

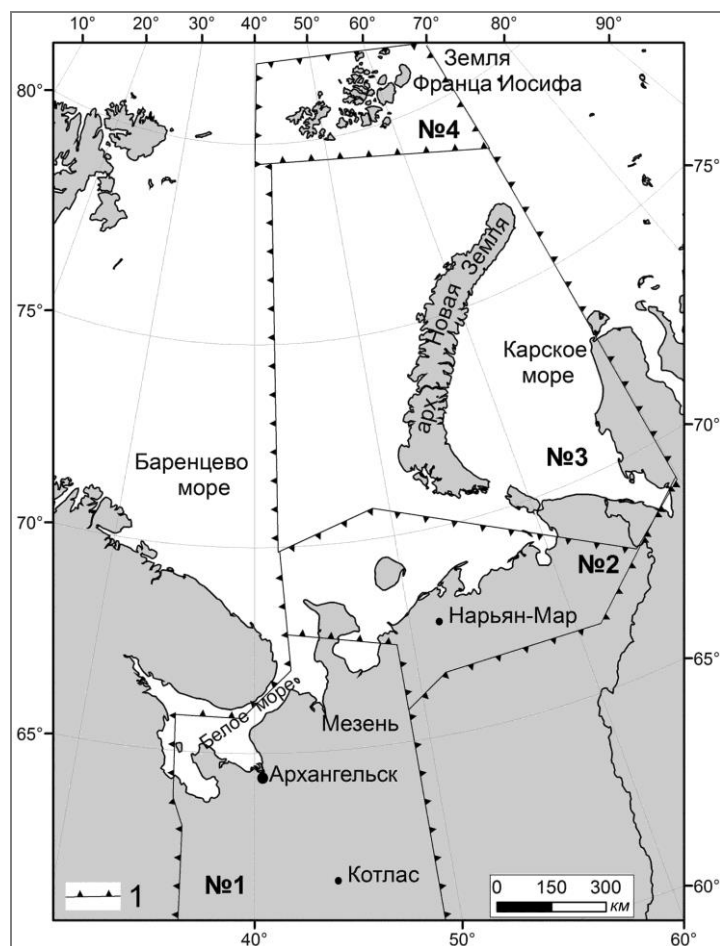
## АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ

**В.И. Французова<sup>1,2</sup>, Г.Н. Антоновская<sup>1</sup>, Я.В. Конечная<sup>2,1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН,  
г. Архангельск, [vifrancuzova@gmail.com](mailto:vifrancuzova@gmail.com), [essm.ras@gmail.com](mailto:essm.ras@gmail.com)

<sup>2</sup>Сектор сейсмического мониторинга Севера Русской плиты ФИЦ ЕГС РАН,  
г. Архангельск, [arh-seismo@yandex.ru](mailto:arh-seismo@yandex.ru)

**Сеть станций.** Обзор сейсмичности выполнялся для Архангельской области, части территории региона XIV – Восточно-Европейская платформа [1–3], в пределах 16-угольника (1. 60.8°N–49.3°E; 2. 60.8°N–38.5°E; 3. 62.6°N–37.0°E; 4. 63.6°N–35.9°E; 5. 65.3°N–35.5°E; 6. 65.8°N–35.7°E; 7. 65.8°N–39.0°E; 8. 66.7°N–42.0°E; 9. 82.0°N–42.0°E; 10. 82.0°N–70.0°E; 11. 68.5°N–70.0°E; 12. 67.0°N–62.0°E; 13. 67.0°N–52.0°E; 14. 65.1°N–49.1°E; 15. 64.8°N–50.5°E; 16. 60.8°N–49.3°E), представленного на рис. 1.



**Рис. 1.** Карта территории ответственности регистрации сейсмических событий (землетрясений, взрывов и др.) сейсмическими станциями Архангельской сети

1 – граница района; названия районов и их номера: Беломорско-Двинской (№ 1), Тимано-Печорский (№ 2), Новоземельско-Пайхойский (№ 3), Земля Франца-Иосифа (№ 4).

Она включает часть Севера Русской плиты и два архипелага – Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Вся территория ответственности разделена на четыре района (рис. 1).

