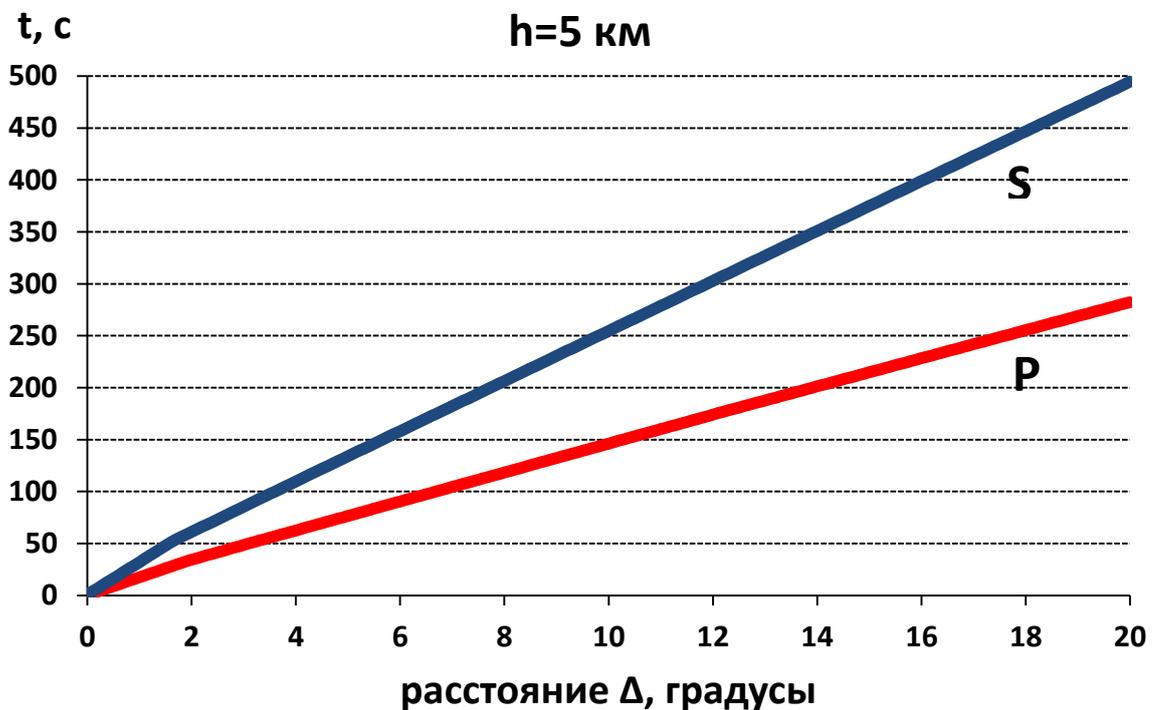
Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	0	0	3.800	59.774	104.942
0.100	2.269	4.175	3.900	61.169	107.377
0.200	3.755	6.922	4.000	62.564	109.812
0.300	5.459	10.054	4.100	63.959	112.247
0.400	7.172	13.202	4.200	65.354	114.681
0.500	8.887	16.355	4.300	66.749	117.099
0.600	10.603	19.509	4.400	68.144	119.514
0.700	12.319	22.665	4.500	69.539	121.928
0.800	14.036	25.820	4.600	70.934	124.343
0.900	15.753	28.976	4.700	72.328	126.757
1.000	17.470	32.133	4.800	73.723	129.171
1.100	19.188	35.289	4.900	75.118	131.586
1.200	20.905	38.445	5.000	76.513	134.000
1.300	22.622	41.602	5.100	77.907	136.414
1.400	24.339	44.758	5.200	79.302	138.829
1.500	26.057	47.915	5.300	80.697	141.243
1.600	27.774	51.071	5.400	82.091	143.657
1.700	29.491	53.799	5.500	83.486	146.071
1.800	31.208	56.234	5.600	84.880	148.485
1.900	32.926	58.670	5.700	86.275	150.899
2.000	34.355	61.106	5.800	87.669	153.313
2.100	35.778	63.541	5.900	89.063	155.727
2.200	37.201	65.977	6.000	90.458	158.141
2.300	38.624	68.413	6.100	91.852	160.554
2.400	40.047	70.848	6.200	93.246	162.968
2.500	41.470	73.284	6.300	94.641	165.382
2.600	42.893	75.719	6.400	96.035	167.795
2.700	44.316	78.155	6.500	97.429	170.209
2.800	45.739	80.590	6.600	98.823	172.622
2.900	47.162	83.026	6.700	100.217	175.035
3.000	48.585	85.461	6.800	101.611	177.449
3.100	50.008	87.896	6.900	103.005	179.862
3.200	51.404	90.331	7.000	104.399	182.275
3.300	52.799	92.767	7.100	105.792	184.688
3.400	54.194	95.202	7.200	107.186	187.101
3.500	55.589	97.637	7.300	108.580	189.514
3.600	56.984	100.072	7.400	109.974	191.926
3.700	58.379	102.507	7.500	111.367	194.339

Приложение А продолжение

7.600	112.761	196.752	11.900	172.612	300.374
7.700	114.154	199.164	12.000	174.002	302.781
7.800	115.548	201.576	12.100	175.391	305.187
7.900	116.941	203.989	12.200	176.781	307.593
8.000	118.334	206.401	12.300	178.155	309.999
8.100	119.727	208.813	12.400	179.512	312.405
8.200	121.121	211.225	12.500	180.869	314.810
8.300	122.514	213.637	12.600	182.225	317.216
8.400	123.907	216.049	12.700	183.582	319.621
8.500	125.300	218.460	12.800	184.939	322.026
8.600	126.693	220.872	12.900	186.295	324.431
8.700	128.085	223.283	13.000	187.651	326.835
8.800	129.478	225.695	13.100	189.008	329.240
8.900	130.871	228.106	13.200	190.364	331.644
9.000	132.263	230.517	13.300	191.720	334.048
9.100	133.656	232.928	13.400	193.076	336.451
9.200	135.048	235.339	13.500	194.432	338.854
9.300	136.441	237.750	13.600	195.788	341.257
9.400	137.833	240.160	13.700	197.144	343.660
9.500	139.225	242.571	13.800	198.499	346.063
9.600	140.617	244.981	13.900	199.855	348.465
9.700	142.009	247.391	14.000	201.210	350.867
9.800	143.401	249.801	14.100	202.566	353.269
9.900	144.793	252.211	14.200	203.921	355.671
10.000	146.185	254.621	14.300	205.276	358.072
10.100	147.577	257.030	14.400	206.631	360.474
10.200	148.969	259.439	14.500	207.986	362.875
10.300	150.360	261.849	14.600	209.341	365.276
10.400	151.752	264.258	14.700	210.696	367.676
10.500	153.143	266.666	14.800	212.051	370.077
10.600	154.534	269.075	14.900	213.405	372.477
10.700	155.925	271.484	15.000	214.760	374.877
10.800	157.317	273.892	15.100	216.114	377.276
10.900	158.708	276.300	15.200	217.469	379.676
11.000	160.098	278.709	15.300	218.823	382.075
11.100	161.489	281.117	15.400	220.177	384.474
11.200	162.880	283.524	15.500	221.531	386.872
11.300	164.271	285.932	15.600	222.885	389.271
11.400	165.661	288.339	15.700	224.238	391.669
11.500	167.052	290.747	15.800	225.592	394.067
11.600	168.442	293.154	15.900	226.946	396.465
11.700	169.832	295.561	16.000	228.299	398.862
11.800	171.222	297.968	16.100	229.652	401.259

Приложение А продолжение

16.200	231.006	403.656	18.100	256.688	449.142
16.300	232.359	406.053	18.200	258.039	451.533
16.400	233.712	408.450	18.300	259.389	453.924
16.500	235.064	410.846	18.400	260.738	456.314
16.600	236.417	413.242	18.500	262.088	458.704
16.700	237.770	415.637	18.600	263.438	461.094
16.800	239.122	418.033	18.700	264.787	463.483
16.900	240.474	420.428	18.800	266.136	465.872
17.000	241.826	422.823	18.900	267.486	468.261
17.100	243.178	425.217	19.000	268.835	470.649
17.200	244.530	427.611	19.100	270.183	473.038
17.300	245.881	430.005	19.200	271.532	475.425
17.400	247.233	432.398	19.300	272.881	477.813
17.500	248.584	434.791	19.400	274.229	480.200
17.600	249.935	437.183	19.500	275.577	482.587
17.700	251.287	439.576	19.600	276.925	484.974
17.800	252.637	441.968	19.700	278.273	487.360
17.900	253.988	444.360	19.800	279.621	489.746
18.000	255.338	446.751	19.900	280.969	492.131
			20.000	282.316	494.517

Рис. А2. График годографа NORP при $h=5$ км

h=10 км

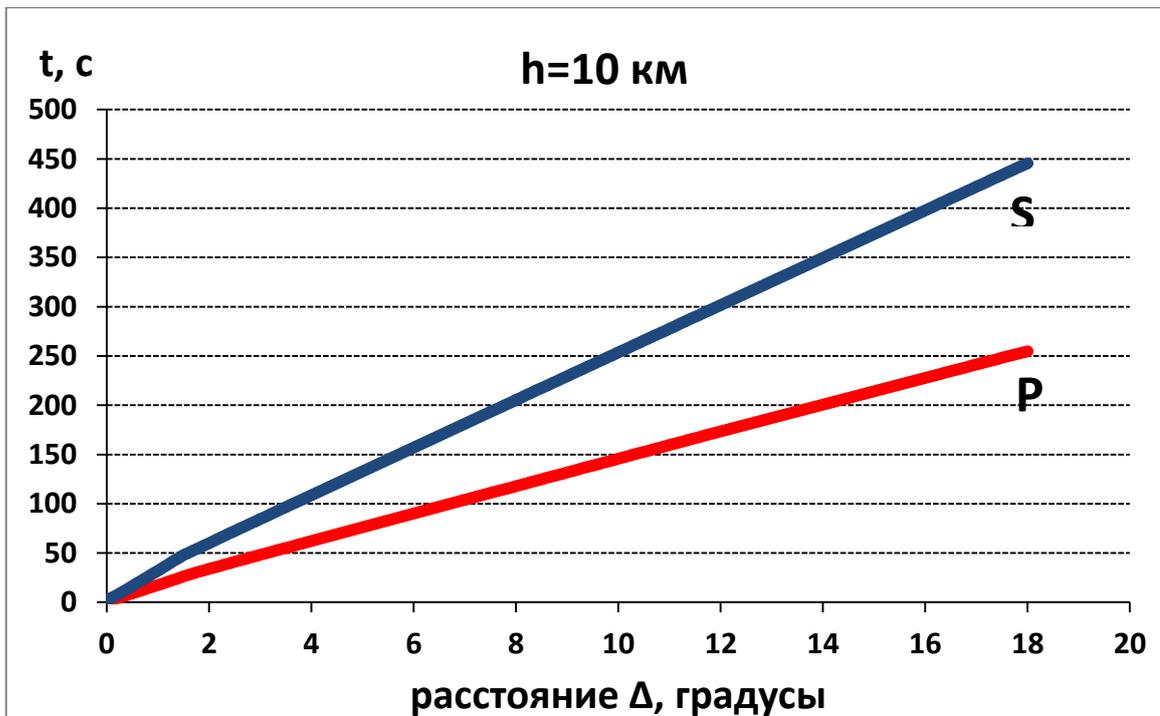
Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	0	0	3.800	59.774	104.942
0.100	2.269	4.175	3.900	61.169	107.377
0.200	3.755	6.922	4.000	62.564	109.812
0.300	5.459	10.054	4.100	63.959	112.247
0.400	7.172	13.202	4.200	65.354	114.681
0.500	8.887	16.355	4.300	66.749	117.099
0.600	10.603	19.509	4.400	68.144	119.514
0.700	12.319	22.665	4.500	69.539	121.928
0.800	14.036	25.820	4.600	70.934	124.343
0.900	15.753	28.976	4.700	72.328	126.757
1.000	17.470	32.133	4.800	73.723	129.171
1.100	19.188	35.289	4.900	75.118	131.586
1.200	20.905	38.445	5.000	76.513	134.000
1.300	22.622	41.602	5.100	77.907	136.414
1.400	24.339	44.758	5.200	79.302	138.829
1.500	26.057	47.915	5.300	80.697	141.243
1.600	27.774	51.071	5.400	82.091	143.657
1.700	29.491	53.799	5.500	83.486	146.071
1.800	31.208	56.234	5.600	84.880	148.485
1.900	32.926	58.670	5.700	86.275	150.899
2.000	34.355	61.106	5.800	87.669	153.313
2.100	35.778	63.541	5.900	89.063	155.727
2.200	37.201	65.977	6.000	90.458	158.141
2.300	38.624	68.413	6.100	91.852	160.554
2.400	40.047	70.848	6.200	93.246	162.968
2.500	41.470	73.284	6.300	94.641	165.382
2.600	42.893	75.719	6.400	96.035	167.795
2.700	44.316	78.155	6.500	97.429	170.209
2.800	45.739	80.590	6.600	98.823	172.622
2.900	47.162	83.026	6.700	100.217	175.035
3.000	48.585	85.461	6.800	101.611	177.449
3.100	50.008	87.896	6.900	103.005	179.862
3.200	51.404	90.331	7.000	104.399	182.275
3.300	52.799	92.767	7.100	105.792	184.688
3.400	54.194	95.202	7.200	107.186	187.101
3.500	55.589	97.637	7.300	108.580	189.514
3.600	56.984	100.072	7.400	109.974	191.926
3.700	58.379	102.507	7.500	111.367	194.339

