Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.34

DOI: 10.19110/geov.2021.9.3

Результаты работы Архангельской сейсмической сети за 2016—2020 гг. и ее вклад в сейсмический мониторинг Арктики

А. П. Турова, Е. Р. Морозова

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени акад. Н. П. Лаверова УрО РАН, Архангельск
turova_ap@fciarctic.ru, Morozova_ER@fciarctic.ru

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова УрО РАН проводит мониторинг западного сектора Российской Арктики на базе Архангельской сейсмической сети (АСС). Представлены сведения о количестве землетрясений, зарегистрированных станциями АСС за 2016—2020 гг., диаграммы распределения числа событий по магнитуде, а также карта пространственного распределения эпицентров землетрясений. Более детально рассмотрен результат работы открывшейся в 2020 г. в составе АСС сейсмической станции Колба в п. г. т. Диксон Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края. Полученные результаты демонстрируют вклад Архангельской сейсмической сети в формирование современных представлений о сейсмичности Арктики.

Ключевые слова: Архангельская сейсмическая сеть, сейсмический мониторинг, Арктика, землетрясения.

Operating results of the Arkhangelsk seismic network over the past five years and its contribution to the Arctic seismic monitoring

A. P. Turova, E. R. Morozova

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk

The Federal Research Center for the Integrated Study of the Arctic named after N. P. Laverov, conducts monitoring of the Western Sector of the Russian Arctic on the basis of the Arkhangelsk Seismic Network (ASN). We presented data on the number of earthquakes registered by ASN stations for 2016—2020, diagrams of the distribution of the number of events by magnitude, and also a map of the spatial distribution of earthquake epicenters. We examined operating results of the Kolba seismic station opened in 2020 as a part of ASN in the Dixon Village of the Taimyr Dolgan-Nenets district of the Krasnoyarsk region of Russia. The obtained results demonstrated the contribution of the Arkhangelsk seismic network to the formation of modern ideas about the Arctic seismicity.

Keywords: Arkhangelsk seismic network, seismic monitoring, Arctic, earthquakes.

Введение

Расширение представлений о сейсмичности Арктики, уточнение глубинного строения, проведение сейсмического районирования и оценка сейсмической опасности необходимы для безопасного потребления природных ресурсов и общего понимания эволюции развития Арктического бассейна.

В настоящее время на территории Баренцева и Карского морей открыты газовые, газоконденсатные, нефтяные и нефтегазоконденсатные месторождения. В связи с увеличением добычи углеводородов развиваются и грузоперевозки по Северному морскому пути (СМП). Считается, что район СМП в западной части

Российской Арктики асейсмичен. Однако благодаря открытию арктических станций ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН» (ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН) районы Белого моря, арх. Новая Земля и Северная Земля можно рассматривать с точки зрения слабой сейсмичности. Акватория Белого моря является частью СМП, а Архангельск — одним из его портов, поэтому данные о сейсмичности региона важны для обеспечения безопасной навигации в акватории Севморпути. В настоящее время мониторинг западного сектора Российской Арктики осуществляется двумя организациями: Кольским филиалом

Для цитирования: Турова А. П., Морозова Е. Р. Результаты работы Архангельской сейсмической сети за 2016—2020 гг. и ее вклад в сейсмический мониторинг Арктики // Вестник геонаук. 2021. 9(321). С. 39—44. DOI: 10.19110/geov.2021.9.3.

For citation: Turova A. P., Morozova E. R. Operating results of the Arkhangelsk seismic network over the past five years and its contribution to the Arctic seismic monitoring. Vestnik of Geosciences, 2021, 9(321), pp. 39—44, doi: 10.19110/geov.2021.9.3.

ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН» (КоФ ФИЦ ЕГС РАН) [3] и ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН.