Архангельская сеть начала формироваться с конца 2002 г. [4]. В 2011 г. к восьми цифровым станциям Архангельской сети – «Архангельск» (ARH), «Климовская» (KLM), «Пермогорье» (PRG), «Тамица» (TMCР), «Пермилово» (PRM), «Лешуконское» (LSH), «Соловки» (SLV) и «Амдерма» (AMD) [2], в тестовую эксплуатацию был запущен сейсмологический пункт «Земля Франца-Иосифа» с установкой двух комплектов сейсмических датчиков (ZFI, ZFI2), разнесенных друг от друга на расстояние 250 м [5]. Расположение сейсмических станций Архангельской сети по состоянию на 2011 г. показано на рис. 2. Данные о сейсмических станциях и параметрах аппаратуры представлены в Приложении [6] к настоящему ежегоднику.

Анализ уровня микросейсмического фона пункта ZFI (широкополосный комплект CMG-6TD) в сопоставлении с минимальным и максимальным уровнями микросейсм по модели Петерсона [7], а также в сравнении с уровнем микросейсмического фона пункта сейсмических наблюдений «Spitsbergen Array Site A0» с кодом SPA0 (далее по тексту SPA0), установленным на архипелаге Шпицберген [8], показывает более низкий уровень шумов на всем частотном диапазоне, гарантирующий более высокое качество записей регистрируемых сейсмических событий (рис. 3).

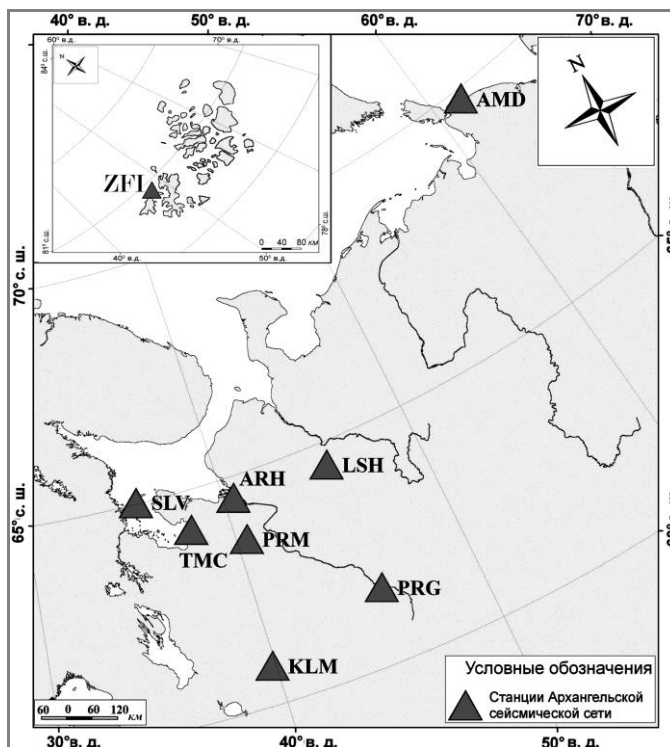


Рис. 2. Сейсмические станции Архангельской сети в 2011 г.

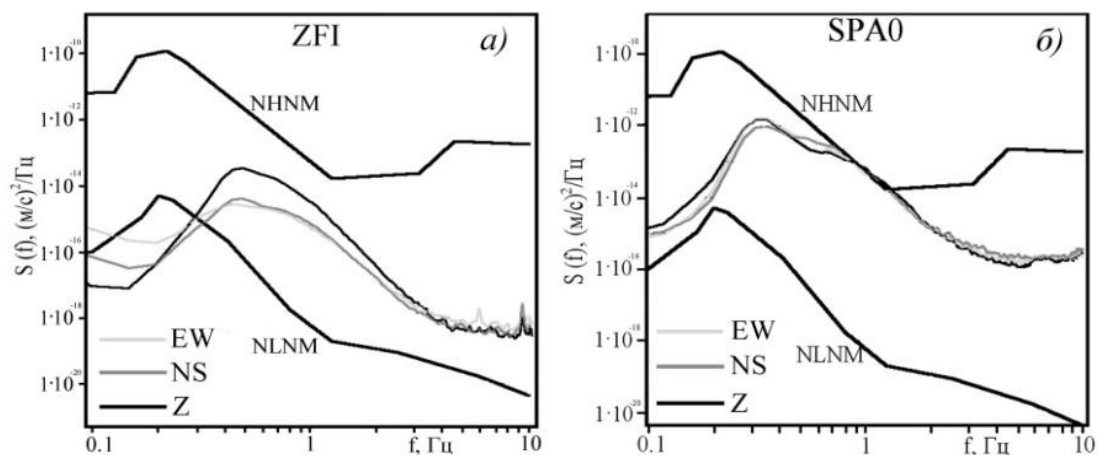


Рис. 3. Зависимость спектра мощности от частоты по модели Петерсона для пункта ZFI (широкополосный комплект CMG-6TD (а) и SPA0 (б))