Приложение А продолжение

7.600	112.272	195.704	11.900	172.119	299.320
7.700	113.665	198.116	12.000	173.509	301.727
7.800	115.058	200.528	12.100	174.898	304.133
7.900	116.452	202.941	12.200	176.273	306.539
8.000	117.845	205.353	12.300	177.630	308.944
8.100	119.238	207.765	12.400	178.986	311.350
8.200	120.631	210.177	12.500	180.343	313.755
8.300	122.024	212.588	12.600	181.700	316.161
8.400	123.417	215.000	12.700	183.056	318.566
8.500	124.810	217.412	12.800	184.412	320.970
8.600	126.203	219.823	12.900	185.769	323.375
8.700	127.596	222.235	13.000	187.125	325.779
8.800	128.988	224.646	13.100	188.481	328.184
8.900	130.381	227.057	13.200	189.837	330.588
9.000	131.773	229.468	13.300	191.193	332.991
9.100	133.166	231.879	13.400	192.549	335.394
9.200	134.558	234.290	13.500	193.905	337.797
9.300	135.951	236.700	13.600	195.261	340.200
9.400	137.343	239.111	13.700	196.617	342.603
9.500	138.735	241.521	13.800	197.972	345.005
9.600	140.127	243.931	13.900	199.328	347.407
9.700	141.519	246.341	14.000	200.683	349.809
9.800	142.911	248.751	14.100	202.038	352.211
9.900	144.303	251.160	14.200	203.394	354.612
10.000	145.694	253.570	14.300	204.749	357.013
10.100	147.086	255.979	14.400	206.104	359.414
10.200	148.478	258.388	14.500	207.459	361.815
10.300	149.869	260.797	14.600	208.813	364.216
10.400	151.260	263.206	14.700	210.168	366.616
10.500	152.652	265.615	14.800	211.523	369.016
10.600	154.043	268.024	14.900	212.877	371.416
10.700	155.434	270.432	15.000	214.232	373.816
10.800	156.825	272.840	15.100	215.586	376.215
10.900	158.216	275.248	15.200	216.940	378.615
11.000	159.607	277.656	15.300	218.294	381.013
11.100	160.997	280.064	15.400	219.648	383.412
11.200	162.388	282.472	15.500	221.002	385.811
11.300	163.779	284.879	15.600	222.356	388.209
11.400	165.169	287.286	15.700	223.710	390.607
11.500	166.559	289.694	15.800	225.063	393.005
11.600	167.950	292.101	15.900	226.416	395.402
11.700	169.340	294.507	16.000	227.770	397.799
11.800	170.729	296.914	16.100	229.123	400.196

Приложение А продолжение

16.200	230.476	402.593	18.100	256.156	448.073
16.300	231.829	404.989	18.200	257.506	450.464
16.400	233.182	407.386	18.300	258.856	452.854
16.500	234.535	409.781	18.400	260.206	455.244
16.600	235.887	412.177	18.500	261.555	457.633
16.700	237.240	414.572	18.600	262.905	460.023
16.800	238.592	416.968	18.700	264.254	462.412
16.900	239.944	419.362	18.800	265.603	464.801
17.000	241.296	421.757	18.900	266.952	467.189
17.100	242.647	424.151	19.000	268.301	469.577
17.200	243.999	426.544	19.100	269.650	471.965
17.300	245.350	428.938	19.200	270.998	474.353
17.400	246.702	431.331	19.300	272.346	476.740
17.500	248.053	433.723	19.400	273.695	479.127
17.600	249.404	436.116	19.500	275.043	481.513
17.700	250.755	438.508	19.600	276.391	483.900
17.800	252.105	440.899	19.700	277.738	486.285
17.900	253.456	443.291	19.800	279.086	488.671
18.000	254.806	445.682	19.900	280.433	491.056
			20.000	281.781	493.441

Рис. А3. График годографа NORP при $h=10$ км

h=20 км

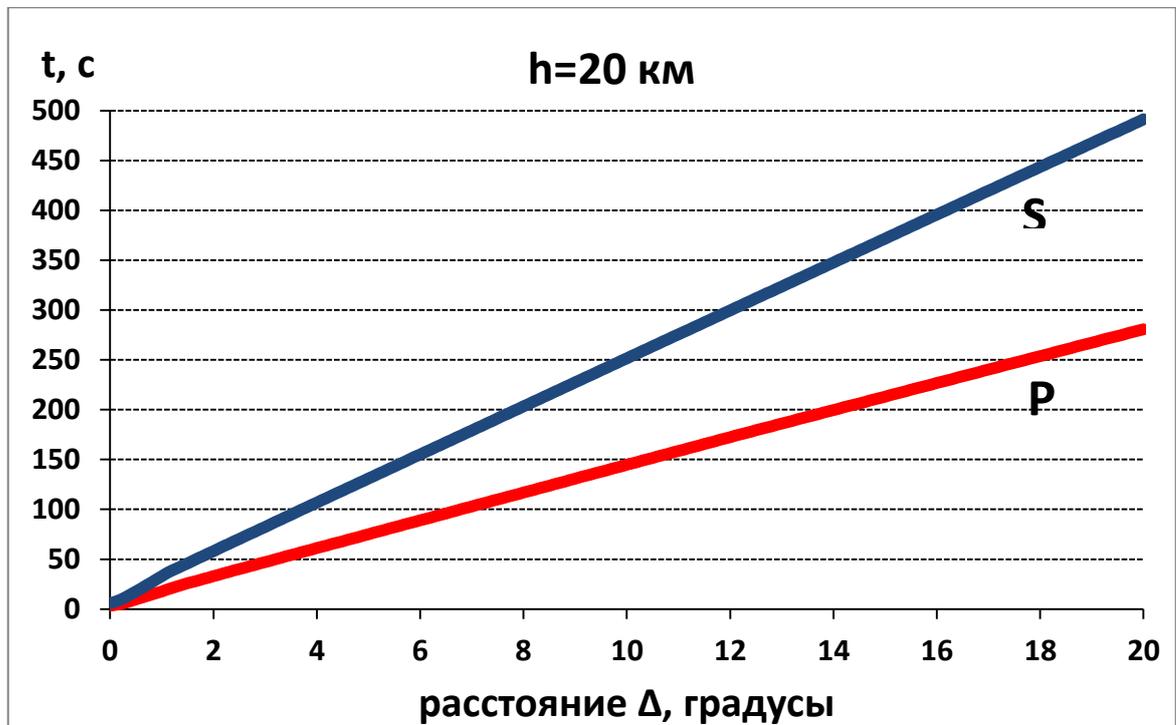
Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	3.187	5.902	3.800	58.326	101.966
0.100	4.027	7.466	3.900	59.721	104.401
0.200	4.975	9.208	4.000	61.116	106.836
0.300	6.461	11.954	4.100	62.511	109.253
0.400	7.984	14.812	4.200	63.906	111.668
0.500	9.519	17.682	4.300	65.301	114.082
0.600	11.090	20.569	4.400	66.696	116.497
0.700	12.753	23.625	4.500	68.090	118.911
0.800	14.417	26.730	4.600	69.485	121.326
0.900	16.083	29.847	4.700	70.880	123.740
1.000	17.749	32.972	4.800	72.275	126.154
1.100	19.416	36.106	4.900	73.669	128.569
1.200	21.082	38.646	5.000	75.064	130.983
1.300	22.749	41.082	5.100	76.459	133.397
1.400	24.416	43.517	5.200	77.853	135.811
1.500	25.847	45.953	5.300	79.248	138.225
1.600	27.270	48.389	5.400	80.642	140.639
1.700	28.693	50.824	5.500	82.037	143.053
1.800	30.117	53.260	5.600	83.431	145.467
1.900	31.540	55.696	5.700	84.825	147.881
2.000	32.963	58.131	5.800	86.220	150.295
2.100	34.386	60.567	5.900	87.614	152.709
2.200	35.809	63.003	6.000	89.008	155.122
2.300	37.232	65.438	6.100	90.402	157.536
2.400	38.655	67.874	6.200	91.797	159.949
2.500	40.078	70.309	6.300	93.191	162.363
2.600	41.501	72.744	6.400	94.585	164.776
2.700	42.924	75.180	6.500	95.979	167.190
2.800	44.347	77.615	6.600	97.373	169.603
2.900	45.770	80.051	6.700	98.767	172.016
3.000	47.166	82.486	6.800	100.161	174.429
3.100	48.561	84.921	6.900	101.554	176.842
3.200	49.956	87.356	7.000	102.948	179.255
3.300	51.351	89.791	7.100	104.342	181.668
3.400	52.746	92.226	7.200	105.736	184.081
3.500	54.141	94.661	7.300	107.129	186.493
3.600	55.536	97.096	7.400	108.523	188.906
3.700	56.931	99.531	7.500	109.916	191.318

Приложение А продолжение

7.600	111.310	193.731	11.900	171.153	297.341
7.700	112.703	196.143	12.000	172.543	299.747
7.800	114.096	198.555	12.100	173.917	302.153
7.900	115.489	200.967	12.200	175.274	304.559
8.000	116.883	203.379	12.300	176.631	306.965
8.100	118.276	205.791	12.400	177.987	309.370
8.200	119.669	208.203	12.500	179.344	311.775
8.300	121.062	210.615	12.600	180.701	314.180
8.400	122.455	213.026	12.700	182.057	316.585
8.500	123.847	215.438	12.800	183.413	318.990
8.600	125.240	217.849	12.900	184.770	321.394
8.700	126.633	220.260	13.000	186.126	323.798
8.800	128.025	222.671	13.100	187.482	326.202
8.900	129.418	225.082	13.200	188.838	328.606
9.000	130.810	227.493	13.300	190.194	331.009
9.100	132.203	229.904	13.400	191.550	333.412
9.200	133.595	232.315	13.500	192.905	335.815
9.300	134.987	234.725	13.600	194.261	338.217
9.400	136.379	237.136	13.700	195.617	340.619
9.500	137.771	239.546	13.800	196.972	343.022
9.600	139.163	241.956	13.900	198.328	345.424
9.700	140.555	244.365	14.000	199.683	347.825
9.800	141.947	246.775	14.100	201.038	350.227
9.900	143.339	249.184	14.200	202.393	352.628
10.000	144.730	251.594	14.300	203.748	355.029
10.100	146.122	254.003	14.400	205.103	357.430
10.200	147.513	256.412	14.500	206.458	359.830
10.300	148.905	258.821	14.600	207.813	362.231
10.400	150.296	261.230	14.700	209.167	364.631
10.500	151.687	263.638	14.800	210.522	367.031
10.600	153.078	266.047	14.900	211.876	369.431
10.700	154.469	268.455	15.000	213.230	371.830
10.800	155.860	270.863	15.100	214.585	374.229
10.900	157.251	273.271	15.200	215.939	376.628
11.000	158.642	275.679	15.300	217.293	379.027
11.100	160.033	278.086	15.400	218.647	381.425
11.200	161.423	280.494	15.500	220.000	383.823
11.300	162.813	282.901	15.600	221.354	386.221
11.400	164.204	285.308	15.700	222.708	388.619
11.500	165.594	287.715	15.800	224.061	391.017
11.600	166.984	290.122	15.900	225.414	393.414
11.700	168.374	292.529	16.000	226.767	395.811
11.800	169.764	294.935	16.100	228.121	398.207

Приложение А продолжение

16.200	229.474	400.604	18.100	255.151	446.078
16.300	230.826	403.000	18.200	256.500	448.468
16.400	232.179	405.396	18.300	257.850	450.858
16.500	233.532	407.792	18.400	259.200	453.248
16.600	234.884	410.187	18.500	260.549	455.637
16.700	236.236	412.582	18.600	261.898	458.026
16.800	237.588	414.977	18.700	263.248	460.415
16.900	238.940	417.372	18.800	264.596	462.804
17.000	240.292	419.766	18.900	265.945	465.192
17.100	241.643	422.159	19.000	267.294	467.580
17.200	242.995	424.552	19.100	268.643	469.967
17.300	244.346	426.945	19.200	269.991	472.354
17.400	245.697	429.338	19.300	271.339	474.741
17.500	247.048	431.730	19.400	272.687	477.128
17.600	248.399	434.122	19.500	274.035	479.514
17.700	249.750	436.514	19.600	275.383	481.900
17.800	251.100	438.905	19.700	276.730	484.286
17.900	252.450	441.297	19.800	278.078	486.671
18.000	253.801	443.687	19.900	279.425	489.056
			20.000	280.772	491.440

