

## ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

УДК 550.3

DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-2-170-181

### НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О СЕЙСМИЧНОСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО ДАННЫМ ПУНКТА СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ «СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ»

Г.Н. АНТОНОВСКАЯ<sup>1</sup>\*, С.М. КОВАЛЕВ<sup>2</sup>, Я.В. КОНЕЧНАЯ<sup>1,3</sup>,  
В.Н. СМИРНОВ<sup>2</sup>, А.В. ДАНИЛОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> — ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, Россия

<sup>2</sup> — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> — ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба» РАН, Архангельск, Россия

\**essm.ras@gmail.com*

### NEW INFORMATION ABOUT THE SEISMICITY OF THE RUSSIAN ARCTIC BASED ON THE WORK OF THE SEISMIC STATION “SEVERNAYA ZEMLYA”

G.N. ANTONOVSKAYA<sup>1</sup>\*, S.M. KOVALEV<sup>2</sup>, YA.V. KONECHNAYA<sup>1,3</sup>,  
V.N. SMIRNOV<sup>2</sup>, A.V. DANILOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> — N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russia

<sup>2</sup> — State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> — Federal Researcher Center Russian Academy of Science “Geophysical Survey”, Arkhangelsk, Russia

\**essm.ras@gmail.com*

Received June, 07, 2018

Accepted July, 05, 2018

*Keywords:* earthquakes, representative magnitude, seismic station, Severnaya Zemlya.

#### Summary

In November 2016 a seismic station “Severnaya Zemlya” with code SVZ was installed on the Severnaya Zemlya archipelago (Bolshevik island, research facility “Ice base “Baranov’s cape”) by joint efforts N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (Arkhangelsk) and Arctic and Antarctic Research Institute (St. Petersburg). This station was included in the Arkhangelsk seismic network and a broadband set of CMG-6TD devices (Great Britain) was installed there.

**Citation:** Antonovskaya G.N., Kovalev S.M., Konechnaya Ya.V., Smirnov V.N., Danilov A.V. New information about the seismicity of the Russian Arctic based on the work of the seismic station “Severnaya Zemlya”. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64 (2): 170–181. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-2-170-181.

The microseismic background is characterized by a low level of industrial noise which allows to obtain the high-quality seismic information. Over 400 regional earthquakes and 25 local seismic events were recorded by seismic station SVZ within period from November 2016 to December 2017. Processing of regional earthquakes was carried out by us according to the data of at least three stations. We used wave forms from the Arctic stations of the Arkhangelsk seismic network and/or other seismological networks, whose stations are installed in the Arctic. In general, the majority of seismic events occur at epicentral distances of  $3.5^{\circ}$ – $4^{\circ}$  (i.e., they are regional) and associated with Gakkel Ridge. The strongest earthquakes are recorded from the areas of the Knipovich Ridge and Spitsbergen. Regional earthquakes magnitude range recorded by the SVZ is from 3.1 to 5.4.  $M_L = 2.5$  — it is the value of the magnitude from which the station registers earthquakes in full range. Local earthquakes magnitude range is from 1.2 to 4.9. Weak earthquakes with  $M_L < 2.5$  predominate.

The difficulty is that out of the total number of regional and local events registered by SVZ only part of them could be processed according to the standard seismic rule (at least 3 stations). These events were included in the Seismic Catalogue. The predominant numbers of earthquakes are recorded only by SVZ station and they can not be included in the Seismic Catalogue due to the low quality data processing seeing that only one station was used. However, even in the first approximation these epicenters are confined to Eastern part of Gakkel Ridge, the boundary of the Kara plate and fall into the zone of the North Taimyr deformation associated with tectonic fault. Seismicity around Severnaya Zemlya to all appearance associated with an indirect reflection of rifting processes emerging in the central seismically active zone of the Laptev Sea. The calculation of earthquakes focal mechanisms recorded by SVZ is currently not possible due to the practical absence of seismic stations in the region. The task of expanding seismic observation networks in the Russian Arctic is urgent.

*Поступила 7 июня 2018 г.*

*Принята к печати 5 июля 2018 г.*

*Ключевые слова:* землетрясения, представительная магнитуда, Северная Земля, сейсмическая станция.

В статье представлены первые результаты работы пункта сейсмических наблюдений «Северная Земля» (SVZ), установленного на архипелаге Северная Земля в ноябре 2016 г. На основе сейсмического каталога, включающего 400 региональных землетрясений и 25 локальных сейсмических событий, составленного по результатам обработки минимум по трем сейсмическим станциям, проведен анализ регистрационных возможностей станции SVZ и сейсмичности региона в целом. По полученным данным выделены наиболее геодинамически активные структуры.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Расширение представлений о глубинной структуре Арктики является важным звеном в понимании геологических закономерностей и восстановлении этапов эволюции литосферы и коры [1]. Наряду с большими объемами геолого-геофизических исследований, проведенных на шельфе Баренцева и Карского морей, сейсмологическая изученность этого стратегически важного для страны региона существенно отстает. Как правило, основной базой данных для большинства исследователей является каталог Международного сейсмологического центра (ISC), который имеет неполные сведения о сейсмичности Северного Ледовитого океана, что связано с редким числом сейсмических станций, установленных в этом регионе. В связи с этим открытие каждой новой сейсмической станции в Российской Арктике является предметом особого внимания.