В данной работе мы сконцентрируемся на результатах работы Архангельской сейсмической сети (АСС), являющейся частью ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, благодаря функционированию которой были получены уникальные сведения о сейсмичности арктического шельфа [2]. Проанализируем результаты сейсмического мониторинга западного сектора Российской Арктики, включая район Северного морского пути за 2016–2020 гг.

Методы и подходы

В настоящее время АСС представляет собой группу из 10 пунктов сейсмических наблюдений, два из которых находятся на совместном обслуживании с ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1). Как видно на рис. 1, станции

Рис. 1. Расположение сейсмических станций, волновые формы которых используются нами для обработки землетрясений:

1 — зарубежные сейсмические станции, 2 — станции ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, 3 — станции на совместном обслуживании ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН

Fig. 1. Location of seismic stations, the waveforms of which we use to process earthquakes:

1 — foreign seismic stations, 2 — stations of FICIKIA UrB RAS, 3 — stations in cooperation with FRC GS RAS

ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН установлены преимущественно в восточной части западного сектора Российской Арктики [6]. Привлекая волновые формы со станций зарубежных сейсмических служб (рис. 1), мы тем самым получаем недостающую информацию для локализации сейсмических событий. Это необходимая процедура, так как арктические землетрясения, как правило, низкомагнитудные и выполнить качественную локацию только станциями АСС не представляется возможным. Арктические землетрясения преимущественно фиксируются следующими станциями АСС: «Амдерма», код AMDE1, «Земля Франца-Иосифа», код ZFI2, «Омега», код OMEGA, «Северная Земля», код SVZ, «Колба», код KOLBA (открыта в октябре 2020 г.).

Все данные со станций АСС поступают на сервер лаборатории сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, где они конвертируются и поступают в базу данных WSG. Обработка волновых форм производится в программном комплексе WSG [1]. Как правило, для более четкого выделения вступлений объемных волн арктических региональных землетрясений мы используем фильтры 2–8 Гц, 3–6 Гц, 6–10 Гц, а для локальных — 6–8 Гц. В процессе обработки сейсмической информации при необходимости нами привлекаются волновые формы со станций зарубежных сейсмологических служб для повышения точности определения координат эпицентров землетрясений. Обработанные события в дальнейшем включаются нами в сейсмологический каталог. Ежемесячные результаты работы АСС в виде карт размещаются на сайте ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН в соответствующем разделе [5]. Краткая информация по техническому оснащению станций АСС, график работ каждого пункта сейсмических наблюдений приведены в таблице, представленной на сайте ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН [7]. Информация о зарегистрированных арктических землетрясениях ежегодно направляется в Международный сейсмологический центр [8].

На рисунке 2 показаны волновые формы и фрагмент обработки арктического землетрясения магнитудой 3.8, произошедшего 27 января 2018 на архипелаге Новая Земля. Данный пример демонстрирует важность включения в обработку волновых форм других сейсмических станций, не входящих в состав АСС, что в итоге повышает точность локализации события. Землетрясение обработано и включено в сейсмологический каталог ISC [8].

События, которые регистрируются только одной станцией, обрабатываются нами в специализированном программном комплексе EL — разработке коллег из КоФ ФИЦ ЕГС РАН [3]. На рис. 3 показаны волновые формы и фрагмент обработки землетрясения, произошедшего 22 октября 2020 г. [7]. Из всех сейсмических станций, функционирующих на территории Российской Арктики, данное событие было зарегистрировано только станцией KOLBA. Положение эпицентра определено в акватории Карского моря на расстоянии 190 км. Событие является слабым и имеет локальную магнитуду $M_L = 1.7$.