Рис. А4. График годографа NORP при $h=20$ км

h=30 км

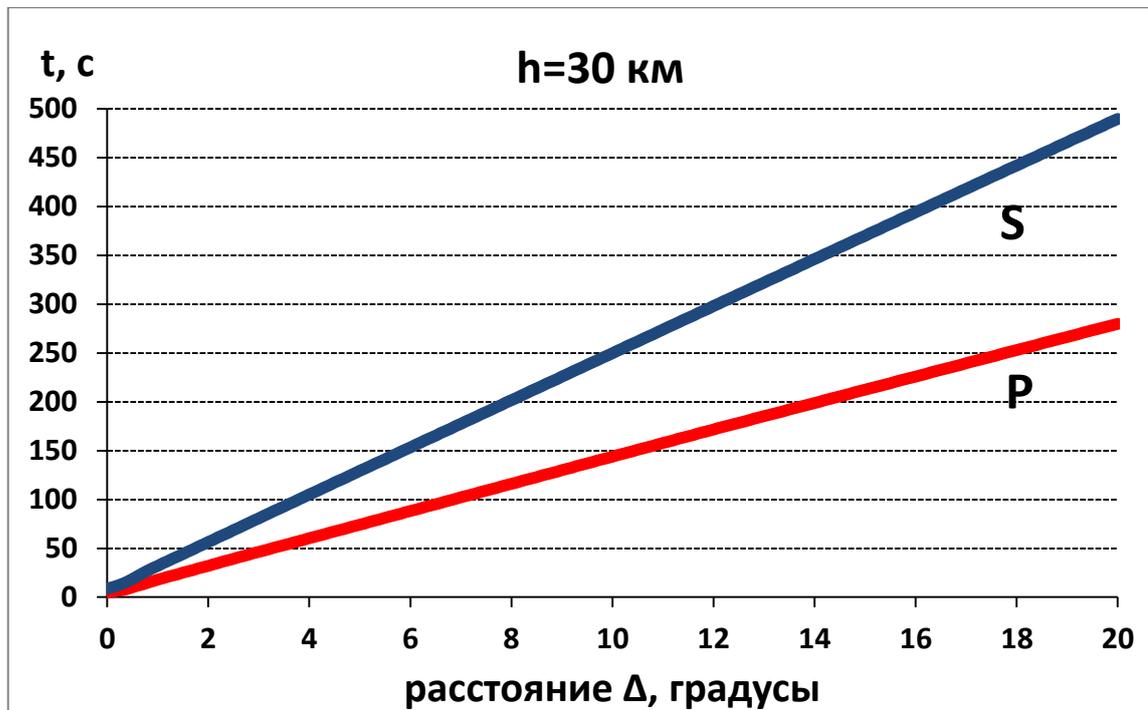
Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	4.699	8.712	3.800	57.518	100.272
0.100	5.540	10.276	3.900	58.913	102.706
0.200	6.392	11.881	4.000	60.308	105.124
0.300	7.339	13.622	4.100	61.703	107.538
0.400	8.638	15.955	4.200	63.098	109.953
0.500	10.124	18.702	4.300	64.493	112.367
0.600	11.612	21.504	4.400	65.888	114.782
0.700	13.147	24.362	4.500	67.282	117.196
0.800	14.718	27.209	4.600	68.677	119.611
0.900	16.316	29.645	4.700	70.072	122.025
1.000	17.947	32.081	4.800	71.466	124.439
1.100	19.375	34.516	4.900	72.861	126.853
1.200	20.798	36.952	5.000	74.256	129.268
1.300	22.221	39.388	5.100	75.650	131.682
1.400	23.644	41.824	5.200	77.045	134.096
1.500	25.067	44.259	5.300	78.439	136.510
1.600	26.491	46.695	5.400	79.834	138.924
1.700	27.914	49.131	5.500	81.228	141.338
1.800	29.337	51.566	5.600	82.623	143.752
1.900	30.760	54.002	5.700	84.017	146.165
2.000	32.183	56.437	5.800	85.411	148.579
2.100	33.606	58.873	5.900	86.805	150.993
2.200	35.029	61.309	6.000	88.200	153.406
2.300	36.452	63.744	6.100	89.594	155.820
2.400	37.875	66.180	6.200	90.988	158.233
2.500	39.298	68.615	6.300	92.382	160.647
2.600	40.721	71.050	6.400	93.776	163.060
2.700	42.144	73.486	6.500	95.170	165.473
2.800	43.567	75.921	6.600	96.564	167.887
2.900	44.963	78.356	6.700	97.958	170.300
3.000	46.358	80.792	6.800	99.352	172.713
3.100	47.753	83.227	6.900	100.745	175.126
3.200	49.148	85.662	7.000	102.139	177.538
3.300	50.543	88.097	7.100	103.533	179.951
3.400	51.938	90.532	7.200	104.926	182.364
3.500	53.334	92.967	7.300	106.320	184.776
3.600	54.728	95.402	7.400	107.713	187.189
3.700	56.123	97.837	7.500	109.107	189.601

Приложение А продолжение

7.600	110.500	192.014	11.900	170.340	295.618
7.700	111.893	194.426	12.000	171.714	298.024
7.800	113.287	196.838	12.100	173.071	300.430
7.900	114.680	199.250	12.200	174.428	302.835
8.000	116.073	201.662	12.300	175.785	305.240
8.100	117.466	204.074	12.400	177.141	307.646
8.200	118.859	206.485	12.500	178.498	310.051
8.300	120.252	208.897	12.600	179.854	312.455
8.400	121.644	211.308	12.700	181.210	314.860
8.500	123.037	213.720	12.800	182.567	317.264
8.600	124.430	216.131	12.900	183.923	319.669
8.700	125.822	218.542	13.000	185.279	322.073
8.800	127.215	220.953	13.100	186.635	324.476
8.900	128.607	223.364	13.200	187.991	326.879
9.000	130.000	225.775	13.300	189.347	329.282
9.100	131.392	228.185	13.400	190.703	331.685
9.200	132.784	230.596	13.500	192.058	334.088
9.300	134.177	233.006	13.600	193.414	336.490
9.400	135.569	235.416	13.700	194.769	338.892
9.500	136.961	237.826	13.800	196.125	341.294
9.600	138.352	240.236	13.900	197.480	343.696
9.700	139.744	242.645	14.000	198.835	346.097
9.800	141.136	245.055	14.100	200.190	348.499
9.900	142.528	247.464	14.200	201.545	350.900
10.000	143.919	249.873	14.300	202.900	353.300
10.100	145.311	252.282	14.400	204.255	355.701
10.200	146.702	254.691	14.500	205.610	358.101
10.300	148.093	257.100	14.600	206.964	360.501
10.400	149.484	259.509	14.700	208.319	362.901
10.500	150.876	261.917	14.800	209.673	365.301
10.600	152.267	264.325	14.900	211.028	367.700
10.700	153.658	266.733	15.000	212.382	370.100
10.800	155.048	269.141	15.100	213.736	372.499
10.900	156.439	271.549	15.200	215.090	374.897
11.000	157.830	273.957	15.300	216.444	377.296
11.100	159.220	276.364	15.400	217.797	379.694
11.200	160.611	278.772	15.500	219.151	382.092
11.300	162.000	281.179	15.600	220.505	384.490
11.400	163.391	283.586	15.700	221.858	386.887
11.500	164.781	285.992	15.800	223.211	389.284
11.600	166.171	288.399	15.900	224.565	391.681
11.700	167.561	290.806	16.000	225.918	394.078
11.800	168.950	293.212	16.100	227.271	396.474

Приложение А продолжение

16.200	228.624	398.871	18.100	254.298	444.339
16.300	229.976	401.267	18.200	255.647	446.729
16.400	231.329	403.662	18.300	256.997	449.119
16.500	232.681	406.058	18.400	258.346	451.508
16.600	234.033	408.453	18.500	259.696	453.897
16.700	235.385	410.848	18.600	261.045	456.286
16.800	236.737	413.242	18.700	262.394	458.674
16.900	238.089	415.636	18.800	263.742	461.062
17.000	239.440	418.030	18.900	265.091	463.450
17.100	240.792	420.423	19.000	266.440	465.838
17.200	242.143	422.816	19.100	267.788	468.225
17.300	243.495	425.208	19.200	269.136	470.612
17.400	244.846	427.601	19.300	270.484	472.998
17.500	246.196	429.993	19.400	271.832	475.385
17.600	247.547	432.384	19.500	273.180	477.771
17.700	248.897	434.776	19.600	274.528	480.156
17.800	250.248	437.167	19.700	275.875	482.541
17.900	251.598	439.558	19.800	277.222	484.926
18.000	252.948	441.949	19.900	278.570	487.311
			20.000	279.916	489.695

Рис. А5. График годографа NORP при $h=30$ км

h=35 км

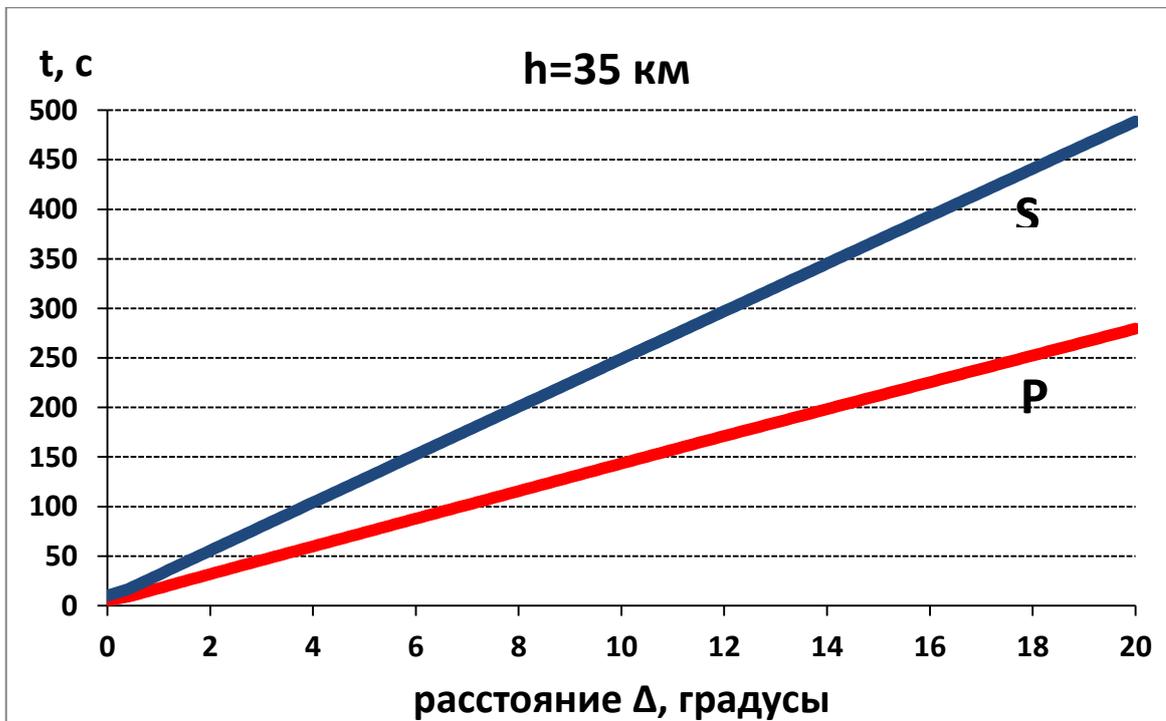
Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	5.466	10.089	3.800	57.051	99.362
0.100	6.307	11.647	3.900	58.446	101.779
0.200	7.159	13.211	4.000	59.841	104.194
0.300	8.026	14.816	4.100	61.236	106.608
0.400	8.973	16.557	4.200	62.631	109.023
0.500	10.397	18.993	4.300	64.026	111.437
0.600	11.820	21.429	4.400	65.420	113.852
0.700	13.243	23.865	4.500	66.815	116.266
0.800	14.666	26.300	4.600	68.210	118.680
0.900	16.089	28.736	4.700	69.604	121.095
1.000	17.513	31.172	4.800	71.000	123.509
1.100	18.936	33.608	4.900	72.394	125.923
1.200	20.359	36.043	5.000	73.788	128.337
1.300	21.782	38.479	5.100	75.183	130.751
1.400	23.205	40.915	5.200	76.577	133.165
1.500	24.629	43.351	5.300	77.972	135.579
1.600	26.052	45.786	5.400	79.366	137.993
1.700	27.475	48.222	5.500	80.761	140.407
1.800	28.898	50.657	5.600	82.155	142.821
1.900	30.321	53.093	5.700	83.549	145.235
2.000	31.744	55.529	5.800	84.943	147.648
2.100	33.167	57.964	5.900	86.338	150.062
2.200	34.590	60.400	6.000	87.732	152.476
2.300	36.013	62.835	6.100	89.126	154.889
2.400	37.436	65.271	6.200	90.520	157.302
2.500	38.859	67.706	6.300	91.914	159.716
2.600	40.282	70.141	6.400	93.308	162.129
2.700	41.705	72.577	6.500	94.702	164.542
2.800	43.101	75.012	6.600	96.096	166.955
2.900	44.496	77.447	6.700	97.490	169.368
3.000	45.891	79.882	6.800	98.883	171.781
3.100	47.286	82.317	6.900	100.277	174.194
3.200	48.681	84.753	7.000	101.671	176.607
3.300	50.076	87.188	7.100	103.064	179.019
3.400	51.472	89.623	7.200	104.458	181.432
3.500	52.866	92.057	7.300	105.851	183.844
3.600	54.261	94.492	7.400	107.245	186.257
3.700	55.656	96.927	7.500	108.638	188.669