### **ПУНКТ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ «СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ»**

В конце 2016 г. совместными усилиями ФИЦКИА РАН и ААНИИ на арх. Северная Земля (о. Большевик, научно-исследовательский стационар «Ледовая база “Мыс Баранова”») была открыта сейсмическая станция «Северная Земля» с кодом

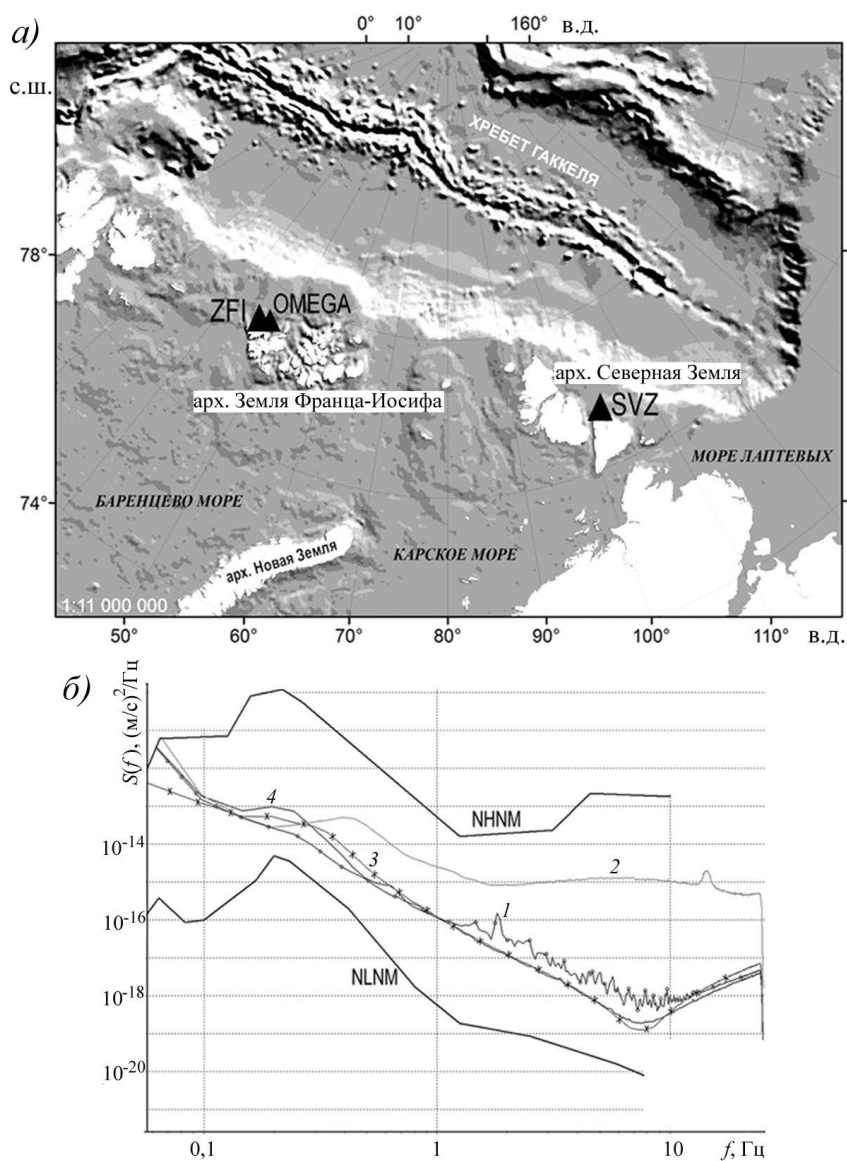


Рис. 1. Расположение арктических островных станций Архангельской сейсмической сети (а) и сравнение суточных спектров мощности микросейсм станции SVZ (б) за разные месяцы 2017 г. с обобщением по [2].

NLNM и NHNM — модели низкого и высокого микросейсмического шума соответственно; 1 — май, 2 — август, 3 — октябрь; 4 — декабрь

Fig. 1. Location of the some Arctic seismic stations of the Arkhangelsk seismic network (a) and comparison of the daytime microseisms power spectra by SVZ (б) for different months 2017 with a generalization of [2].

NLNM and NHNM are models of low and high microseismic noise respectively; 1 — May, 2 — August, 3 — October, 4 — December

SVZ (рис. 1а). Данная станция вошла в состав Архангельской сейсмической сети. В настоящее время станция имеет временный статус, координаты ее расположения:  $\varphi = 79,276^\circ$  с.ш.,  $\lambda = 101,657^\circ$  в.д.,  $h = 21$  м.

Северная Земля — крупный островной архипелаг к северу от п-ва Таймыр на границе Карского моря и моря Лаптевых, от которого он отделен проливом Вилькицкого. Около 47 % площади архипелага покрыто ледниками, места, где ледники выходят к морю, часто служат источником образования айсбергов. На глубине 10–15 см находится вечная мерзлота. Осадочный чехол Северо-Карского бассейна обнажается на островах арх. Северная Земля. Фундамент в основном сложен в разной степени деформированными и метаморфизованными сланцами и песчаниками неопротерозоя–кембрия [3].

Опыт организации пунктов сейсмических наблюдений на арх. Земля Франца-Иосифа позволил учесть особенности подготовки сейсмического бункера в арктических условиях [4]. Установлен широкополосный комплект оборудования CMG-6TD (Великобритания). Передача сейсмических данных с компьютера станции SVZ осуществляется путем их синхронизации на сервере ААНИИ через внутреннюю виртуальную сеть. Затем данные с сервера ААНИИ синхронизируются через Интернет на сервере лаборатории сейсмологии ФИЦКИА РАН, после чего они конвертируются и помещаются в архив.