При создании пунктов сейсмических наблюдений приходится сталкиваться со спецификой территории Европейского Севера России, что накладывает ряд ограничений на организацию и проведение данных работ. Существует ряд современных технологий, применяемых зарубежными коллегами для установки сейсмических станций и организации передачи данных в полярных широтах, но в условиях российской действительности приходится изыскивать всевозможные бюджетные варианты и пути проведения подобных работ в силу их чрезвычайно низкого финансирования.

При организации пункта сейсмических наблюдений в арктических условиях, когда время выполнения работ может быть сильно ограничено, доставка техники и соответствующих специалистов – весьма затратная процедура, наиболее удобным вариантом является использование готовых конструкций. Например, использование металлических бочек от горюче-смазочных материалов, которые необходимо дополнительно гидроизолировать и утеплить. Использование беспроводных каналов связи является наиболее удобным способом передачи данных с регистратора на компьютер. Однако в случае сбоя в работе оборудования или сильных помех (например, обусловленных погодными условиями) может произойти потеря сигнала. В связи с этим, для передачи данных на локальный компьютер использован интерфейс EIA-485 (RS-485), который позволяет увеличить длину линии связи [5].

Базы данных записей станций AMD и ZFI важны как для совершенствования методологии сейсмического мониторинга слабой сейсмичности в районах с повышенным уровнем фоновых помех, так и в связи с близостью станции к горнопромышленным предприятиям Воркуты, для изучения специфических для этого района особенностей проявления техногенной сейсмичности. Следует указать также и на возможность станцией ZFI регистрации гидроакустических волн (так называемых *T*-фаз).

**Методика наблюдений.** Открытие арктических станций «Амдерма» AMD (2010 г.) и «Земля Франца-Иосифа» ZFI и ZFI2 (2011 г.) в составе Архангельской сейсмической сети позволило установить новый регламент проведения сейсмического мониторинга Европейского сектора Арктики. 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 и формирование промежуточного бюллетеня, где максимально полно отображаются зарегистрированные на станциях АСС события;

2) совокупная обработка зарегистрированных событий по набору станций, формирование окончательного сейсмического бюллетеня и построение карты сейсмичности.

На первом этапе для проведения регионального мониторинга проводится просмотр записей 7 сейсмологических пунктов – KLM, LSH, AMD, PRG, SLV, TMC, ZFI. Данные остальных станций подключаются к обработке по мере необходимости. Просматривая непрерывные данные каждой станции, операторы 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. Ежемесячно станциями Архангельской сети регистрируется от 100 до 170 региональных и локальных сейсмических событий различной природы, в их числе землетрясения, промышленные взрывы, техногенные катастрофы и пр. Бюллетень региональных и локальных сейсмических событий 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.

На втором этапе сейсмические события лоцируются с привлечением дополнительно к станциям Архангельской сети волновых форм станций соседних сейсмических сетей, расположенных на архипелаге Шпицберген и Скандинавском полуострове, принадлежащих международным сейсмологическим центрам Норвегии (<http://www.norsardata.no/>; <http://www.uib.no/en/rg/geodyn/55876/nnsn>), Финляндии (<http://www oulu.fi/sgo-oty/stats.html>) и Польши (<http://www.fdsn.org/networks/detail/PL/>). Эта вынужденная мера, обусловленная немногочисленностью сетей сейсмических станций в Арктике, позволяет повысить точность локации и, следовательно, качество проводимого регионального мониторинга.

Положение эпицентра, как правило, определяется методом засечек по разности *S–P*. Обработка записей методом засечек проводится по разности фаз *S–P* (или *S<sub>n</sub>–P<sub>n</sub>*, *S<sub>g</sub>–P<sub>g</sub>*) 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 применяется метод полного перебора. Обработка записей методом полного перебора проводится для точной оценки параметров очага при наличии записей не менее пяти станций, хорошо окружающих эпицентр.