Приложение А продолжение

7.600	110.031	191.081	11.900	169.852	294.679
7.700	111.425	193.493	12.000	171.209	297.085
7.800	112.818	195.905	12.100	172.566	299.491
7.900	114.211	198.317	12.200	173.923	301.896
8.000	115.604	200.729	12.300	175.279	304.301
8.100	116.997	203.141	12.400	176.636	306.706
8.200	118.390	205.552	12.500	177.992	309.111
8.300	119.782	207.964	12.600	179.348	311.516
8.400	121.175	210.375	12.700	180.705	313.920
8.500	122.568	212.786	12.800	182.061	316.324
8.600	123.960	215.198	12.900	183.417	318.728
8.700	125.353	217.609	13.000	184.773	321.132
8.800	126.745	220.019	13.100	186.129	323.535
8.900	128.138	222.430	13.200	187.485	325.938
9.000	129.530	224.841	13.300	188.841	328.341
9.100	130.922	227.251	13.400	190.196	330.743
9.200	132.315	229.662	13.500	191.552	333.146
9.300	133.707	232.072	13.600	192.907	335.548
9.400	135.099	234.482	13.700	194.263	337.950
9.500	136.490	236.891	13.800	195.618	340.351
9.600	137.882	239.301	13.900	196.973	342.753
9.700	139.274	241.710	14.000	198.328	345.154
9.800	140.666	244.120	14.100	199.683	347.555
9.900	142.057	246.529	14.200	201.038	349.956
10.000	143.449	248.938	14.300	202.393	352.357
10.100	144.840	251.347	14.400	203.748	354.757
10.200	146.231	253.756	14.500	205.102	357.157
10.300	147.622	256.164	14.600	206.457	359.557
10.400	149.014	258.573	14.700	207.811	361.957
10.500	150.405	260.981	14.800	209.166	364.356
10.600	151.796	263.389	14.900	210.520	366.755
10.700	153.186	265.797	15.000	211.874	369.154
10.800	154.577	268.205	15.100	213.228	371.553
10.900	155.968	270.612	15.200	214.582	373.951
11.000	157.358	273.020	15.300	215.935	376.350
11.100	158.749	275.427	15.400	217.289	378.747
11.200	160.139	277.834	15.500	218.643	381.145
11.300	161.529	280.241	15.600	219.996	383.543
11.400	162.919	282.648	15.700	221.349	385.940
11.500	164.309	285.055	15.800	222.703	388.337
11.600	165.699	287.461	15.900	224.056	390.734
11.700	167.088	289.867	16.000	225.409	393.130
11.800	168.478	292.273	16.100	226.762	395.526

Приложение А продолжение

16.200	228.114	397.922	18.100	253.785	443.384
16.300	229.467	400.318	18.200	255.135	445.774
16.400	230.819	402.713	18.300	256.484	448.163
16.500	232.171	405.108	18.400	257.833	450.553
16.600	233.523	407.503	18.500	259.183	452.941
16.700	234.875	409.898	18.600	260.532	455.330
16.800	236.227	412.292	18.700	261.880	457.718
16.900	237.578	414.685	18.800	263.229	460.106
17.000	238.930	417.078	18.900	264.578	462.493
17.100	240.281	419.471	19.000	265.926	464.881
17.200	241.633	421.864	19.100	267.274	467.267
17.300	242.984	424.256	19.200	268.622	469.654
17.400	244.334	426.648	19.300	269.970	472.040
17.500	245.685	429.040	19.400	271.318	474.426
17.600	247.035	431.431	19.500	272.666	476.812
17.700	248.386	433.823	19.600	274.013	479.197
17.800	249.736	436.214	19.700	275.360	481.582
17.900	251.086	438.604	19.800	276.708	483.967
18.000	252.436	440.994	19.900	278.054	486.351
			20.000	279.401	488.735

Рис. А6. График годографа NORP при $h=35$ км

Региональный годограф "Barents"

h=0 км

Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	0.000	0.000	3.800	59.245	103.661
0.100	1.794	3.106	3.900	60.585	106.017
0.200	3.587	6.212	4.000	61.924	108.372
0.300	5.380	9.318	4.100	63.263	110.727
0.400	7.174	12.424	4.200	64.603	113.082
0.500	8.967	15.530	4.300	65.942	115.437
0.600	10.761	18.636	4.400	67.281	117.793
0.700	12.554	21.742	4.500	68.620	120.148
0.800	14.348	24.848	4.600	69.960	122.503
0.900	16.141	27.954	4.700	71.299	124.858
1.000	17.935	31.060	4.800	72.638	127.213
1.100	19.728	34.166	4.900	73.977	129.568
1.200	21.521	37.272	5.000	75.316	131.922
1.300	23.315	40.377	5.100	76.655	134.277
1.400	25.108	43.483	5.200	77.994	136.632
1.500	26.819	46.440	5.300	79.333	138.987
1.600	28.475	49.306	5.400	80.672	141.342
1.700	30.130	52.172	5.500	82.011	143.696
1.800	31.785	55.038	5.600	83.350	146.051
1.900	33.339	57.904	5.700	84.689	148.405
2.000	34.703	60.490	5.800	86.028	150.760
2.100	36.068	62.892	5.900	87.367	153.114
2.200	37.432	65.294	6.000	88.705	155.468
2.300	38.796	67.696	6.100	90.044	157.823
2.400	40.160	70.098	6.200	91.383	160.177
2.500	41.524	72.500	6.300	92.722	162.531
2.600	42.888	74.902	6.400	94.060	164.885
2.700	44.252	77.303	6.500	95.399	167.239
2.800	45.616	79.705	6.600	96.737	169.593
2.900	46.980	82.107	6.700	98.076	171.947
3.000	48.344	84.509	6.800	99.414	174.301
3.100	49.708	86.911	6.900	100.753	176.654
3.200	51.072	89.312	7.000	102.091	179.008
3.300	52.436	91.714	7.100	103.430	181.361
3.400	53.800	94.116	7.200	104.768	183.715
3.500	55.163	96.517	7.300	106.106	186.068
3.600	56.527	98.919	7.400	107.444	188.421
3.700	57.891	101.306	7.500	108.782	190.775

Приложение А продолжение

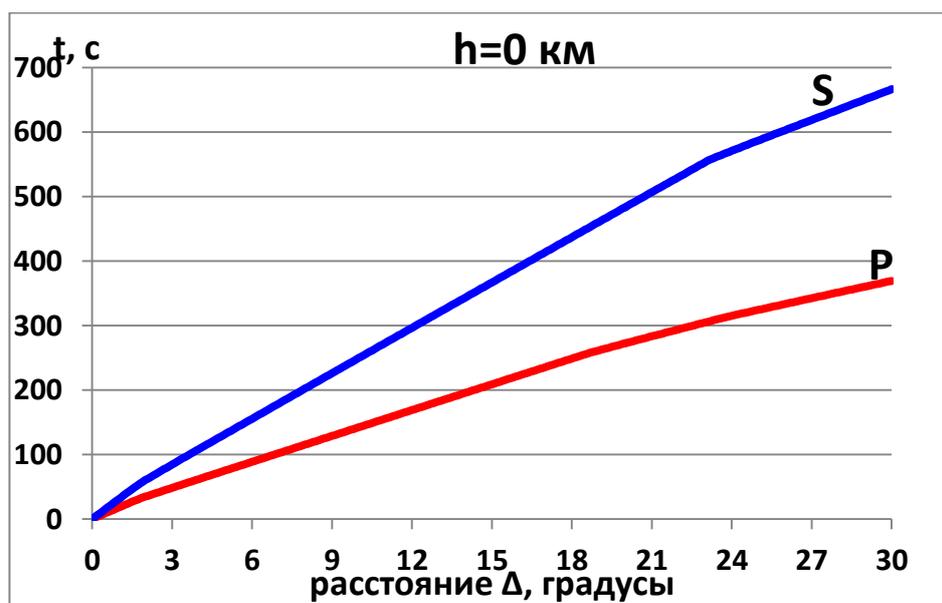
7.600	110.120	193.128	11.900	167.594	294.196
7.700	111.459	195.481	12.000	168.929	296.543
7.800	112.796	197.834	12.100	170.264	298.890
7.900	114.134	200.186	12.200	171.598	301.237
8.000	115.472	202.539	12.300	172.933	303.583
8.100	116.810	204.892	12.400	174.267	305.929
8.200	118.148	207.244	12.500	175.602	308.275
8.300	119.486	209.597	12.600	176.936	310.621
8.400	120.823	211.949	12.700	178.270	312.967
8.500	122.161	214.301	12.800	179.604	315.312
8.600	123.498	216.653	12.900	180.938	317.658
8.700	124.836	219.005	13.000	182.271	320.003
8.800	126.173	221.357	13.100	183.605	322.348
8.900	127.510	223.709	13.200	184.938	324.692
9.000	128.848	226.060	13.300	186.272	327.037
9.100	130.185	228.412	13.400	187.605	329.381
9.200	131.522	230.763	13.500	188.938	331.725
9.300	132.859	233.114	13.600	190.271	334.069
9.400	134.196	235.465	13.700	191.603	336.413
9.500	135.533	237.816	13.800	192.936	338.756
9.600	136.870	240.167	13.900	194.268	341.100
9.700	138.206	242.518	14.000	195.601	343.443
9.800	139.543	244.869	14.100	196.933	345.786
9.900	140.880	247.219	14.200	198.265	348.128
10.000	142.216	249.570	14.300	199.597	350.471
10.100	143.553	251.920	14.400	200.929	352.813
10.200	144.889	254.270	14.500	202.261	355.155
10.300	146.225	256.620	14.600	203.593	357.497
10.400	147.562	258.970	14.700	204.924	359.838
10.500	148.898	261.319	14.800	206.256	362.180
10.600	150.234	263.669	14.900	207.587	364.521
10.700	151.570	266.018	15.000	208.918	366.862
10.800	152.906	268.367	15.100	210.249	369.202
10.900	154.241	270.716	15.200	211.580	371.543
11.000	155.577	273.065	15.300	212.911	373.883
11.100	156.913	275.414	15.400	214.241	376.223
11.200	158.248	277.763	15.500	215.572	378.563
11.300	159.584	280.111	15.600	216.902	380.902
11.400	160.919	282.459	15.700	218.232	383.242
11.500	162.254	284.807	15.800	219.563	385.581
11.600	163.589	287.154	15.900	220.893	387.919
11.700	164.925	289.502	16.000	222.222	390.258
11.800	166.260	291.849	16.100	223.552	392.596

Приложение А продолжение

16.200	224.882	394.934	20.500	277.924	495.202
16.300	226.211	397.272	20.600	279.023	497.526
16.400	227.540	399.609	20.700	280.123	499.851
16.500	228.869	401.947	20.800	281.197	502.175
16.600	230.198	404.284	20.900	282.270	504.499
16.700	231.527	406.620	21.000	283.342	506.822
16.800	232.856	408.957	21.100	284.415	509.145
16.900	234.184	411.293	21.200	285.487	511.467
17.000	235.512	413.629	21.300	286.560	513.790
17.100	236.841	415.965	21.400	287.632	516.112
17.200	238.169	418.300	21.500	288.705	518.433
17.300	239.497	420.636	21.600	289.777	520.755
17.400	240.824	422.970	21.700	290.849	523.076
17.500	242.152	425.305	21.800	291.922	525.396
17.600	243.479	427.639	21.900	292.994	527.716
17.700	244.807	429.974	22.000	294.066	530.036
17.800	246.134	432.307	22.100	295.138	532.356
17.900	247.461	434.641	22.200	296.210	534.675
18.000	248.788	436.974	22.300	297.282	536.994
18.100	250.114	439.307	22.400	298.354	539.312
18.200	251.441	441.640	22.500	299.426	541.630
18.300	252.767	443.972	22.600	300.498	543.948
18.400	254.093	446.304	22.700	301.570	546.265
18.500	255.419	448.636	22.800	302.641	548.582
18.600	256.745	450.968	22.900	303.713	550.899
18.700	258.071	453.299	23.000	304.785	553.215
18.800	259.224	455.630	23.100	305.856	555.531
18.900	260.324	457.960	23.200	306.926	557.843
19.000	261.425	460.291	23.300	307.971	559.399
19.100	262.525	462.621	23.400	309.017	561.096
19.200	263.625	464.950	23.500	310.062	562.723
19.300	264.725	467.280	23.600	311.107	564.351
19.400	265.826	469.609	23.700	312.151	565.978
19.500	266.926	471.937	23.800	313.196	567.605
19.600	268.026	474.265	23.900	314.241	569.233
19.700	269.126	476.593	24.000	315.222	570.860
19.800	270.226	478.920	24.100	316.135	572.487
19.900	271.326	481.247	24.200	317.048	574.114
20.000	272.425	483.574	24.300	317.962	575.741
20.100	273.525	485.900	24.400	318.875	577.368
20.200	274.625	488.226	24.500	319.788	578.989
20.300	275.725	490.552	24.600	320.701	580.597
20.400	276.824	492.877	24.700	321.614	582.204