Анализ сейсмических записей станции SVZ, поступающих в лабораторию сейсмологии ФИЦКИА РАН, показывает, что микросейсмический фон в целом характеризуется низким уровнем техногенных помех (рис. 1б), что позволяет получать достаточно качественные сейсмические записи регистрируемых землетрясений. Повышение уровня микросейсмического фона происходит с июля–августа по сентябрь, что связано с общим увеличением хозяйственной деятельности на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» в летний арктический период, открытым морем и таянием снежного покрова, снижающим влияние экзогенных факторов. Для сравнения на рис. 1б приведено среднее значение уровня микросейсмического фона за август 2017 г., отражающее общее увеличение уровня микросейсмического шума.

### **РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ SVZ**

Проанализируем данные станции SVZ с точки зрения регистрации сейсмических событий как важного звена в изучении геодинамики центральной части Северного Ледовитого океана. За анализируемый интервал были зарегистрированы как телесеизмические землетрясения из разных районов земного шара, так и проявления региональной сейсмичности в Арктике. Обработка региональных землетрясений проводилась с привлечением волновых форм других арктических станций в программном комплексе WSG [5], эпицентр определялся методом засечек. Рассматривались годографы NOES [6], разработанный в лаборатории сейсмологии ФИЦКИА РАН, и BARENTS [7], разработанный в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН В.Э. Асмингом и Е.О. Кременецкой. В итоге для данного района за основу был взят годограф BARENTS.

*Региональные землетрясения.* За период с ноября 2016 г. по декабрь 2017 г. (включительно) зарегистрировано свыше 400 региональных землетрясений и 25 локальных событий. Большинство сейсмических событий происходит на эпицентральных расстояниях  $3,5^\circ$ – $4^\circ$  (т.е. являются региональными),  $M_{L_{пред}} = 2,5$  — это значение магнитуды, начиная с которой станция регистрирует землетрясения в полном объеме,

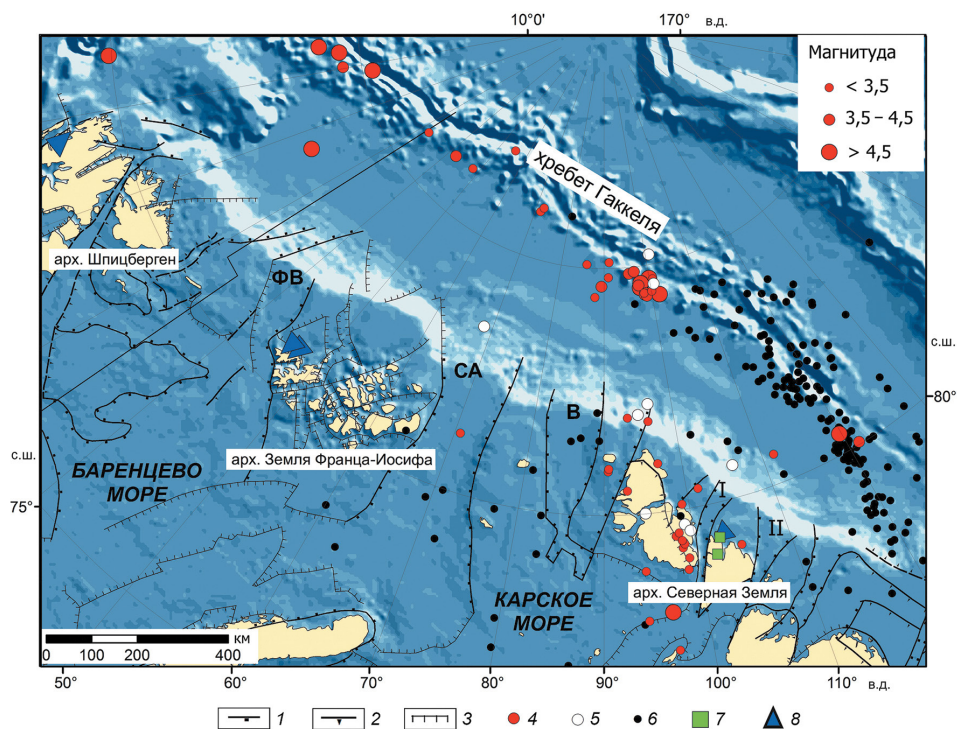


Рис. 2. Пространственное распределение землетрясений, зарегистрированных станцией SVZ за 2016–2017 гг. на карте неотектонических структур и активных разломов по [8, 9] с использованием стандартной обработки (минимум три сейсмические станции) и результаты локации по данным только станции SVZ.

Новейшие разломы: 1 — сбросы, 2 — взбросы, 3 — неустановленного типа; 4 — землетрясения; 5 — землетрясения за 1900–2014 гг. по данным ISC; 6 — землетрясения, зарегистрированные только SVZ и не включенные в каталог; 7 — ледовые события; 8 — сейсмические станции; ФВ — желоб Франц-Виктории, СА — желоб Святой Анны, В — желоб Воронина, I — желоб Шокальского, II — желоб Вилькицкого

Fig. 2. Spatial distribution of earthquakes recorded by the SVZ station for 2016-2017 on the map of neotectonic structures and active faults by [8, 9] using both standard processing (at least three seismic stations) and data from one SVZ station.