Итогом совместной обработки сейсмического события является определение положения эпицентра и его динамические характеристики, формируется каталог сейсмических событий, по которому строится карта их эпицентров (<http://arhsc.ru/index.php?page=geoss>). Итоговый 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; эпицентрально расстояние до каждой станции; время вступления и четкость фаз; величину магнитуды и ее тип.

Просмотр записей и совместная обработка по данным нескольких станций производится в программном комплексе WSG [10]. При регистрации сейсмического события только пунктом «Земля Франца-Иосифа» его обработка проводится с привлечением программы КоФ ГС РАН Event Locator, разработанной В.Э. Асмингом [11]. Параметры эпицентров таких событий сохраняются в базе данных Архангельской сети, но не передаются в другие сейсмологические центры в силу низкой точности определения эпицентра (например, для формирования каталога в ежегоднике «Землетрясения России» [12]). Отметим, что подобного рода события, предположительно происходящие восточнее 60° в.д., встречаются достаточно часто, что еще раз подчеркивает необходимость развития сейсмических сетей в Арктике.

Для обработки событий из Евро-Арктического региона преимущественно используется годограф Varents [9], разработанный в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН к.ф.-м.н. В.Э. Асмингом и к.ф.-м.н. Е.О. Кременецкой. Но бывают ситуации, когда приходится использовать мировой IASP или региональный годограф NOES (рассчитанный в лаборатории сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА РАН) для района Земли Франца-Иосифа [13].

Локальная магнитуда определяется по осредненной калибровочной кривой для Северной Евразии, предложенной в программном комплексе WSG [10]. 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. Станционные поправки для станций Архангельской сети не учитываются и принимаются равными нулю.

На рис. 4 представлено сравнение расчетных значений локальной магнитуды  $ML$  с  $M_w$  и  $M_s$  (по данным Гарвардского Университета) и  $ML_{NORSAR}$  (по данным норвежского агентства NORSAR), которое показало хорошую сходимость рассматриваемых магнитудных шкал. Коэффициенты корреляции для всех зависимостей принимают значения выше 69% (табл. 1).

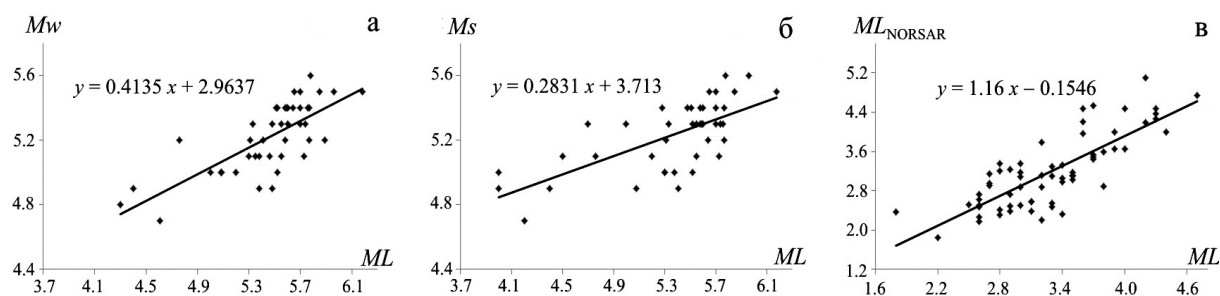


Рис. 4. Графики зависимости между различными определениями магнитуд:  
а –  $M_w$  от  $ML$ ; б –  $M_s$  от  $ML$ ; в –  $ML_{NORSAR}$  от  $ML$

Таблица 1. Параметры зависимостей различных магнитудных шкал

Зависимость	Линейное уравнение	Коэффициент корреляции
$M_w$ от $ML$	$M_w=0.41ML+2.96$	75%
$M_s$ от $ML$	$M_s=0.28ML+3.71$	69%
$ML_{NORSAR}$ от $ML$	$ML_{NORSAR}=1.02ML-0.15$	80%