Рис. 2. Волновые формы и фрагмент обработки землетрясения, произошедшего на архипелаге Новая Земля
Fig. 2. Waveforms of the earthquake occurred in the Novaya Zemlya Archipelago

Результаты и обсуждение

За период с 2016 по 2020 гг. в исследуемом районе было зарегистрировано 2020 землетрясений, из которых 1987 региональных и 33 локальных. Землетрясения приурочены к различным геологическим структурам Евро-Арктического региона (рис. 4). В таблице приведена информация о распределении количества региональных и локальных землетрясений по годам, зарегистрированных арктическими станциями АСС, а на рисунке 5 — диаграмма распределения событий по различным геолого-тектоническим структурам и количества событий по магнитуде.

Из таблицы видно, что станции AMDE1, ZFI2, OMEGA и SVZ регистрируют множество региональных событий, внося тем самым немалый вклад в сейсмический мониторинг Арктики. Тем не менее для более глубокого и детального изучения необходимо расширять сейсмическую сеть.

На рисунке 4 представлен вклад АСС в сейсмический мониторинг Арктики за 2016—2020 гг. (рис. 4, b) в сравнении с аналогичными результатами, полученными за тот же период при функционировании только зарубежных станций (рис. 4, a). Информация для анализа была взята из каталога NORSAR [9]. На рисун-

Рис. 3. Волновые формы и фрагмент обработки землетрясения, произошедшего в Карском море
Fig. 3. Waveforms and fragment of the processing of the earthquake occurred in the Kara Sea

Количество землетрясений, зарегистрированных в 2016—2020 гг. арктическими станциями
Архангельской сейсмической сети

Number of earthquakes registered in 2016—2020 arctic stations of the Arkhangelsk seismic network

Арктические станции ACC ASN Arctic stations	2016		2017		2018		2019		2020	
	REG	LOC	REG	LOC	REG	LOC	REG	LOC	REG	LOC
AMDE1	17	0	26	1	14	0	0	0	24	0
ZFI2 OMEGA	323	6	319	5	373	3	393	7	259	0
SVZ	5	0	63	1	111	1	33	0	24	1

Рис. 4. Карты пространственного распределения эпицентров землетрясений за 2016—2020 гг.:

a — зарегистрированных зарубежными станциями, *b* — зарегистрированных станциями Архангельской сейсмической сети совместно с зарубежными станциями

Fig. 4. Maps of the spatial distribution of earthquake epicenters for 2016—2020:

a — registered by foreign stations, *b* — registered by stations of the Arkhangelsk seismic network in cooperation with foreign stations

ке видно, что благодаря функционированию АСС появляется дополнительная информация о сейсмичности хребта Гаккеля, Баренцево-Карского шельфа, района арх. Новая Земля.

Анализ диаграммы показывает, что максимальное количество землетрясений происходит в районе арктических хребтов Книповича и Гаккеля, примерно в половину меньше — в районе архипелага Шпицберген. Незначительное число землетрясений регистрируется вблизи хребта Мона, на шельфе Баренцева и Гренландского морей, желобе Франц-Виктория. Единичные землетрясения приурочены к поднятию Белый и Виктория, архипелагу Новая Земля и желобу Святой Анны. За анализируемый период сильнейшее землетрясение зарегистрировано в Гренландском море 11.08.2018 г., его магнитуда составила $m_b = 7.5$.

Диаграмма распределения событий по магнитуде (рис. 5, b) показывает, что из 2020 зарегистрированных событий за 2016—2020 гг. 152 имеют магнитуду 2.0, 1405 — магнитуду 3.0, 294 — магнитуду 4.0, 105 — магнитуду 5.0 и 25 событий произошли с магнитудой 6.0 и более.

Сейсмическая станция KOLBA

Рассмотрим отдельно первые результаты работы сейсмической станции KOLBA, открытой 11 октября 2020 г. в п. г. т. Диксон Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края России.

Пункт сейсмических наблюдений имеет высокочувствительную сейсмическую аппаратуру: сейсмометр TC-120s и регистратор Centaur фирмы Nanometrics. На сервер лаборатории сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН данные поступают по SeedLink-протоколу через сеть Интернет. Несмотря на то, что сейсмическая станция (с/с) KOLBA начала свою работу совсем недавно, уже есть первые результаты.