Neotectonic faults: 1 — normal faults, 2 — thrusts, 3 — undetermined type; 4 — earthquakes; 5 — earthquakes for 1900–2014 by the ISC catalogue; 6 — earthquakes recorded by a single SVZ station and are not included in the catalog; 7 — icequakes; 8 — seismic stations; ФВ — the Franz-Victoria trough, СА — the St. Anna trough, В — the Voronin trough, I — the Shokalsky trough, II — the Vilkitsky trough

без «пропусков». На значении  $ML_{пред}$  сказываются более близкие эпицентральные расстояния между станцией SVZ и эпицентрами происходящих землетрясений. Для сравнения: пункт сейсмических наблюдений «Земля Франца-Иосифа» регистрирует события начиная с расстояний  $6,5^{\circ}$ – $7^{\circ}$  и имеет  $ML_{пред} = 2,7$ .

На рис. 2 приведено пространственное распределение региональных землетрясений, зарегистрированных станцией SVZ и лоцированных с помощью других сейсмических станций арктического региона, а также результаты обработки землетрясений, зарегистрированных только одной станцией SVZ. Магнитудный диапазон обработанных событий составляет от 3,1 до 5,4. За ноябрь 2016 г. – декабрь 2017 г.

удалось определить параметры 36 региональных землетрясений. В основном они приурочены к хребту Гаккеля, наиболее сильные землетрясения регистрируются из районов хребта Книповича и арх. Шпицберген.

Сравнение полученных параметров эпицентров для сильных землетрясений ( $M_L > 4,0$ ) с результатами международных агентств IDC, NOR SAR и ФИЦ ЕГС РАН показало, что разница во времени в очаге составляет от 3 до 5 с, в определении эпицентра от  $0,2$  до  $0,5^\circ$ , что является вполне удовлетворительным решением для региональных расстояний. Данный факт объясняется применяемой нами методикой обработки [10]: использованием волновых форм сейсмических станций, расположенных только в Европейском секторе Арктики. Точность определения эпицентров землетрясений связана с типом используемого годографа, который отсутствует для центральной части СЛО для региональных расстояний, в итоге приходится использовать годографы NOES [6] или BARENTS [7]. Результатом данного подхода, например, для локации землетрясений хребта Гаккеля является смещение их эпицентров на южный борт хребта.

На данный момент существует проблема обработки подавляющего большинства региональных землетрясений, зарегистрированных только станцией SVZ (около 400 событий с  $M_L < 3,0$ ). Информация об этих событиях не отражена в каталогах различных сейсмологических служб, что показывает принципиальную значимость получаемых сейсмической станцией SVZ данных. Обработка таких событий по одной станции SVZ позволяет только ориентировочно определить наиболее вероятные районы их локации. Тем не менее была сделана данная попытка. Обработка записей проводилась в программе КоФ ФИЦ ЕГС РАН Event Locator (EL) разработки [11]. Результаты см. на рис. 2.

Всего обработано около 200 землетрясений с наиболее четкими вступлениями фаз. Пространственное распределение показывает, что 15–17 % от общего их числа выпадают из общей картины сейсмичности региона (черные кружки на рис. 2) вследствие неточности обработки по данным одной станции. Однако большинство эпицентров соотносится с восточной зоной хребта Гаккеля (см. рис. 2), сейсмический мониторинг которой проводится весьма дискретно в силу удаленности существующих сейсмических станций [12]. Нами выявлена часть событий, приуроченных к шельфовым желобам и континентальной окраине.

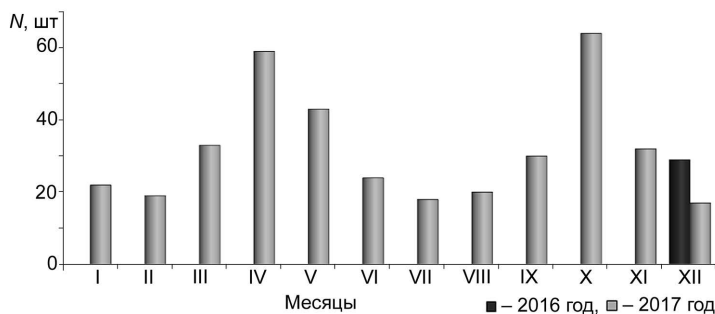


Рис. 3. Статистическое распределение региональных землетрясений, зарегистрированных станцией SVZ (обработка по данным трех и более станций)

Fig. 3. The statistical distribution of regional earthquakes registered by the station SVZ (processing according to three or more stations)

Распределение региональных землетрясений по времени показано на рис. 3. Очевидно, что в апреле, мае и октябре 2017 г. наблюдалось повышение сейсмической активности, которая, предположительно, соотносится с активностью хребта Гаккеля. В среднем станция SVZ регистрирует порядка 30 землетрясений в месяц. Сезонности в регистрации, как на станции ZFI [13], на данном этапе исследований не наблюдается. Хотя для полноты выводов необходимо накопление данных минимум еще в течение двух лет.

Сама по себе станция SVZ расширяет зону мониторинга арктического региона, но из-за малого числа станций в регионе низкая точность определения эпицентров не позволяет в полной мере учитывать эти данные при изучении геодинамики и тектоники Арктики.