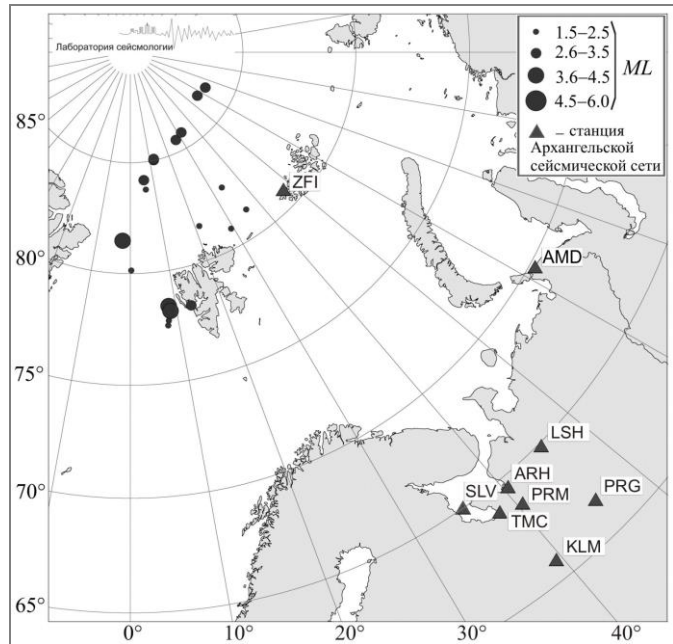
Согласно регламенту, с конца 2011 г. ежемесячно на основе окончательного бюллетеня создаются карты эпицентров сейсмических событий и сети станций (рис. 5), которые выкладываются на сайте ФГБУН ФИЦКИА РАН, как результат обработки региональных и локальных событий (<http://arhsc.ru/index.php?page=geoss>).

**Результаты работы** пункта сейсмических наблюдений «Земля Франца-Иосифа». Землетрясения, произошедшие в районе океанического хребта Гаккеля и зарегистрированные станциями пункта «Земля Франца-Иосифа», по виду волновых форм можно разделить на две группы: с наличием *T*-фазы на волновых формах и без нее.

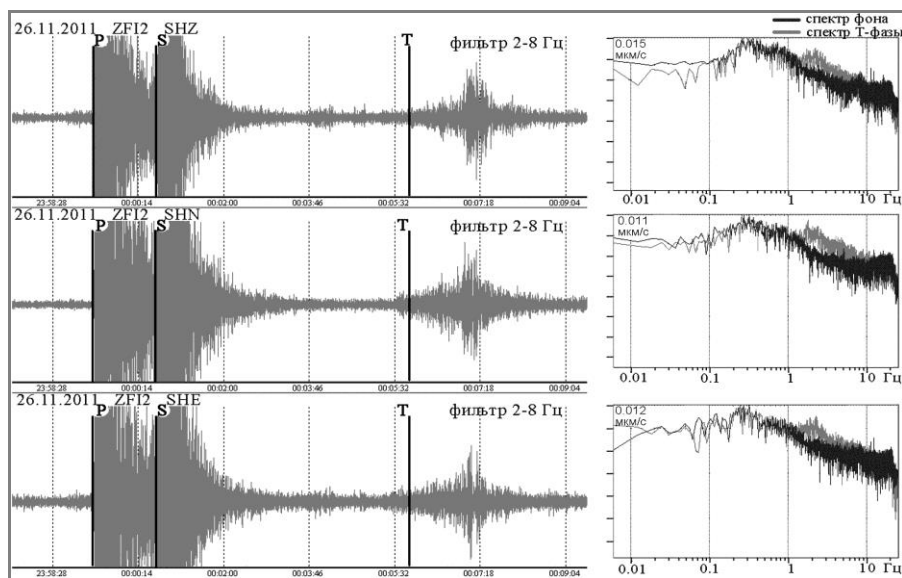
Согласно [14, 15], любое подводное землетрясение в той или иной степени возбуждает в водной оболочке Земли упругие (гидроакустические) волны. Высокочастотным представителем гидроакустических колебаний, возбуждаемых землетрясениями и распространяющихся на большие расстояния, является волна, за которой в сейсмологии закрепилось название «фаза *T*», т.к. она регистрируется в качестве третьей фазы (*tertitae*), после фаз *P* (*primaе*) и *S* (*secondae*). Ее колебания обычно лежат в диапазоне частот 1–150 Гц со средней звуковой в воде скоростью 1.85 км/с. Зарегистрированные *T*-фазы представляют собой интерференционные волны, волноводом для которых служит водный слой в целом. На суше фаза *T* хорошо записывается только короткопериодными сейсмографами и выглядит на сейсмограммах как длинный цуг колебаний с почти постоянным периодом (около 0.5 с) и веретенообразной огибающей. Фаза *T* не имеет вступления и поэтому начинается с колебаний, постепенно «выходящих» из-под уровня помех.