Приложение А продолжение

24.800	322.527	583.812	27.500	346.955	626.736
24.900	323.441	585.420	27.600	347.853	628.323
25.000	324.354	587.028	27.700	348.751	629.910
25.100	325.267	588.623	27.800	349.649	631.497
25.200	326.179	590.212	27.900	350.547	633.084
25.300	327.086	591.801	28.000	351.444	634.671
25.400	327.992	593.389	28.100	352.336	636.257
25.500	328.898	594.978	28.200	353.227	637.844
25.600	329.803	596.566	28.300	354.117	639.431
25.700	330.709	598.155	28.400	355.008	641.017
25.800	331.615	599.743	28.500	355.899	642.604
25.900	332.520	601.332	28.600	356.789	644.190
26.000	333.426	602.920	28.700	357.680	645.776
26.100	334.331	604.508	28.800	358.570	647.362
26.200	335.237	606.097	28.900	359.461	648.948
26.300	336.143	607.685	29.000	360.351	650.534
26.400	337.048	609.273	29.100	361.242	652.120
26.500	337.954	610.861	29.200	362.132	653.706
26.600	338.859	612.449	29.300	363.022	655.291
26.700	339.764	614.036	29.400	363.913	656.877
26.800	340.668	615.624	29.500	364.803	658.462
26.900	341.566	617.212	29.600	365.693	660.048
27.000	342.464	618.799	29.700	366.584	661.633
27.100	343.363	620.387	29.800	367.474	663.218
27.200	344.261	621.974	29.900	368.364	664.803
27.300	345.159	623.562	30.000	369.254	666.388
27.400	346.057	625.149			

Рис. А7. График годографа Varents при $h=0$ км

h=5 км

Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	0.807	1.397	3.800	58.690	102.736
0.100	1.966	3.405	3.900	60.030	105.091
0.200	3.675	6.365	4.000	61.369	107.446
0.300	5.438	9.419	4.100	62.708	109.801
0.400	7.216	12.497	4.200	64.047	112.156
0.500	9.000	15.587	4.300	65.387	114.512
0.600	10.787	18.681	4.400	66.726	116.867
0.700	12.575	21.778	4.500	68.065	119.222
0.800	14.365	24.877	4.600	69.404	121.577
0.900	16.155	27.978	4.700	70.743	123.932
1.000	17.946	31.079	4.800	72.082	126.287
1.100	19.737	34.181	4.900	73.422	128.642
1.200	21.528	37.283	5.000	74.761	130.996
1.300	23.200	40.172	5.100	76.100	133.351
1.400	24.856	43.038	5.200	77.439	135.706
1.500	26.511	45.904	5.300	78.778	138.061
1.600	28.166	48.770	5.400	80.117	140.415
1.700	29.822	51.636	5.500	81.456	142.770
1.800	31.445	54.502	5.600	82.794	145.124
1.900	32.809	57.209	5.700	84.133	147.479
2.000	34.173	59.611	5.800	85.472	149.833
2.100	35.537	62.013	5.900	86.811	152.187
2.200	36.901	64.415	6.000	88.150	154.542
2.300	38.265	66.817	6.100	89.488	156.896
2.400	39.629	69.219	6.200	90.827	159.250
2.500	40.993	71.621	6.300	92.166	161.604
2.600	42.357	74.022	6.400	93.504	163.958
2.700	43.721	76.424	6.500	94.843	166.312
2.800	45.085	78.826	6.600	96.181	168.666
2.900	46.449	81.228	6.700	97.520	171.020
3.000	47.813	83.630	6.800	98.858	173.373
3.100	49.177	86.031	6.900	100.197	175.727
3.200	50.541	88.433	7.000	101.535	178.080
3.300	51.905	90.835	7.100	102.873	180.434
3.400	53.269	93.236	7.200	104.212	182.787
3.500	54.633	95.638	7.300	105.550	185.140
3.600	55.996	98.025	7.400	106.888	187.494
3.700	57.351	100.380	7.500	108.226	189.847

Приложение А продолжение

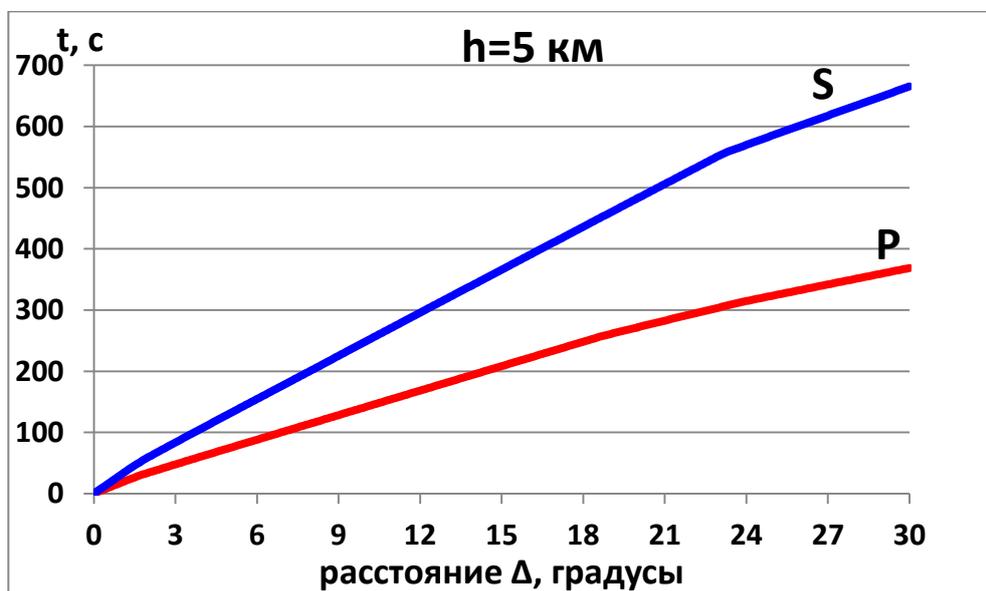
7.600	109.564	192.200	11.900	167.035	293.262
7.700	110.902	194.553	12.000	168.369	295.609
7.800	112.240	196.905	12.100	169.704	297.956
7.900	113.578	199.258	12.200	171.038	300.302
8.000	114.916	201.611	12.300	172.373	302.648
8.100	116.253	203.963	12.400	173.707	304.994
8.200	117.591	206.316	12.500	175.041	307.340
8.300	118.929	208.668	12.600	176.375	309.686
8.400	120.266	211.020	12.700	177.709	312.031
8.500	121.604	213.372	12.800	179.043	314.377
8.600	122.941	215.724	12.900	180.377	316.722
8.700	124.279	218.076	13.000	181.711	319.067
8.800	125.616	220.428	13.100	183.044	321.411
8.900	126.953	222.779	13.200	184.377	323.756
9.000	128.290	225.131	13.300	185.710	326.100
9.100	129.627	227.482	13.400	187.043	328.444
9.200	130.964	229.833	13.500	188.376	330.788
9.300	132.301	232.184	13.600	189.709	333.132
9.400	133.638	234.535	13.700	191.041	335.475
9.500	134.975	236.886	13.800	192.374	337.819
9.600	136.312	239.237	13.900	193.706	340.162
9.700	137.649	241.588	14.000	195.039	342.505
9.800	138.985	243.938	14.100	196.371	344.847
9.900	140.322	246.289	14.200	197.703	347.190
10.000	141.658	248.639	14.300	199.035	349.532
10.100	142.995	250.989	14.400	200.367	351.874
10.200	144.331	253.339	14.500	201.698	354.216
10.300	145.667	255.689	14.600	203.030	356.557
10.400	147.003	258.038	14.700	204.361	358.899
10.500	148.339	260.388	14.800	205.692	361.240
10.600	149.675	262.737	14.900	207.024	363.581
10.700	151.011	265.086	15.000	208.355	365.921
10.800	152.347	267.435	15.100	209.686	368.262
10.900	153.683	269.784	15.200	211.016	370.602
11.000	155.018	272.133	15.300	212.347	372.942
11.100	156.354	274.482	15.400	213.677	375.282
11.200	157.689	276.830	15.500	215.008	377.621
11.300	159.025	279.178	15.600	216.338	379.961
11.400	160.360	281.526	15.700	217.668	382.300
11.500	161.695	283.874	15.800	218.998	384.638
11.600	163.030	286.221	15.900	220.328	386.977
11.700	164.365	288.568	16.000	221.657	389.315
11.800	165.700	290.915	16.100	222.987	391.653
16.200	224.316	393.991	20.500	277.303	494.246
16.300	225.646	396.328	20.600	278.403	496.570
16.400	226.975	398.666	20.700	279.502	498.894

Приложение А продолжение

16.500	228.304	401.003	20.800	280.576	501.218
16.600	229.632	403.340	20.900	281.649	503.541
16.700	230.961	405.676	21.000	282.722	505.864
16.800	232.290	408.012	21.100	283.794	508.186
16.900	233.618	410.348	21.200	284.867	510.509
17.000	234.946	412.684	21.300	285.939	512.831
17.100	236.274	415.019	21.400	287.012	515.152
17.200	237.602	417.355	21.500	288.084	517.474
17.300	238.930	419.689	21.600	289.156	519.794
17.400	240.257	422.024	21.700	290.229	522.115
17.500	241.585	424.358	21.800	291.301	524.435
17.600	242.912	426.693	21.900	292.373	526.755
17.700	244.239	429.026	22.000	293.445	529.075
17.800	245.566	431.360	22.100	294.517	531.394
17.900	246.893	433.693	22.200	295.589	533.713
18.000	248.220	436.026	22.300	296.661	536.031
18.100	249.546	438.359	22.400	297.733	538.349
18.200	250.873	440.691	22.500	298.805	540.667
18.300	252.199	443.023	22.600	299.877	542.984
18.400	253.525	445.355	22.700	300.949	545.301
18.500	254.850	447.687	22.800	302.021	547.618
18.600	256.176	450.018	22.900	303.092	549.934
18.700	257.502	452.349	23.000	304.164	552.250
18.800	258.603	454.679	23.100	305.236	554.492
18.900	259.704	457.010	23.200	306.306	556.408
19.000	260.804	459.340	23.300	307.351	558.324
19.100	261.904	461.669	23.400	308.396	560.021
19.200	263.004	463.999	23.500	309.441	561.648
19.300	264.105	466.328	23.600	310.486	563.276
19.400	265.205	468.656	23.700	311.531	564.903
19.500	266.305	470.984	23.800	312.576	566.530
19.600	267.405	473.312	23.900	313.621	568.158
19.700	268.505	475.639	24.000	314.601	569.785
19.800	269.605	477.966	24.100	315.514	571.412
19.900	270.705	480.293	24.200	316.428	573.039
20.000	271.805	482.619	24.300	317.341	574.666
20.100	272.905	484.945	24.400	318.254	576.293
20.200	274.004	487.271	24.500	319.167	577.914
20.300	275.104	489.596	24.600	320.081	579.522
20.400	276.204	491.921	24.700	320.994	581.130
24.800	321.907	582.737	27.500	346.334	625.661
24.900	322.820	584.345	27.600	347.232	627.248
25.000	323.733	585.953	27.700	348.130	628.835
25.100	324.646	587.548	27.800	349.028	630.422
25.200	325.559	589.137	27.900	349.926	632.009
25.300	326.465	590.726	28.000	350.824	633.596

Приложение А продолжение

25.400	327.371	592.314	28.100	351.715	635.182
25.500	328.277	593.903	28.200	352.606	636.769
25.600	329.183	595.492	28.300	353.497	638.356
25.700	330.088	597.080	28.400	354.387	639.942
25.800	330.994	598.668	28.500	355.278	641.529
25.900	331.900	600.257	28.600	356.169	643.115
26.000	332.805	601.845	28.700	357.059	644.701
26.100	333.711	603.434	28.800	357.950	646.287
26.200	334.616	605.022	28.900	358.840	647.873
26.300	335.522	606.610	29.000	359.731	649.459
26.400	336.427	608.198	29.100	360.621	651.045
26.500	337.333	609.786	29.200	361.511	652.631
26.600	338.238	611.374	29.300	362.402	654.216
26.700	339.144	612.962	29.400	363.292	655.802
26.800	340.047	614.549	29.500	364.182	657.387
26.900	340.946	616.137	29.600	365.073	658.973
27.000	341.844	617.724	29.700	365.963	660.558
27.100	342.742	619.312	29.800	366.853	662.143
27.200	343.640	620.899	29.900	367.743	663.728
27.300	344.538	622.487	30.000	368.633	665.313
27.400	345.436	624.074			

Рис. А8. График годографа Varents при $h=5$ км

h=10 км

Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	1.613	2.793	3.800	58.204	101.894
0.100	2.411	4.175	3.900	59.544	104.249
0.200	3.930	6.806	4.000	60.883	106.605
0.300	5.613	9.720	4.100	62.222	108.960
0.400	7.348	12.725	4.200	63.561	111.315
0.500	9.104	15.767	4.300	64.901	113.670
0.600	10.873	18.830	4.400	66.240	116.025
0.700	12.648	21.904	4.500	67.579	118.380
0.800	14.427	24.985	4.600	68.918	120.735
0.900	16.209	28.071	4.700	70.257	123.00
1.000	17.927	31.043	4.800	71.596	125.445
1.100	19.583	33.909	4.900	72.936	127.800
1.200	21.238	36.775	5.000	74.275	130.155
1.300	22.894	39.641	5.100	75.614	132.509
1.400	24.549	42.507	5.200	76.953	134.864
1.500	26.205	45.373	5.300	78.292	137.219
1.600	27.860	48.239	5.400	79.631	139.574
1.700	29.515	51.105	5.500	80.970	141.928
1.800	30.959	53.965	5.600	82.309	144.283
1.900	32.323	56.367	5.700	83.647	146.637
2.000	33.687	58.769	5.800	84.986	148.991
2.100	35.051	61.171	5.900	86.325	151.346
2.200	36.415	63.573	6.000	87.664	153.700
2.300	37.779	65.975	6.100	89.002	156.054
2.400	39.143	68.377	6.200	90.341	158.408
2.500	40.507	70.779	6.300	91.680	160.762
2.600	41.871	73.181	6.400	93.018	163.116
2.700	43.235	75.583	6.500	94.357	165.470
2.800	44.599	77.984	6.600	95.695	167.824
2.900	45.963	80.386	6.700	97.034	170.178
3.000	47.327	82.788	6.800	98.372	172.532
3.100	48.691	85.190	6.900	99.711	174.885
3.200	50.055	87.591	7.000	101.049	177.239
3.300	51.419	89.993	7.100	102.387	179.592
3.400	52.783	92.394	7.200	103.726	181.946
3.500	54.147	94.796	7.300	105.064	184.299
3.600	55.511	97.183	7.400	106.402	186.652
3.700	56.865	99.539	7.500	107.740	189.005