*Локальные события.* Согласно каталогу ISC (рис. 2), в районе арх. Северная Земля с 1900 по 2014 г. зарегистрировано 8 землетрясений с магнитудами выше 4,0 и еще одно землетрясение лоцировано в 2016 г. в том же районе станциями Архангельской сейсмической сети с привлечением зарубежных данных ( $M_L = 3,8$ ). Сотрудниками лаборатории сейсмологии А.Н. Морозовым и Н.В. Вагановой проведено переопределение эпицентров локальных землетрясений района арх. Северная Земля, зарегистрированных до 1989 г., по методике, описанной в [14]. В результате непосредственно в районе архипелага до установки станции SVZ лоцируется 6 сейсмических событий (белые кружки на рис. 2).

За анализируемый период наблюдений станцией SVZ зафиксировано 25 локальных землетрясений с разных эпицентральных расстояний с широким диапазоном магнитуды  $M_L = 1,2-4,9$  (см. рис. 2). Преобладают низкомagnitude землетрясения ( $M_L < 2,5$ ). Записи событий хорошего качества, вступления четкие, в основном выделяются по исходному сигналу или по высокочастотным фильтрам 6–10 и 8–12 Гц. Сложность заключается в том, что из 25 зарегистрированных событий за рассматриваемый период только

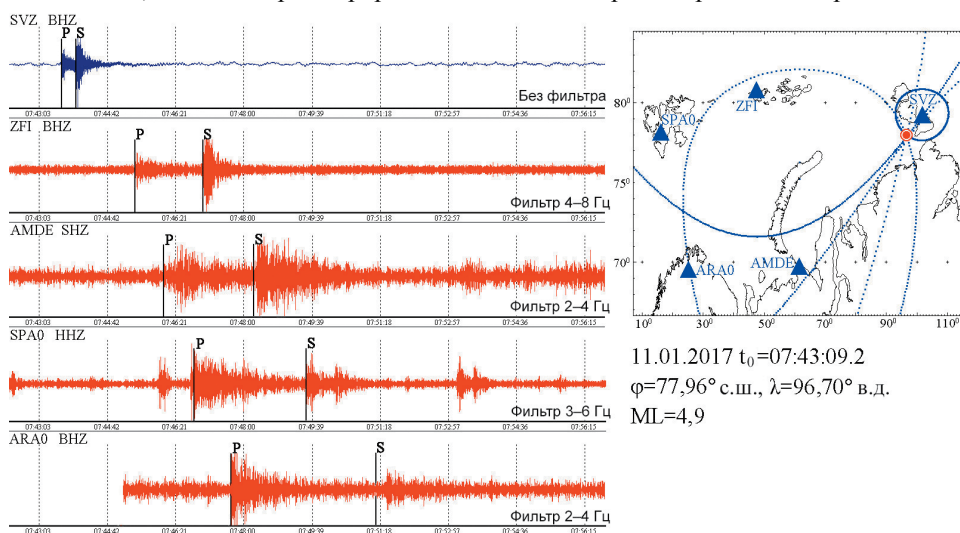


Рис. 4. Сейсмические записи и фрагмент обработки землетрясения вблизи арх. Северная Земля 11.01.2017 г.

Fig. 4. Seismic waveforms and a fragment of the earthquake processing that occurred near the Severnaya Zemlya archipelago 11.01.2017

два было обработано согласно стандартным правилам обработки (минимум 3 станции) и еще одно — по двум станциям SVZ и OMEGA Архангельской сейсмической сети. Остальные землетрясения были обработаны в программе EL, используемой нами для обработки данных, зарегистрированных одной станцией.

На рис. 4 приведен пример обработки наиболее сильного локального землетрясения, произошедшего 11.01.2017 г.,  $t_0 = 07:43:09.2$ ,  $M_L = 4,9$ . К обработке приняты исходные записи с четким вступлением объемных волн. Кроме арктических станций Архангельской сети, были привлечены волновые формы со станций арктических групп NORSAR (ARA0, SPA0).

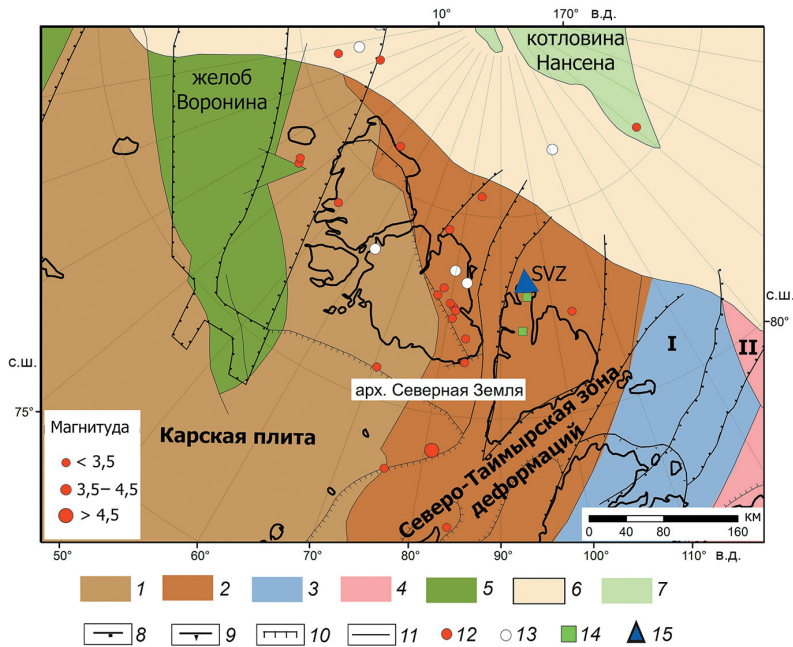


Рис. 5. Пространственное распределение сейсмических событий в районе архипелага Северная Земля на фрагменте карты основных неотектонических и геоморфологических элементов Арктики по [15].