Анализ записей *T*-фазы пунктом «Земля Франца-Иосифа» показал, что ее длительность составляет порядка 3 мин; огибающая описывает сначала плавное нарастание амплитуды, а затем плавный ее спад. В спектре *T*-фазы выявлено наличие высокочастотной компоненты: диапазон частот, согласно рис. 6, достаточно широк – от 0.7 до 8 Гц, что в целом соответствует представлениям о природе гидроакустических волн [14, 15]. Пример подобного землетрясения показан на рис. 6.

Анализ записей *T*-фазы пунктом «Земля Франца-Иосифа» показал, что ее длительность составляет порядка 3 мин; огибающая описывает сначала плавное нарастание амплитуды, а затем плавный ее спад. В спектре *T*-фазы выявлено наличие высокочастотной компоненты: диапазон частот, согласно рис. 6, достаточно широк – от 0.7 до 8 Гц, что в целом соответствует представлениям о природе гидроакустических волн [14, 15]. Пример подобного землетрясения показан на рис. 6.



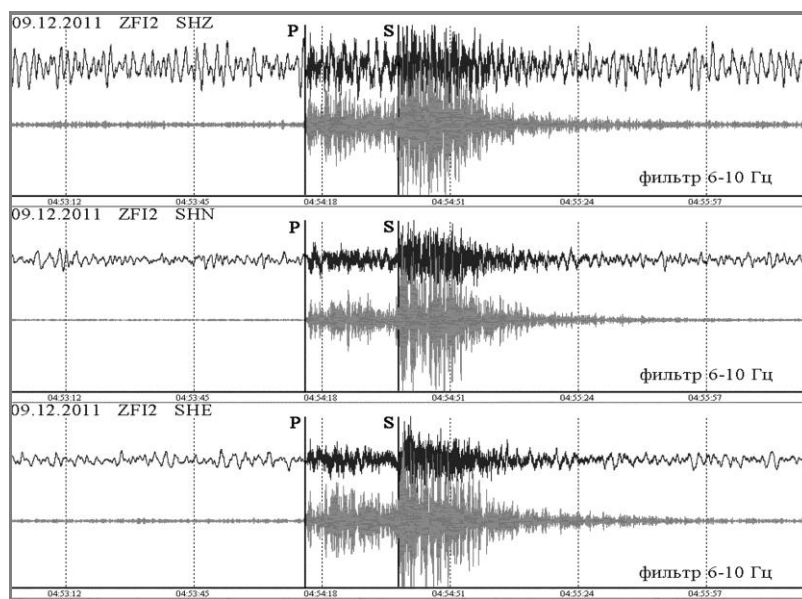
**Рис. 5.** Карта эпицентров землетрясений за декабрь 2011 г. по данным обработки Архангельской сейсмической сети



**Рис. 6.** Примеры записи регионального землетрясения на станции ZFI2, произошедшего 26.11.2011 г. в районе хр. Гаккеля (по данным NORSAR  $t_0 = 23^{\text{h}}59^{\text{m}}53^{\text{s}}$ ,  $\varphi = 82.49^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda = 3.81^{\circ}\text{W}$ ,  $ML = 5.3$ ), и амплитудного спектра *T*-фазы в сравнении с микросейсмическим фоном

Вторая группа землетрясений не содержит *T*-фазу на записях. В таком случае выделяются только объемные волны (фазы *P* и *S*) по стандартным фильтрам, используемых для региональных землетрясений (4–8 Гц, 3–6 Гц, 6–10 Гц и др.).

Локальные землетрясения на записях сейсмического пункта ZFI уверенно выделяются как на исходном сигнале, так и с помощью фильтров 6–10 Гц и 8–12 Гц. Амплитуда первого вступления *P*-волны меньше амплитуды вступления волны *S*, в отличие от записей региональных землетрясений, где амплитуды *P*- и *S*-волн довольно значительные. Поверхностных волн на записях станции не наблюдается. Для обработки локальных событий, по аналогии с обработкой региональных землетрясений, привлекаются исходные данные других сетей. Пример волновых форм локального землетрясения показан на рис. 7.