Приложение А продолжение

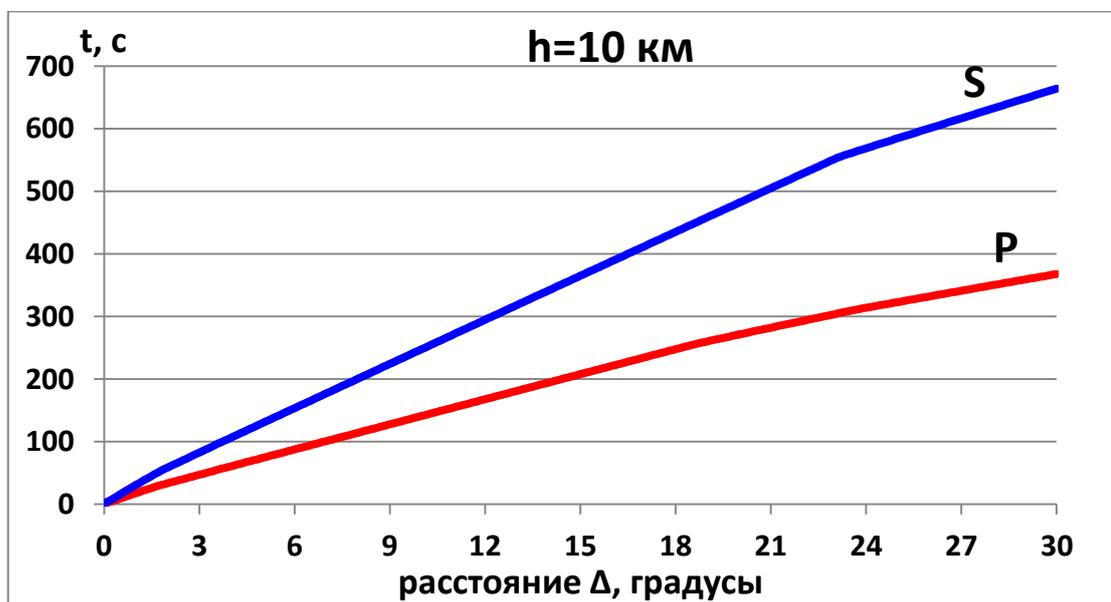
7.600	109.078	191.358	11.900	166.549	292.421
7.700	110.416	193.711	12.000	167.883	294.767
7.800	111.754	196.064	12.100	169.218	297.114
7.900	113.092	198.416	12.200	170.552	299.460
8.000	114.430	200.769	12.300	171.887	301.807
8.100	115.767	203.122	12.400	173.221	304.153
8.200	117.105	205.474	12.500	174.555	306.499
8.300	118.443	207.826	12.600	175.889	308.844
8.400	119.780	210.178	12.700	177.223	311.190
8.500	121.118	212.530	12.800	178.557	313.535
8.600	122.455	214.882	12.900	179.891	315.880
8.700	123.793	217.234	13.000	181.225	318.225
8.800	125.130	219.586	13.100	182.558	320.570
8.900	126.467	221.938	13.200	183.891	322.914
9.000	127.804	224.289	13.300	185.224	325.259
9.100	129.141	226.640	13.400	186.557	327.603
9.200	130.478	228.992	13.500	187.890	329.947
9.300	131.815	231.343	13.600	189.223	332.290
9.400	133.152	233.694	13.700	190.556	334.634
9.500	134.489	236.045	13.800	191.888	336.977
9.600	135.826	238.396	13.900	193.220	339.320
9.700	137.163	240.746	14.000	194.553	341.663
9.800	138.499	243.097	14.100	195.885	344.006
9.900	139.836	245.447	14.200	197.217	346.348
10.000	141.172	247.797	14.300	198.549	348.690
10.100	142.509	250.147	14.400	199.881	351.032
10.200	143.845	252.497	14.500	201.212	353.374
10.300	145.181	254.847	14.600	202.544	355.716
10.400	146.517	257.197	14.700	203.875	358.057
10.500	147.853	259.546	14.800	205.207	360.398
10.600	149.189	261.895	14.900	206.538	362.739
10.700	150.525	264.245	15.000	207.869	365.080
10.800	151.861	266.594	15.100	209.200	367.420
10.900	153.197	268.943	15.200	210.530	369.760
11.000	154.532	271.291	15.300	211.861	372.100
11.100	155.868	273.640	15.400	213.191	374.440
11.200	157.203	275.988	15.500	214.522	376.780
11.300	158.539	278.336	15.600	215.852	379.119
11.400	159.874	280.684	15.700	217.182	381.458
11.500	161.209	283.032	15.800	218.512	383.797
11.600	162.544	285.379	15.900	219.842	386.135
11.700	163.879	287.727	16.000	221.172	388.474
11.800	165.214	290.074	16.100	222.501	390.812
16.200	223.830	393.149	20.500	276.817	493.404
16.300	225.160	395.487	20.600	277.917	495.728
16.400	226.489	397.824	20.700	279.016	498.052

Приложение А продолжение

16.500	227.818	400.161	20.800	280.090	500.376
16.600	229.146	402.498	20.900	281.163	502.699
16.700	230.475	404.834	21.000	282.236	505.022
16.800	231.804	407.171	21.100	283.308	507.345
16.900	233.132	409.507	21.200	284.381	509.667
17.000	234.460	411.842	21.300	285.453	511.989
17.100	235.788	414.178	21.400	286.526	514.311
17.200	237.116	416.513	21.500	287.598	516.632
17.300	238.444	418.848	21.600	288.670	518.953
17.400	239.771	421.182	21.700	289.743	521.273
17.500	241.099	423.517	21.800	290.815	523.594
17.600	242.426	425.851	21.900	291.887	525.914
17.700	243.753	428.185	22.000	292.959	528.233
17.800	245.080	430.518	22.100	294.031	530.552
17.900	246.407	432.851	22.200	295.103	532.871
18.000	247.734	435.184	22.300	296.175	535.189
18.100	249.060	437.517	22.400	297.247	537.507
18.200	250.387	439.850	22.500	298.319	539.825
18.300	251.713	442.182	22.600	299.391	542.142
18.400	253.039	444.513	22.700	300.463	544.459
18.500	254.365	446.845	22.800	301.535	546.776
18.600	255.690	449.176	22.900	302.607	549.092
18.700	257.016	451.507	23.000	303.678	551.408
18.800	258.117	453.838	23.100	304.750	553.651
18.900	259.218	456.168	23.200	305.798	555.567
19.000	260.318	458.498	23.300	306.843	557.332
19.100	261.418	460.828	23.400	307.888	558.959
19.200	262.519	463.157	23.500	308.933	560.586
19.300	263.619	465.486	23.600	309.978	562.214
19.400	264.719	467.815	23.700	311.023	563.841
19.500	265.819	470.143	23.800	312.068	565.468
19.600	266.919	472.470	23.900	313.048	567.096
19.700	268.019	474.797	24.000	313.961	568.723
19.800	269.119	477.124	24.100	314.875	570.350
19.900	270.219	479.451	24.200	315.788	571.977
20.000	271.319	481.777	24.300	316.701	573.604
20.100	272.419	484.103	24.400	317.614	575.224
20.200	273.518	486.429	24.500	318.528	576.832
20.300	274.618	488.754	24.600	319.441	578.440
20.400	275.718	491.079	24.700	320.354	580.048
24.800	321.267	581.656	27.500	345.679	624.559
24.900	322.180	583.264	27.600	346.577	626.146
25.000	323.093	584.859	27.700	347.475	627.733
25.100	324.006	586.448	27.800	348.373	629.320
25.200	324.913	588.036	27.900	349.271	630.906
25.300	325.818	589.625	28.000	350.163	632.493

Приложение А продолжение

25.400	326.724	591.214	28.100	351.053	634.080
25.500	327.630	592.802	28.200	351.944	635.666
25.600	328.535	594.391	28.300	352.834	637.253
25.700	329.441	595.979	28.400	353.725	638.839
25.800	330.347	597.568	28.500	354.616	640.425
25.900	331.252	599.156	28.600	355.506	642.012
26.000	332.158	600.744	28.700	356.397	643.598
26.100	333.063	602.332	28.800	357.287	645.184
26.200	333.969	603.920	28.900	358.178	646.770
26.300	334.874	605.508	29.000	359.068	648.356
26.400	335.780	607.096	29.100	359.958	649.941
26.500	336.685	608.684	29.200	360.849	651.527
26.600	337.591	610.272	29.300	361.739	653.113
26.700	338.494	611.860	29.400	362.630	654.698
26.800	339.393	613.448	29.500	363.520	656.283
26.900	340.291	615.035	29.600	364.410	657.869
27.000	341.189	616.623	29.700	365.300	659.454
27.100	342.087	618.210	29.800	366.190	661.039
27.200	342.985	619.797	29.900	367.080	662.624
27.300	343.883	621.384	30.000	367.970	664.209
27.400	344.781	622.972			

Рис. А9. График годографа Varents при $h=10$ км

h=20 км

Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	3.178	5.503	3.800	57.178	100.153
0.100	3.738	6.474	3.900	58.517	102.508
0.200	4.901	8.486	4.000	59.857	104.863
0.300	6.175	10.692	4.100	61.196	107.218
0.400	7.721	13.370	4.200	62.535	109.574
0.500	9.325	16.147	4.300	63.874	111.929
0.600	10.962	18.981	4.400	65.214	114.284
0.700	12.608	21.831	4.500	66.553	116.639
0.800	14.257	24.687	4.600	67.892	118.994
0.900	15.909	27.546	4.700	69.231	121.349
1.000	17.561	30.406	4.800	70.570	123.704
1.100	19.214	33.268	4.900	71.909	126.058
1.200	20.868	36.131	5.000	73.248	128.413
1.300	22.521	38.994	5.100	74.587	130.768
1.400	24.175	41.857	5.200	75.926	133.123
1.500	25.829	44.721	5.300	77.265	135.477
1.600	27.229	47.467	5.400	78.604	137.832
1.700	28.593	49.869	5.500	79.943	140.186
1.800	29.958	52.271	5.600	81.282	142.541
1.900	31.322	54.673	5.700	82.621	144.895
2.000	32.686	57.075	5.800	83.960	147.249
2.100	34.050	59.477	5.900	85.298	149.604
2.200	35.414	61.879	6.000	86.637	151.958
2.300	36.778	64.281	6.100	87.976	154.312
2.400	38.142	66.683	6.200	89.314	156.666
2.500	39.506	69.084	6.300	90.653	159.020
2.600	40.870	71.486	6.400	91.992	161.374
2.700	42.234	73.888	6.500	93.330	163.728
2.800	43.598	76.290	6.600	94.669	166.082
2.900	44.962	78.692	6.700	96.007	168.435
3.000	46.326	81.093	6.800	97.345	170.789
3.100	47.690	83.495	6.900	98.684	173.142
3.200	49.054	85.897	7.000	100.022	175.496
3.300	50.417	88.298	7.100	101.360	177.849
3.400	51.781	90.700	7.200	102.698	180.202
3.500	53.145	93.087	7.300	104.036	182.556
3.600	54.499	95.442	7.400	105.375	184.909
3.700	55.839	97.798	7.500	106.713	187.262