Литосферные плиты: 1 — с позднекембрийским фундаментом, 2 — с позднекембрийским фундаментом, подвергшиеся герцинским тектоническим деформациям; 3 — аккреционно-коллизийные комплексы; 4 — чехол (деформированный в мезозое); 5 — трог и склоны с корой переходного типа; 6 — современный континентальный склон; 7 — океаническая кора. Новейшие разломы по [8, 9]: 8 — сбросы, 9 — взбросы, 10 — неустановленного типа; 11 — границы структур; 12 — локальные землетрясения; 13 — землетрясения за 1900–2014 гг. по данным ISC; 14 — ледовые события; 15 — пункт сейсмических наблюдений «Северная Земля»; I — Таймырский аккреционный пояс; II — Южно-Таймырский складчатый пояс

Fig. 5. Spatial distribution of seismic events in the Severnaya Zemlya archipelago region on the map of main neotectonic and geomorphological elements of the Arctic by [15].

Lithospheric plates: 1 — with Late Precambrian basement, 2 — subjected to Hercynian tectonic deformations; 3 — Neoproterozoic Taimyr accretionary belt; 4 — cover of the Siberian craton subjected to tectonic deformations in the Mesozoic; 5 — troughs with suboceanic type crust; 6 — continental slope; 7 — oceanic crust. Neotectonic faults: 8 — normal faults, 9 — thrusts, 10 — undetermined type; 11 — structures boundaries; 12 — local earthquakes; 13 — earthquakes for 1900–2014 by the ISC catalogue; 14 — icequakes; 15 — seismic station SVZ; I — Taimyr accretion belt, II — South Taimyr fold belt



Информация об эпицентре этого землетрясения содержится в международном центре IDC. Обработка в IDC проведена по данным 14 сейсмических станций,  $t_0 = 07:43:04.4$ ,  $M_L = 4,1$ ,  $m_b = 3,6$ . Разница во времени в очаге между обработкой в лаборатории сейсмологии (см. рис. 4) и IDC составила 4,4 с и  $0,14^\circ$ , что в данном случае можно считать хорошей сходимостью результатов.

Несмотря на определенные трудности при обработке событий, их эпицентры приурочены к границе Карской плиты, попадают в зону Северо-Таймырской деформации — разлом сбросового характера (рис. 5) по [15]. Согласно работам [15, 16, 17], проявление сейсмичности предположительно связано с процессами рифтогенеза, развивающегося в центральной сейсмоактивной зоне моря Лаптевых.

*События ледникового происхождения.* На записях станций SVZ отмечаются импульсные микроколебания (ИМК), предположительно связанные с ледниковой активностью припая или ледниковых куполов. Подобные ИМК наблюдаются и на других станциях Архангельской сети, расположенных как на арктических островах, так и на юге Архангельской области, — «Климовская», «Тамица», «Соловки», «Амдерма», «Земля Франца-Иосифа». Все они обладают схожими характеристиками волновой формы:

- длительность записи одного импульса составляет от 1,5 до 5 с;
- на записи присутствует плавно затухающая «хвостовая» часть, которая более длиннопериодная по сравнению с первым вступлением;
- специфичным для них является и то, что на записи невозможно выделить вступления продольных и поперечных волн;
- максимум частоты приходится на диапазон 2–8 Гц.

Подобного рода импульсы на всех станциях связываются нами с ледниковыми процессами [18, 19, 20].

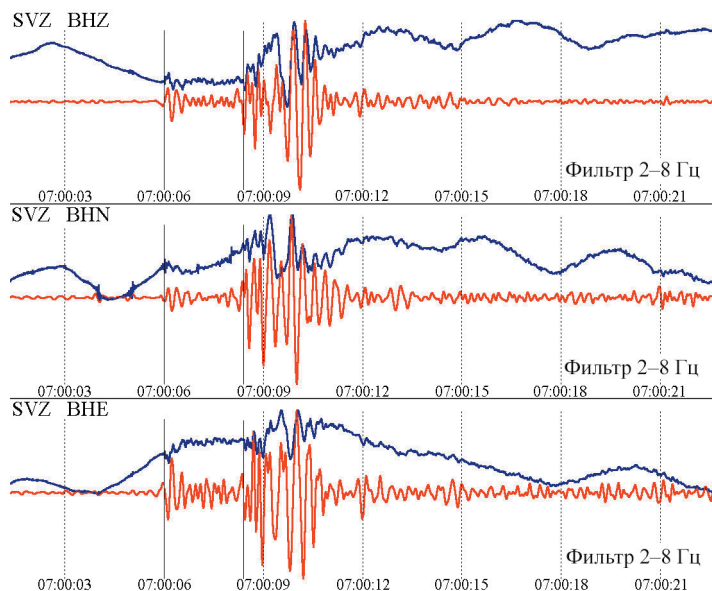


Рис. 6. Сейсмическая запись локального события 11.12.2017 г.