**Рис. 7.** Пример записи локального землетрясения, произошедшего 9 декабря 2011 г. в районе архипелага Земля Франца-Иосифа (обработка по данным Архангельской сети и станции «Spitsbergen Array Site A0») (SPA0):  $t_0=04^h56^m29^s$ ,  $\varphi=81.23^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=35.92^\circ\text{E}$ ,  $ML=2.1$ )

В данном случае эпицентр определен по станциям сейсмологического пункта «Земля Франца Иосифа» и «Spitsbergen Array Site A0»–SPA0. Именно это землетрясение включено в каталог землетрясений Архангельской области за 2011 г. [16].

Уникальной особенностью сейсмологического пункта «Земля Франца-Иосифа» является регистрация слабых ( $ML<3.0$ ) региональных и локальных землетрясений с хребта Гаккеля и склона континентального шельфа, информация о большинстве которых отсутствует в мировых сейсмических каталогах.

Таким образом, анализ результатов сейсмического мониторинга Архангельской области с прилегающими районами, проведенный по записям станций ZFI и ZFI2 даже за столь непродолжительный период (конец 2011 г.), позволяет сделать вывод о значимости установки этих станций для отслеживания активизации сейсмичности в западном секторе Арктического региона России, в том числе в перспективных районах нефтяных месторождений. Следует также отметить, что позже с использованием данных сейсмического пункта «Земля Франца-Иосифа» представилась возможность получить представление об особенностях сейсмического режима континентального склона Евразии в пределах архипелага Земля Франца-Иосифа [13, 17].

#### Л и т е р а т у р а

1. Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ГС РАН, 2002. – С. 152–154.
2. Французова В.И., Иванова Е.В., Конечная Я.В. Архангельская область. // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 252–257.

3. **Введение** // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 7–12.
4. **Юдахин Ф.Н., Французова В.И., Мехрюшев Д.Ю.** Север Русской плиты // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 220–227.
5. **Данилов А.В., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В.** Особенности установки пунктов регистрации сейсмических событий в Арктическом регионе России 2013 // Сейсмические приборы. – 2013. – **49**. – № 3. – С. 5–24.
6. **Французова В.И. (сост.)**. Цифровые станции Архангельской сейсмической сети в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
7. **Peterson J.** Observation and modeling of seismic background noise // U.S. Department of Interior, Geological Survey. – Open-File Report 93. – 322. – 1993. – 91 p.
8. **Station book listing** [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/registries/listing/> Дата обращения 23.01.2017.
9. **Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F.** Seismic location calibration of the European Arctic // Pure and Applied Geophysics. – 2001. – **158**. – № 1–2. – С. 117–128.
10. **Акимов А.П., Красилов С.А., Пойгина С.Г.** Система обработки сейсмических данных WSG. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG\\_adm.doc](ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG_adm.doc).
11. **Программный комплекс EL (ELRESS)** [Электронный ресурс] – URL: <http://www.krsc.ru/EL>.
12. **Габсатарова И.П., Баранов С.В., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Надёжка Л.И., Санина И.А. (отв. сост.)**. IV.2. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь ( $M \geq 1.3$ ) // Землетрясения в России в 2011 году. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 103–104.
13. **Morozov A.N., Vaganova N.V., Ivanova E.V., Konechnaya Y.V., Fedorenko I.V., Mikhaylova Y.A.** New data about small-magnitude earthquakes of the ultraslow-spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean // Journal of Geodynamics. – 2016. – **93**. – P. 31–41.
14. **Соловьёв С.Л., Кадыков И.Ф., Белавин Ю.С., У Тон Иль.** Регистрация фаз  $T$  в сигналах землетрясений северо-западной части Тихого океана // Вулканология и сейсмология. – 1980. – № 1. – С. 60–69
15. **Соловьёв С.Л., Воронин Р.С., Воронина С.Н.** Сейсмические и гидроакустические данные о волне  $T$  (обзор литературы) // Проблема цунами. – М.: Наука, 1968. – С. 141–173.
16. **Конечная Я.В. (отв. сост.)**. Каталог землетрясений Архангельской области за декабрь 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
17. **Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Конечная Я.В.** Сейсмичность северной акватории Баренцева моря в районе трогов Франц-Виктория и Орла // Геотектоника. – 2014. – № 3. – С. 78–84.