К примеру, за период 11.10.2020—31.03.2021 с/с KOLBA было зарегистрировано 93 региональных и 3 локальных сейсмических события. Региональные события, произошедшие на расстояниях свыше 1000 км, наилучшим образом выделяются с использованием фильтров 1.5—3 Гц и 2—4 Гц, а на более близких расстояниях — 4—6 Гц и 4—8 Гц.

Помимо землетрясений с/с KOLBA регистрирует и техногенные события, связанные с промышленной деятельностью вблизи г. Норильска. Пример волновых форм и фрагмент обработки техногенного события представлен на рис. 6.

Рис. 5. Диаграммы распределения числа событий:

a — по геолого-тектоническим структурам: 1 — хребет Книповича, 2 — архипелаг Шпицберген, 3 — хребет Гаккеля, 4 — хребет Мона, 5 — желоб Святой Анны, 6 — поднятие Белый и Виктория, 7 — архипелаг Новая Земля, 8 — желоб Франц-Виктория, 9 — Баренцево море, 10 — Гренландское море; **b** — по магнитуде (в процентном соотношении)

Fig. 5. Diagram of the spatial distribution of the number of events:

a — relative to geological and tectonic structures :1 — Knipovich Ridge, 2 — Svalbard Archipelago, 3 — Gakkel Ridge, 4 — Mohn Ridge, 5 — St. Anne Trough, 6 — Bely and Victoria Rise, 7 — Novaya Zemlya Archipelago, 8 — Franz-Victoria Trough, 9 — Barents Sea, 10 — Greenland Sea, **b** — by magnitude (in percentage)

Рис. 6. Пример волновых форм и фрагмент обработки техногенного события

Fig. 6. Example of waveforms and fragment of processing a technogenic event

Событие произошло 16.10.2020 (t0 = 09:01:06, lat — 69.33, lon — 87.54, mb = 3.0). Для определения локации и выяснения природы подобного рода событий были запрошены данные Норильской с/с NRIK. Событие лоцируется в районе добывающего предприятия «Норильский никель», а значит, с большой вероятностью имеет техногенную природу. Несмотря на то, что в обработке участвовали всего лишь две станции, проведена наиболее возможная локация за счет уверенного определения азимутального направления по записям с/с NRIK.

Выводы

Представленные результаты демонстрируют важность работы Архангельской сейсмической сети в фор-

мировании современных представлений о сейсмичности Арктики. Большая часть землетрясений имеют магнитуду 3.0 и происходят в районах срединно-океанических хребтов и Свальбардского поднятия. Выявлена современная сейсмичность на границе континентального шельфа, в районах арктических желобов и архипелага Новая Земля, фиксируются события в Белом море и в районах прохождения Северного морского пути. События с магнитудой 4.0—5.0, как правило, приурочены к арктическим хребтам.

Землетрясение, произошедшее в Карском море (одно из морей, через которое пролегает СМП), считающееся асейсмичным районом, подчеркивает необходимость расширения сетей сейсмических наблюдений в российском секторе Арктики.

Каждая новая сейсмическая станция не только позволяет улучшить локацию арктических землетрясений, но и дает возможность включить их в сейсмический каталог, так как всё еще существенная часть арктических землетрясений регистрируется максимум двумя станциями. Известно, что для включения события в сейсмический каталог необходимо, чтобы оно было зарегистрировано минимум тремя станциями. Поэтому, несмотря на полученные результаты, необходимо дальнейшее проведение сейсмических исследований в Арктике.

Работа выполнена при частичной поддержке темы НИР лаборатории сейсмологии, № государственной регистрации АААА-А18-118012490072-7 и гранта «Молодые ученые Поморья» №10-2021а.