Приложение А продолжение

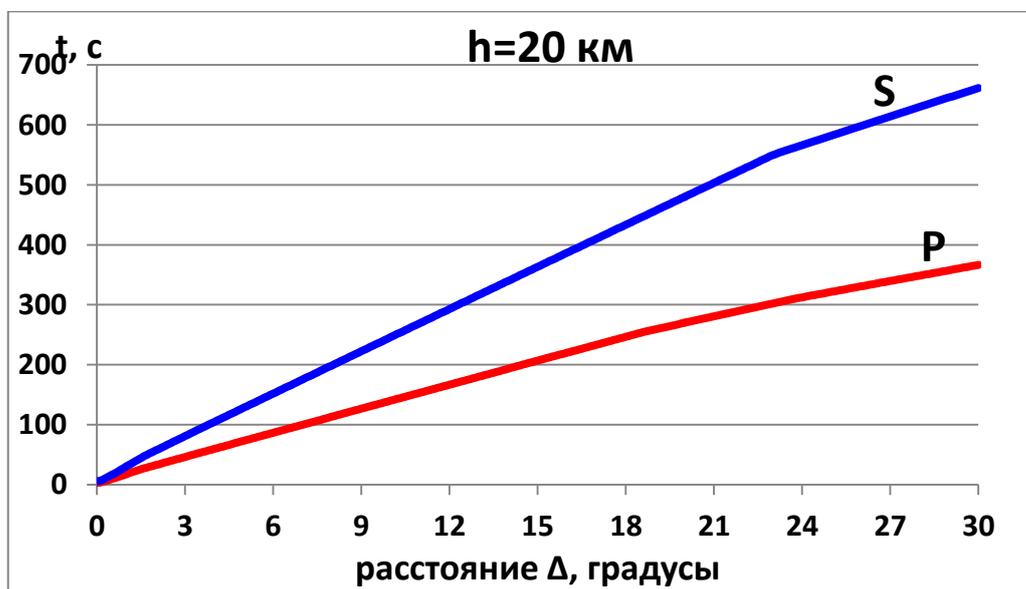
7.600	108.051	189.615	11.900	165.518	290.671
7.700	109.388	191.967	12.000	166.853	293.018
7.800	110.726	194.320	12.100	168.187	295.364
7.900	112.064	196.673	12.200	169.521	297.710
8.000	113.402	199.025	12.300	170.856	300.056
8.100	114.740	201.378	12.400	172.190	302.402
8.200	116.077	203.730	12.500	173.524	304.748
8.300	117.415	206.082	12.600	174.858	307.093
8.400	118.752	208.434	12.700	176.192	309.439
8.500	120.090	210.786	12.800	177.526	311.784
8.600	121.427	213.138	12.900	178.859	314.129
8.700	122.764	215.490	13.000	180.193	316.473
8.800	124.102	217.841	13.100	181.526	318.818
8.900	125.439	220.193	13.200	182.859	321.162
9.000	126.776	222.544	13.300	184.192	323.506
9.100	128.113	224.895	13.400	185.525	325.850
9.200	129.450	227.246	13.500	186.857	328.194
9.300	130.787	229.598	13.600	188.190	330.537
9.400	132.124	231.948	13.700	189.522	332.881
9.500	133.461	234.299	13.800	190.855	335.224
9.600	134.797	236.650	13.900	192.187	337.567
9.700	136.134	239.000	14.000	193.519	339.909
9.800	137.470	241.351	14.100	194.851	342.252
9.900	138.807	243.701	14.200	196.183	344.594
10.000	140.143	246.051	14.300	197.514	346.936
10.100	141.479	248.401	14.400	198.846	349.278
10.200	142.816	250.751	14.500	200.177	351.619
10.300	144.152	253.100	14.600	201.508	353.961
10.400	145.488	255.450	14.700	202.840	356.302
10.500	146.824	257.799	14.800	204.171	358.643
10.600	148.160	260.148	14.900	205.502	360.983
10.700	149.495	262.497	15.000	206.832	363.324
10.800	150.831	264.846	15.100	208.163	365.664
10.900	152.167	267.195	15.200	209.493	368.004
11.000	153.502	269.544	15.300	210.824	370.344
11.100	154.838	271.892	15.400	212.154	372.683
11.200	156.173	274.240	15.500	213.484	375.023
11.300	157.508	276.588	15.600	214.814	377.362
11.400	158.844	278.936	15.700	216.144	379.700
11.500	160.179	281.283	15.800	217.473	382.039
11.600	161.514	283.630	15.900	218.803	384.377
11.700	162.848	285.977	16.000	220.132	386.715
11.800	164.183	288.324	16.100	221.462	389.053
16.200	222.791	391.390	20.500	275.461	491.632
16.300	224.120	393.728	20.600	276.560	493.956
16.400	225.448	396.065	20.700	277.635	496.280

Приложение А продолжение

16.500	226.777	398.402	20.800	278.707	498.603
16.600	228.106	400.738	20.900	279.780	500.926
16.700	229.434	403.074	21.000	280.852	503.249
16.800	230.762	405.410	21.100	281.925	505.571
16.900	232.090	407.746	21.200	282.997	507.893
17.000	233.418	410.081	21.300	284.070	510.214
17.100	234.746	412.417	21.400	285.142	512.536
17.200	236.073	414.751	21.500	286.215	514.857
17.300	237.401	417.086	21.600	287.287	517.177
17.400	238.728	419.420	21.700	288.359	519.497
17.500	240.055	421.755	21.800	289.431	521.817
17.600	241.382	424.088	21.900	290.503	524.137
17.700	242.709	426.422	22.000	291.576	526.456
17.800	244.036	428.755	22.100	292.648	528.775
17.900	245.362	431.088	22.200	293.720	531.093
18.000	246.689	433.421	22.300	294.792	533.411
18.100	248.015	435.753	22.400	295.864	535.729
18.200	249.341	438.085	22.500	296.935	538.046
18.300	250.667	440.417	22.600	298.007	540.363
18.400	251.992	442.749	22.700	299.079	542.680
18.500	253.318	445.080	22.800	300.151	544.996
18.600	254.644	447.411	22.900	301.222	547.312
18.700	255.969	449.741	23.000	302.294	549.628
18.800	257.294	452.072	23.100	303.364	551.944
18.900	258.619	454.402	23.200	304.435	554.260
19.000	259.944	456.732	23.300	305.505	556.576
19.100	261.269	459.061	23.400	306.576	558.892
19.200	262.594	461.390	23.500	307.646	561.208
19.300	263.919	463.718	23.600	308.717	563.524
19.400	265.244	466.046	23.700	309.787	565.840
19.500	266.569	468.374	23.800	310.858	568.156
19.600	267.894	470.701	23.900	311.928	570.472
19.700	269.219	473.028	24.000	312.999	572.788
19.800	270.544	475.355	24.100	314.069	575.104
19.900	271.869	477.681	24.200	315.140	577.420
20.000	273.194	480.007	24.300	316.210	579.736
20.100	274.519	482.333	24.400	317.281	582.052
20.200	275.844	484.658	24.500	318.351	584.368
20.300	277.169	486.983	24.600	319.422	586.684
20.400	278.494	489.307	24.700	320.492	589.000
24.800	319.766	579.057	27.500	344.178	621.960
24.900	320.679	580.664	27.600	345.076	623.547
25.000	321.592	582.260	27.700	345.974	625.134
25.100	322.505	583.849	27.800	346.872	626.721
25.200	323.412	585.437	27.900	347.770	628.307
25.300	324.317	587.026	28.000	348.662	629.894

Приложение А продолжение

25.400	325.223	588.615	28.100	349.552	631.481
25.500	326.129	590.203	28.200	350.443	633.067
25.600	327.034	591.792	28.300	351.334	634.654
25.700	327.940	593.380	28.400	352.224	636.240
25.800	328.846	594.968	28.500	353.115	637.826
25.900	329.751	596.557	28.600	354.005	639.413
26.000	330.657	598.145	28.700	354.896	641.000
26.100	331.563	599.733	28.800	355.786	642.585
26.200	332.468	601.321	28.900	356.677	644.171
26.300	333.374	602.909	29.000	357.567	645.757
26.400	334.279	604.497	29.100	358.458	647.342
26.500	335.184	606.085	29.200	359.348	648.928
26.600	336.090	607.673	29.300	360.238	650.514
26.700	336.994	609.261	29.400	361.129	652.099
26.800	337.892	610.848	29.500	362.019	653.684
26.900	338.790	612.436	29.600	362.909	655.270
27.000	339.688	614.023	29.700	363.799	656.855
27.100	340.586	615.611	29.800	364.689	658.440
27.200	341.484	617.198	29.900	365.579	660.025
27.300	342.382	618.785	30.000	366.469	661.610
27.400	343.280	620.373			

Рис. А10. График годографа Varents при $h=20$ км

h=30 км

Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с	Расстояние Δ , градусы	Время P, с	Время S, с
0.000	4.670	8.087	3.800	56.297	98.700
0.100	5.231	9.058	3.900	57.636	101.056
0.200	5.806	10.054	4.000	58.975	103.411
0.300	7.054	12.213	4.100	60.315	105.766
0.400	8.327	14.419	4.200	61.654	108.121
0.500	9.798	16.966	4.300	62.993	110.476
0.600	11.344	19.643	4.400	64.332	112.831
0.700	12.898	22.333	4.500	65.671	115.186
0.800	14.489	25.088	4.600	67.010	117.541
0.900	16.101	27.878	4.700	68.349	119.895
1.000	17.724	30.688	4.800	69.688	122.250
1.100	19.354	33.511	4.900	71.028	124.605
1.200	20.941	36.342	5.000	72.367	126.960
1.300	22.305	38.902	5.100	73.705	129.314
1.400	23.669	41.304	5.200	75.044	131.669
1.500	25.034	43.706	5.300	76.383	134.023
1.600	26.398	46.108	5.400	77.722	136.378
1.700	27.762	48.510	5.500	79.061	138.732
1.800	29.126	50.912	5.600	80.400	141.086
1.900	30.490	53.314	5.700	81.739	143.441
2.000	31.854	55.716	5.800	83.077	145.795
2.100	33.218	58.118	5.900	84.416	148.149
2.200	34.582	60.520	6.000	85.755	150.503
2.300	35.946	62.921	6.100	87.093	152.857
2.400	37.310	65.323	6.200	88.432	155.211
2.500	38.674	67.725	6.300	89.770	157.565
2.600	40.038	70.127	6.400	91.109	159.919
2.700	41.402	72.529	6.500	92.447	162.272
2.800	42.766	74.930	6.600	93.786	164.626
2.900	44.130	77.332	6.700	95.124	166.979
3.000	45.494	79.734	6.800	96.462	169.333
3.100	46.858	82.135	6.900	97.800	171.686
3.200	48.221	84.537	7.000	99.139	174.039
3.300	49.585	86.924	7.100	100.477	176.393
3.400	50.940	89.279	7.200	101.815	178.746
3.500	52.279	91.635	7.300	103.153	181.099
3.600	53.618	93.990	7.400	104.491	183.452
3.700	54.958	96.345	7.500	105.829	185.804

Приложение А продолжение

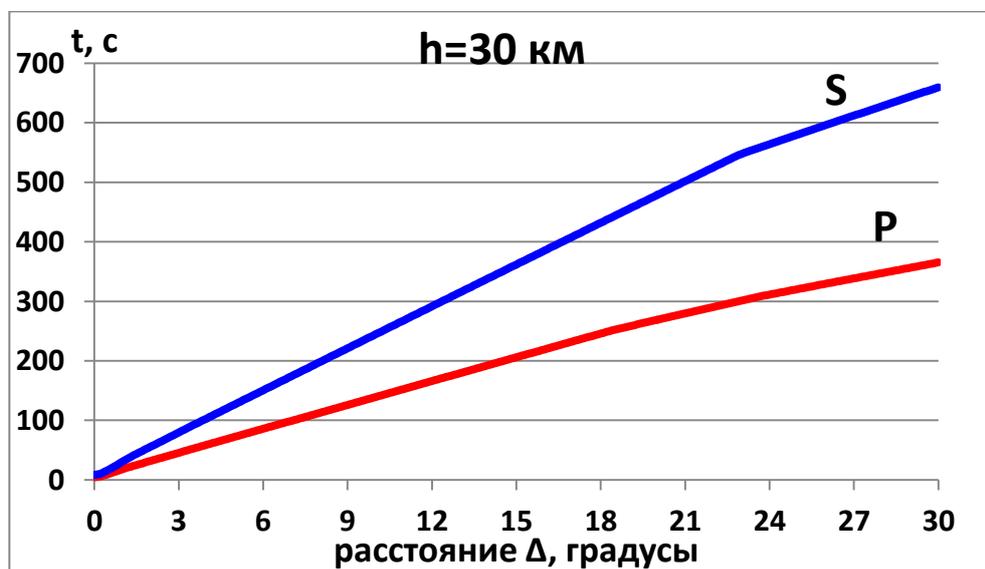
7.600	107.167	188.157	11.900	164.627	289.201
7.700	108.504	190.510	12.000	165.962	291.547
7.800	109.842	192.862	12.100	167.296	293.893
7.900	111.180	195.215	12.200	168.630	296.239
8.000	112.517	197.567	12.300	169.964	298.585
8.100	113.855	199.919	12.400	171.298	300.930
8.200	115.193	202.271	12.500	172.632	303.276
8.300	116.530	204.623	12.600	173.966	305.621
8.400	117.867	206.975	12.700	175.299	307.966
8.500	119.205	209.327	12.800	176.633	310.310
8.600	120.542	211.678	12.900	177.966	312.655
8.700	121.879	214.030	13.000	179.299	315.000
8.800	123.216	216.381	13.100	180.632	317.343
8.900	124.553	218.732	13.200	181.965	319.687
9.000	125.890	221.084	13.300	183.298	322.031
9.100	127.227	223.435	13.400	184.630	324.375
9.200	128.564	225.785	13.500	185.963	326.718
9.300	129.901	228.136	13.600	187.295	329.061
9.400	131.237	230.487	13.700	188.627	331.404
9.500	132.574	232.837	13.800	189.960	333.746
9.600	133.911	235.188	13.900	191.292	336.089
9.700	135.247	237.538	14.000	192.624	338.431
9.800	136.583	239.888	14.100	193.955	340.773
9.900	137.920	242.238	14.200	195.287	343.115
10.000	139.256	244.588	14.300	196.619	345.456
10.100	140.592	246.937	14.400	197.950	347.798
10.200	141.928	249.287	14.500	199.281	350.139
10.300	143.264	251.636	14.600	200.612	352.480
10.400	144.600	253.985	14.700	201.943	354.821
10.500	145.936	256.334	14.800	203.274	357.161
10.600	147.271	258.683	14.900	204.605	359.501
10.700	148.607	261.032	15.000	205.936	361.841
10.800	149.943	263.381	15.100	207.266	364.181
10.900	151.278	265.729	15.200	208.597	366.520
11.000	152.613	268.077	15.300	209.927	368.860
11.100	153.949	270.425	15.400	211.257	371.199
11.200	155.284	272.773	15.500	212.587	373.537
11.300	156.619	275.120	15.600	213.917	375.876
11.400	157.954	277.467	15.700	215.246	378.214
11.500	159.289	279.814	15.800	216.576	380.552
11.600	160.623	282.161	15.900	217.905	382.890
11.700	161.958	284.508	16.000	219.234	385.228
11.800	163.293	286.855	16.100	220.564	387.565
16.200	221.892	389.902	20.500	274.333	490.117
16.300	223.221	392.239	20.600	275.407	492.440
16.400	224.550	394.575	20.700	276.480	494.763