Fig. 6. Seismic waveforms of the local event 11.12.2017

Исключения составили два сейсмических события, произошедшие 11.12.2017 г. на расстояниях 20 км и 35 км от станции SVZ (рис. 6). На записях выделяются фазы продольной (*P*) и поперечной (*S*) волн, что дает возможность оценить местоположение эпицентров. На карте рис. 2 они отмечены зелеными квадратами.

### ВЫВОДЫ

Развитие сетей инструментальных сейсмологических наблюдений в Российской Арктике открывает дополнительные возможности расширения представлений о геодинамике данного региона. Первые результаты работы сейсмической станции SVZ, несмотря на короткий период анализируемого материала, позволяют дополнить общую картину Баренцево-Карской континентальной окраины и Евразийского суббассейна в целом новыми сведениями о новейшей тектонической активности рассматриваемого региона. Большинство сейсмических событий, которые регистрирует станция SVZ, являются региональными и приурочены в большинстве случаев к восточной части хребта Гаккеля. Магнитудный диапазон региональных землетрясений с привлечением других станций составляет от 3,1 до 5,4. Локальные землетрясения приурочены к границе Карской плиты и зоне Северо-Таймырской деформации, окраине Баренцево-Карского шельфа; зафиксированы события в районе транспортного коридора Северного морского пути. Значение локальной магнитуды землетрясений находится в диапазоне от 1,2 до 4,9. Расчет фокальных механизмов произошедших региональных и локальных землетрясений в силу практического отсутствия сейсмических станций в рассматриваемом регионе в настоящее время не представляется возможным. Актуальной становится задача расширения сетей сейсмических наблюдений в Российской Арктике.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-70018 «Геодинамическая обстановка нефтегазоносных провинций Баренцева и Карского морей по новейшим сейсмотектоническим данным».

**Acknowledgements.** This work is supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant 18-05-70018 “Geodynamic situation of oil and gas-bearing basins of Barents-Kara region according to the recent seismotectonic data”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев А.В., Бушенкова Н.А., Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л. Структура верхней мантии Арктического региона по данным региональной сейсмотомографии // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 10. С. 1261–1272.
2. Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise // Open-File Report 93–322. 1993. 95 p.
3. Мальцев Н.А., Никишин В.А., Никишин А.М., Обметко В.В., Мартиросян В.Н., Клецина Л.Н., Рейдик Ю.В. Новая модель геологического строения и история формирования Северо-Карского осадочного бассейна // ДАН. 2012. Т. 445. № 1. С. 50–54.

### REFERENCES

1. Yakovlev A.V., Bushenkova N.A., Kulakov I.Yu., Dobrecov N.L. Structure of the upper mantle of the Arctic region based on the region's seismotomography. *Geologia i geophysica*. Geology and Geophysics. 2012, 53, 10: 1261–1272. [In Russian].
2. Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise. Open-File Report 93–322. 1993: 91 p.
3. Malyshev N.A., Nikishin V.A., Nikishin A.M., Obmetko V.V., Martirosyan V.N., Kleschina L.N., Reidik Yu.V. A new model of the geological structure and the history of the formation of the North Kara sedimentary basin. *Doklady Akademii Nauk*. Proc. of the Academy of Sciences. 2012, 445, 1: 50–54. [In Russian].

4. Данилов А.В., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В. Особенности установки пунктов регистрации сейсмических событий в Арктическом регионе России // Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. № 3. С. 5–24.
5. 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». Петергоф, 2–6 октября 2006 г. Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77–83.
6. 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. V. 93C. P. 31–41.
7. Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic location calibration of the European Arctic // Pure and Applied Geophysics. 2001. V. 158. № 1–2. P. 117–128.
8. Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России». М., 2004, 279 с.
9. Arctic Petroleum Geology / Spencer, A.M., Embry, A.F., Gautier, D.L., Stoupakova, A.V. & Sørensen, K. (eds). Geological Society Memoir No. 35. London. Published by the Geological Society, 2011. URL: <https://doi.org/10.1144/M35> (дата обращения 01.07.2018).
10. Конечная Я.В. Изучение особенностей природной сейсмичности западного сектора Арктики по данным станций Баренц-региона: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: ООО «Гефест», 2015. 24 с.
11. Программный комплекс EL (ELRESS) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.krsc.ru/EL> (дата обращения 04.07.2018).
12. Антоновская Г.Н., Басакина И.М., Конечная Я.В. Распределение сейсмичности и аномалий теплового потока Баренцево-морского региона // Геотектоника. 2018. № 1. С. 52–62.
13. Французова В.И., Иванова Е.В., Конечная Я.В. Сравнение заполярных станций Архангельской и Канадской сетей на предмет сезонных вариаций в регистрации сейсмических событий // Современные методы об-
4. Danilov A.V., Antonovskaya G.N., Konechnaya Ya.V. Specific Features of Seismic Station Installation in the Arctic Region of Russia. *Seismicheskie pribory*. Seismic Instruments. 2013, 49, 3: 5–24. [In Russian].
5. Krasilov S.A., Kolomic M.V., Akimov A.P. Organization of processing of digital seismic data using the WSG software package. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh: Materialy Mezhdunaroi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh", posvyashchennoi 100-letiyu otkrytiya seismicheskikh stancii «Pulkovo» i «Ekaterinburg»*. Proc. of the International seismological school "Modern method of processing and interpretation of seismological data" dedicated to 100-anniversary foundation of seismic station "Pulkovo" and "Ekaterinburg", Petergof, 2–6 October 2006. Obninsk: GS RAS, 2006: 77–83. [In Russian].
6. 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, 93C: 31–41.
7. Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic location calibration of the European Arctic. *Pure and Applied Geophysics*. 2001, 158, 1–2: 117–128.
8. Atlas "Geologiya i poleznye iskopaemye shel'fov Rossii". Moscow, 2004: 279 p. [In Russian].
9. Arctic Petroleum Geology. Spencer A.M., Embry A.F., Gautier D.L., Stoupakova A.V., Sørensen K. (eds). Geological Society Memoir, 35. London, Published by the Geological Society, 2011. URL: <https://doi.org/10.1144/M35> (accessed 01.07.2018).
10. Konechnaya Ya.V. *Izuchenie osobennostey prirodnoy seismichnosti zapadnogo sectora Arctiki po dannym stantsiy Barentz-regiona*. Study of the features of natural seismicity of the Arctic western sector according to the data of the Barents region seismic stations. Extended Abstract of Candidate's Dissertation in Technical Sciences. Arkhangelsk, 2015. [In Russian].
11. *Programmnyi kompleks EL (ELRESS)*. EL program (ELRESS). Available at: <http://www.krsc.ru/EL> (accessed 04.06.2018).
12. Antonovskaya G.N., Basakina I.M., Konechnaya Ya.V. Distribution of Seismicity and Heat Flow Anomalies in the Barents Sea Region. *Geotektonika*. Geotectonics. 2018, 52, 1: 52–62. doi: 10.1134/S001685211801003X.