Литература

1. Акимов А. П., Пойгина С. Г., Красилов С. А. Функциональные возможности программы WSG Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 2006. 12 с.
2. Антоновская Г. Н., Рогожин Е. А., Капустян Н. К., Конечная Я. В., Федоренко И. В. Задачи и перспективы развития сейсмических наблюдений в Арктике // Развитие систем сейсмологического и геофизического мониторинга природных и техногенных процессов на территории Северной Евразии: Материалы междунар. конф., посвящ. 50-летию открытия Центр. геофиз. обсерватории в г. Обнинске / Отв. ред. А. А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. 9 с.
3. Асминг В. Э. Программный комплекс для автоматизированной обработки сейсмических записей «EL» // Приборы и методика геофизического эксперимента. Мурманск: Изд. ОСЮ «МИП-999», 1997. С. 125—132.
4. Единая геофизическая служба РАН. Режим доступа: <http://www.gsras.ru/new/ssd.htm>.
5. Уникальная научная установка «Архангельская сейсмическая сеть». URL: <http://fciaarctic.ru/index.php?page=geoss> (дата обращения 26.05.2021).
6. Юдахин Ф. Н., Морозов А. Н., Конечная Я. В. Возможности архангельской сейсмической сети для мониторинга арктического региона // Геофизические исследования. 2012. Т 13. № 3. С.74—84.
7. Equipment information. URL: <http://fciaarctic.ru/index.php?page=map>. (дата обращения 26.05.2021).

8. ISC Bulletin: event catalogue search. URL: <http://www.isc.ac.uk/> (дата обращения 19.05.2021)

9. Seismic Bulletins. URL: <https://www.norsar.no/extranet/bulletins/> (дата обращения: 14.05.2021).

References

1. Akimov A. P., Pojgina S. G., Krasilov S. A. *Funkcionalnye vozmozhnosti programmy WSG* (Functionality of WSG program). Obninsk, COME GS RAN, 2006, 12 pp.
2. Antonovskaya G. N., Rogozhin E. A., Kapustyan N. K., Konechnaya Y. V., Fedorenko I. V. *Zadachi i perspektivy razvitiya sejsmicheskikh nablyudenij v Arktike* (Development of systems for seismological and geophysical monitoring of natural and man-made processes in Northern Eurasia). Proceedings of conference. Ed. A. A. Malovichko, Obninsk: FRC EGS RAS, 2017, 9 pp.
3. Asming V. E. *Programmnyj kompleks dlya avtomatizirovannoj obrabotki sejsmicheskikh zapisej «EL»* (Software complex for automated processing of seismic records «EL»). *Pribory i metoda geofizicheskogo eksperimenta* (Equipment and methods for geophysical experiment). Murmansk, MIP-999, 1997, pp.125—132
4. *Edinaya geofizicheskaya sluzhba RAN* (United geophysical survey of RAS) URL: <http://www.gsras.ru/new/ssd.htm>
5. *Unikalnaya nauchnaya ustanovka «Arhangel'skaya sejsmicheskaya set»* (Unique scientific Archangelsk seismic network). Electronic resource. Access mode <http://fciaarctic.ru/index.php?page=geoss> (on 26.05.2021).
6. Yudahin F. N., Morozov A. N., Konechnaya Y. V. *Vozmozhnosti arhangel'skoj sejsmicheskoy seti dlya monitoringa arkticheskogo regiona* (Possibilities of the Arkhangelsk seismic network for monitoring the Arctic region). *Geofizicheskie issledovaniya* (Geophysical researches). V.13, No. 3, 2012, pp.74—84.
7. Equipment information. URL: <http://fciaarctic.ru/index.php?page=map>. (accessed 26.05.2021).
8. ISC Bulletin: event catalogue search. URL: <http://www.isc.ac.uk/> (accessed 19.05.2021)
9. Seismic Bulletins. URL: <https://www.norsar.no/extranet/bulletins/> (accessed 14.05.2021).

Поступила в редакцию / Received 23.07.2021