Приложение А продолжение

16.500	225.878	396.911	20.800	277.553	497.086
16.600	227.207	399.247	20.900	278.625	499.408
16.700	228.535	401.583	21.000	279.698	501.730
16.800	229.863	403.918	21.100	280.770	504.051
16.900	231.191	406.254	21.200	281.843	506.373
17.000	232.519	408.589	21.300	282.915	508.694
17.100	233.846	410.923	21.400	283.987	511.014
17.200	235.174	413.258	21.500	285.060	513.334
17.300	236.501	415.592	21.600	286.132	515.654
17.400	237.828	417.925	21.700	287.204	517.974
17.500	239.155	420.259	21.800	288.276	520.293
17.600	240.482	422.592	21.900	289.348	522.612
17.700	241.809	424.925	22.000	290.420	524.930
17.800	243.135	427.258	22.100	291.492	527.248
17.900	244.461	429.590	22.200	292.564	529.566
18.000	245.787	431.922	22.300	293.636	531.883
18.100	247.113	434.254	22.400	294.708	534.200
18.200	248.439	436.586	22.500	295.780	536.517
18.300	249.765	438.917	22.600	296.852	538.833
18.400	251.090	441.248	22.700	297.923	541.149
18.500	252.334	443.578	22.800	298.995	543.464
18.600	253.434	445.909	22.900	300.067	545.542
18.700	254.535	448.239	23.000	301.137	547.458
18.800	255.635	450.569	23.100	302.182	549.374
18.900	256.735	452.898	23.200	303.227	551.071
19.000	257.835	455.227	23.300	304.272	552.698
19.100	258.936	457.555	23.400	305.317	554.325
19.200	260.036	459.883	23.500	306.362	555.953
19.300	261.136	462.211	23.600	307.407	557.580
19.400	262.236	464.538	23.700	308.452	559.207
19.500	263.336	466.865	23.800	309.448	560.835
19.600	264.436	469.192	23.900	310.361	562.462
19.700	265.536	471.518	24.000	311.274	564.089
19.800	266.636	473.844	24.100	312.188	565.716
19.900	267.736	476.170	24.200	313.101	567.343
20.000	268.835	478.495	24.300	314.014	568.963
20.100	269.935	480.820	24.400	314.927	570.571
20.200	271.035	483.145	24.500	315.840	572.179
20.300	272.134	485.469	24.600	316.753	573.787
20.400	273.234	487.793	24.700	317.667	575.395
24.800	318.580	577.003	27.500	342.992	619.906
24.900	319.493	578.611	27.600	343.890	621.493
25.000	320.406	580.206	27.700	344.788	623.080
25.100	321.319	581.795	27.800	345.686	624.667
25.200	322.225	583.383	27.900	346.584	626.253
25.300	323.131	584.972	28.000	347.475	627.840

Приложение А окончание

25.400	324.037	586.561	28.100	348.366	629.427
25.500	324.942	588.149	28.200	349.257	631.013
25.600	325.848	589.738	28.300	350.147	632.600
25.700	326.754	591.326	28.400	351.038	634.186
25.800	327.659	592.915	28.500	351.928	635.773
25.900	328.565	594.503	28.600	352.819	637.359
26.000	329.471	596.091	28.700	353.709	638.945
26.100	330.376	597.679	28.800	354.600	640.531
26.200	331.282	599.267	28.900	355.490	642.117
26.300	332.187	600.855	29.000	356.381	643.703
26.400	333.093	602.443	29.100	357.271	645.288
26.500	333.998	604.031	29.200	358.162	646.874
26.600	334.903	605.619	29.300	359.052	648.460
26.700	335.807	607.207	29.400	359.942	650.045
26.800	336.705	608.795	29.500	360.833	651.631
26.900	337.604	610.382	29.600	361.723	653.216
27.000	338.502	611.970	29.700	362.613	654.801
27.100	339.400	613.557	29.800	363.503	656.386
27.200	340.298	615.144	29.900	364.393	657.971
27.300	341.196	616.732	30.000	365.283	659.556
27.400	342.094	618.319			

Рис. А11. График годографа Varents при $h=30$ км

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Список землетрясений, произошедших в северной акватории Баренцева и Карского морей за период с ноября 2011 г. по декабрь 2013 г.

№	Дата	Время в очаге	$\varphi, ^\circ$ с.ш.	$\lambda, ^\circ$ в.д.	ML	Тектонич. единица	Обработка в EL, *
1	13.11.2011	03:30:13.6	81.86	36.21	2.0	грабен Франц-Виктории	
2	25.11.2011	21:30:55.9	82.01	38.65	1.7	грабен Франц-Виктории	
3	09.12.2011	04:56:29.1	81.23	35.92	2.1	поднятие Белый и Виктория	
4	10.12.2011	11:04:16.0	80.96	29.36	1.4	грабен Орли	
5	21.12.2011	23:53:33.6	82.66	33.65	1.4	грабен Франц-Виктории	
6	23.01.2012	09:52:55.0	80.11	72.71	2.7	грабен Св. Анны	
7	27.01.2012	09:05:46.0	81.66	35.77	1.5	поднятие Белый и Виктория	
8	04.03.2012	21:53:57.4	81.33	31.60	1.3	поднятие Белый и Виктория	
9	06.03.2012	18:13:11.6	82.55	34.22	1.3	грабен Франц-Виктории	
10	08.03.2012	00:46:56.0	83.57	23.83	2.1	—	
11	13.03.2012	04:48:43.0	83.99	42.50	1.8	—	*
12	17.03.2012	15:17:37.0	84.05	49.75	2.1	—	*
13	08.04.2012	21:51:09.3	81.69	70.47	2.1	грабен Св. Анны	
14	29.04.2012	04:52:07.0	79.98	33.36	1.7	поднятие Белый и Виктория	
15	29.04.2012	10:07:34.0	82.16	40.33	2.2	грабен Франц-Виктории	
16	03.05.2012	08:51:10.8	82.97	64.53	2.2	грабен Св. Анны	*
17	23.05.2012	17:12:48.8	80.33	38.55	0.8	поднятие Белый и Виктория	*
18	07.05.2012	10:52:41.0	80.50	20.16	2.2	Свальбардское поднятие	
19	07.06.2012	00:55:06.0	82.38	68.75	2.1	грабен Св. Анны	*
20	08.06.2012	00:55:40.0	82.08	38.41	1.4	грабен Франц-Виктории	*
21	21.06.2012	14:10:55.4	84.06	87.85	2.5	—	*
22	30.06.2012	18:55:12.4	84.37	55.30	2.4	—	*
23	11.10.2012	09:28:51.2	83.43	71.14	-	грабен Св. Анны	*
24	15.11.2012	02:35:29.8	81.98	37.85	1.9	грабен Франц-Виктории	
25	27.10.2012	04:48:55.3	80.80	108.48	-	грабен Шокальского	*
26	07.12.2012	02:47:01.4	82.93	50.21	2.9	—	
27	08.01.2013	03:33:59.0	80.18	36.72	1.2	поднятие Белый и Виктория	

Приложение Б продолжение

28	28.01.2013	13:13:28.0	81.93	38.91	-	грабен Франц-Виктории	*
29	30.01.2013	09:53:14.0	79.87	32.35	3.6	поднятие Белый и Виктория	
30	30.01.2013	10:16:52.9	79.98	31.99	1.3	поднятие Белый и Виктория	
31	30.01.2013	10:55:37.0	80.24	31.54	2.9	поднятие Белый и Виктория	
32	30.01.2013	10:58:53.0	80.59	33.65	1.4	поднятие Белый и Виктория	
33	30.01.2013	12:07:30.5	81.75	39.46	0.9	грабен Франц-Виктории	*
34	30.01.2013	12:19:59.0	80.09	32.92	2.1	поднятие Белый и Виктория	
35	30.01.2013	12:34:06.0	80.22	33.16	1.7	поднятие Белый и Виктория	
36	31.01.2013	23:37:23.0	81.90	12.79	2.2	—	
37	03.02.2013	20:55:38.0	81.29	36.12	1.9	поднятие Белый и Виктория	
38	06.02.2013	03:54:58.9	80.33	32.28	2.8	поднятие Белый и Виктория	
39	09.02.2013	07:28:19.0	81.52	09.21	2.6	—	
40	20.02.2013	07:10:52.0	82.34	38.89	1.6	грабен Франц-Виктории	*
41	20.02.2013	15:14:56.7	83.40	63.69	2.0	грабен Св. Анны	*
42	09.03.2013	12:35:47.6	79.33	114.12	-	грабен Комсомольской правды	*
43	10.03.2013	21:15:21.4	82.40	93.25	2.3	грабен Воронина	*
44	11.03.2013	05:38:22.7	81.92	37.29	1.3	грабен Франц-Виктории	
45	12.03.2013	01:05:24.6	83.02	64.35	1.8	грабен Св. Анны	*
46	12.03.2013	14:26:09.8	82.85	68.96	1.7	грабен Св. Анны	*
47	16.03.2013	20:07:50.4	81.58	32.13	1.3	поднятие Белый и Виктория	
48	17.03.2013	02:30:16.0	80.77	38.50	0.8	поднятие Белый и Виктория	
49	19.03.2013	00:20:11.0	82.24	39.62	1.2	грабен Франц-Виктории	*
50	19.03.2013	00:21:20.0	82.51	46.54	1.2	грабен Британия	*
51	21.03.2013	01:53:53.0	82.04	38.84	1.4	грабен Франц-Виктории	
52	25.03.2013	04:49:28.0	80.39	38.81	1.1	поднятие Белый и Виктория	
53	26.03.2013	14:42:18.0	80.58	13.10	2.1	Шпицбергенское поднятие	
54	01.04.2013	16:11:24.6	82.70	29.52	2.9	—	
55	02.04.2013	03:40:42.9	83.03	40.89	1.7	грабен Франц-Виктории	

Приложение Б окончание

56	03.04.2013	12:40:38.1	83.08	69.33	2.0	—	
57	04.04.2013	23:13:59.7	80.59	41.88	1.7	грабен Франц-Виктории	
58	07.04.2013	10:09:27.9	82.09	50.56	0.7	грабен Британия	*
59	07.04.2013	11:09:48.2	81.82	42.03	0.7	грабен Франц-Виктории	*
60	07.04.2013	15:58:28.0	83.50	66.01	3.3	грабен Св. Анны	
61	08.04.2013	10:40:20.3	81.39	36.23	0.9	поднятие Белый и Виктория	*
62	25.05.2013	17:45:36.0	80.54	39.20	2.0	поднятие Белый и Виктория	
63	18.06.2013	04:09:26.5	84.13	86.93	2.2	—	*
64	27.06.2013	01:33:10.0	82.18	39.50	0.9	грабен Франц-Виктории	*
65	12.07.2013	01:31:36.8	83.64	65.44	2.1	грабен Св. Анны	
66	25.10.2013	01:25:56.0	80.33	40.06	1.9	поднятие Белый и Виктория	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

International Seismological Centre	Centre Séismologique International	Международный Сейсмологический Центр	国際地震センター
国際地震中心	Internationales Seismologisches Zentrum	المركز الدولي لبحوث الزلازل	Centro Internacional de Sismologia

Pipers Lane, Thatcham, Berkshire, RG19 4NS, United Kingdom
 Telephone: *National* (01635) 861022 *International* +44 1635 861022
 Fax: +44 1635 872351 E-mail: admin@isc.ac.uk Website: http://www.isc.ac.uk

В Диссертационный совет Д 002.001.01
 123242, г. Москва, Б.Грузинская ул., д. 10, стр. 1

АКТ

**о практическом применении результатов диссертационного исследования
 Конечной Я.В. на тему «Особенности природной сейсмичности западного
 сектора арктической зоны РФ по данным станций Баренц-региона»**

Настоящим Актом удостоверяется, что результаты диссертационного исследования Конечной Я.В. на тему «Особенности природной сейсмичности западного сектора арктической зоны РФ по данным станций Баренц-региона» актуальны и имеют практическое применение. Разработанная методика обработки данных и предоставления результатов в виде регионального сейсмологического бюллетеня, который используется в International Seismological Centre (ISC).

Используемый региональный сейсмологический бюллетень содержит важную информацию о происходящих землетрясениях в западном секторе Арктики и существенно дополняет информационную базу ISC о сейсмичности в этом регионе.

Внедрение результатов состоит в отлаженной процедуре регулярной передаче сейсмологических данных, производимой с 2014 г.



Директор ISC, PhD

Д.А. Сторчак
 02.09.2015 Д.А. Сторчак