- работки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Десятой Международной сейсмологической школы / Отв. редактор А.А. Маловичко. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 334–338.
14. Morozov A.N., Asming V.E., Vaganova N.V., Konechnaya Y.V., Mikhaylova Y.A., Evtyugina Z.A. Seismicity of the Novaya Zemlya archipelago: relocated event catalog from 1974 to 2014 // Journal of Seismology. 2017. V. 21 (6). P. 1439–1466.
15. Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1083–1107.
16. Аветисов Г.П. Сейсмичность моря Лаптевых и ее связь с сейсмичностью Евразийского бассейна // Тектоника Арктики. Вып. 1. Л., 1975. С. 31–36.
17. Engen Ø., Eldholm O., Bungum H. The Arctic plate boundary // Journal of Geophysical Research. 2003. V. 108, № B2. 2075, doi:10.1029/2002JB001809.
18. Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах / Под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 243 с.
19. 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.
20. Данилов А.В. Сейсмические проявления ледниковой активности на о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа // Восемнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. Пермь: ГИ УрО РАН, 2017. С. 79–82.
13. Francuzova V.I., Ivanova E.V., Konechnaya Ya.V. Comparison of polar stations of the Arkhangelsk and Canadian networks for seasonal variations in the registration of seismic events. *Materialy Desyatoi Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretacii seismologicheskikh dannykh"*. Proc. of the X International seismological school "Modern method of processing and interpretation of seismological data". A.A. Malovichko (edits). Obninsk: GS RAS, 2015: 334–338. [In Russian].
14. Morozov A.N., Asming V.E., Vaganova N.V., Konechnaya Y.V., Mikhaylova Y.A., Evtyugina Z.A. Seismicity of the Novaya Zemlya archipelago: relocated event catalog from 1974 to 2014. Journal of Seismology. 2017. 21 (6): 1439–1466.
15. Vernikovskii V.A., Dobrecov N.L., Metelkin D.V., Matushkin N.YU., Kulakov I.Yu. Problems of tectonics and tectonic evolution of the Arctic. *Geologia i geophisica*. Geology and Geophysics, 2013, 54, 8: 1083–1107. [In Russian].
16. Avetisov G.P. Seismicity of the Laptev Sea and its relationship to the seismicity of the Eurasian basin. *Tektonika Arktiki. Vyp. 1*. Tectonics of the Arctic, 1. Leningrad, 1975: 31–36. [In Russian].
17. Engen Ø., Eldholm O., Bungum H. The Arctic plate boundary. Journal of Geophysical Research. 2003. 108, B2, 2075, doi:10.1029/2002JB001809.
18. *Seismologicheskie issledovaniya v arkticheskikh i priarkticheskikh regionah*. Seismological research in the Arctic and near-Arctic regions. F.N. Yudahin (edits). Ekaterinburg: Ural Branch of RAS, 2011: 243 p. [In Russian].
19. Francuzova V.I., Konechnaya Ya.V., Ivanova E.V. Registration of seismic events by the polar station "Amderma" as part of the Arkhangelsk network. *Sovremennyye metody obrabotki i interpretacii seismologicheskikh dannykh: Materialy Desyatoi Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly*. Proc. of the VIII International seismological school "Modern method of processing and interpretation of seismological data", Obninsk: GS RAS, 2013: 332–336. [In Russian].
20. Danilov A.V. Seismic manifestations of glacial activity on The Land of Alexandra island of the Franz Josef Land Archipelago. *Sbornik nauchnykh materialov vosemnadcatoi ural'skoi molodezhnoi nauchnoi shkoly po geofizike*. Proc. of the XVIII Ural Youth Scientific School on Geophysics. Perm: MI UB RAS, 2017: 79–82. [In Russian].