

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРКТИКИ в 2016–2017 гг.

А.Н. Морозов^{1,2}, Г.Н. Антоновская², В.Э. Асминг³, С.В. Баранов³, Н.В. Ваганова²,

Ю.А. Виноградов³, Я.В. Конечная^{2,3}, А.В. Федоров³, И.С. Федоров³

¹ИФЗ РАН, Россия, г. Москва, morozovalexey@yandex.ru

²ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, Россия, г. Архангельск, essm.ras@gmail.com

³ФИЦ ЕГС РАН, Россия: г. Обнинск, frc@gstras.ru; г. Анамуты, andrey_v_fedorov@inbox.ru;
г. Архангельск, arh-seismo@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены обзор и анализ сейсмичности в пределах границ региона «Арктика» за 2016 и 2017 гг., дано описание сетей сейсмических станций и методики обработки. Каталог землетрясений по региону «Арктика» составлялся на основе каталогов нескольких организаций и сейсмологических центров. Всего в каталог включено 875 землетрясений. Большая часть очагов землетрясений приурочена к срединно-океаническим хребтам Мона, Книповича и Гаккеля. В пределах хребтов произошли все сильнейшие землетрясения за рассматриваемый период. На шельфовых территориях большая часть землетрясений была приурочена к архипелагу Шпицберген, в частности, к сейсмоактивной зоне в проливе Стур-фьорд. В пределах шельфовых территорий сейсмичность характерна и для зоны перехода «континент-океан» Баренцево-Карского региона. Большинство землетрясений в пределах зоны перехода приурочены к устьевым частям желобов. Для 39 землетрясений приведены параметры механизма очага по данным GСMT. Дана оценка выделившейся на территории региона сейсмической энергии в 2016 г. – $2.73 \cdot 10^{11}$ Дж, в 2017 г. – 55.1710^{11} Дж.

Ключевые слова: Арктика, землетрясения, сейсмичность, сейсмические станции.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.21 **EDN:** DLWBKZ

Для цитирования: Морозов А.Н., Антоновская Г.Н., Асминг В.Э., Баранов С.В., Ваганова Н.В., Виноградов Ю.А., Конечная Я.В., Федоров А.В., Федоров И.С. Сейсмичность Арктики в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 235–241. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.21. EDN: DLWBKZ

Введение. В течение всего инструментального периода наблюдений обширные территории Арктики были крайне неравномерно и слабо охвачены стационарными сейсмическими наблюдениями из-за сложных климатических и географических условий, а также в силу исторических и экономических причин. В XX веке развитие инструментальных наблюдений проходило медленно и неравномерно как во времени, так и в пространстве.

Вплоть до конца XX века, функционирующая в Арктике сеть сейсмических станций, как отмечал Г.П. Аветисов [1], была достаточна для проведения общего мониторинга сейсмического режима Арктического региона в целом и накопления данных по уже известным его особенностям, но совершенно не удовлетворительна для осуществления детального изучения наиболее интересных и важных с позиций научного и прикладного аспектов узловых фрагментов сейсмоактивных зон. Значение представительной магнитуды, которая на раннем этапе инструментальных наблюдений, вплоть до 1957 г., оценивалась в 5.5–6.0, к концу 80-х гг. снизилась только до 3.9–4.0 [1]. В результате из анализа выпадал достаточно большой пласт низкомагнитудных землетрясений, изучение которых дает многое для выявления пространственно-временных вариаций сейсмичности и более глубокого понимания связи ее с геологическим строением региона и развивающимися в его пределах геодинамическими процессами [2].

С конца XX и в начале XXI веков начался процесс интенсивного развития инструментальных наблюдений в Арктике. Количество зарубежных и отечественных сейсмических станций, оснащенных современной высокочувствительной аппаратурой, существенно увеличилось. Расширилась и географическая представительность стационарных сейсмических станций [3, 4].

В XXI веке произошло существенное увеличение количества арктических сейсмических станций, в том числе благодаря усилиям сотрудников ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН, что сказалось на уменьшении порога регистрации землетрясений для отдельных районов Арктики. В частности, за рассматриваемый в статье период впервые в 2016 г. была установлена стационарная широкополосная сейсмическая станция на архипелаге Северная Земля (Прил. 1, рис. 1). А в 2017 г. начала функционировать сеть из трех сейсмических станций на

полуострове Ямал в Ямало-Ненецком автономном округе (рис. 1). Использование новых сейсмических станций, усовершенствованных алгоритмов обработки сейсмических сигналов и алгоритмов локации позволило исследователям существенно расширить наши представления о сейсмичности как Арктики в целом, так и ее отдельных районов [4].

В данной статье представлен обзор и анализ сейсмичности региона «Арктика» за период с 2016 по 2017 г. на основе сводных каталогов землетрясений (Прил. 2), механизмов очагов (Прил. 3) и макросейсмического эффекта (Прил. 4, 5). Сводный каталог землетрясений (Прил. 2) составлен на основе каталогов ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (Прил. 6) и КоФ ФИЦ ЕГС РАН (Прил. 7) с привлечением данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [5] и International Seismological Centre (ISC) [6]. Согласно решению Редакционного совета журнала «Землетрясения Северной Евразии» (Протокол № 1 от «9» октября 2019 г.), границы региона «Арктика» были изменены, координаты угловых точек контура границ следующие: 72.0°N–0°, 79.0°N–0°, 79.0°N–10.0°W, 90.0°N–10.0°W, 90.0°N–168.0°W, 74.0°N–168.0°W, 74.0°N–162.0°E, 76.0°N–162.0°E, 76.0°N–74.0°E, 69.0°N–74.0°E, 69.0°N–37.0°E, 70.0°N–37.0°E, 70.0°N–29.0°E, 72.0°N–29.0°E, 72.0°N–0° (рис. 1).

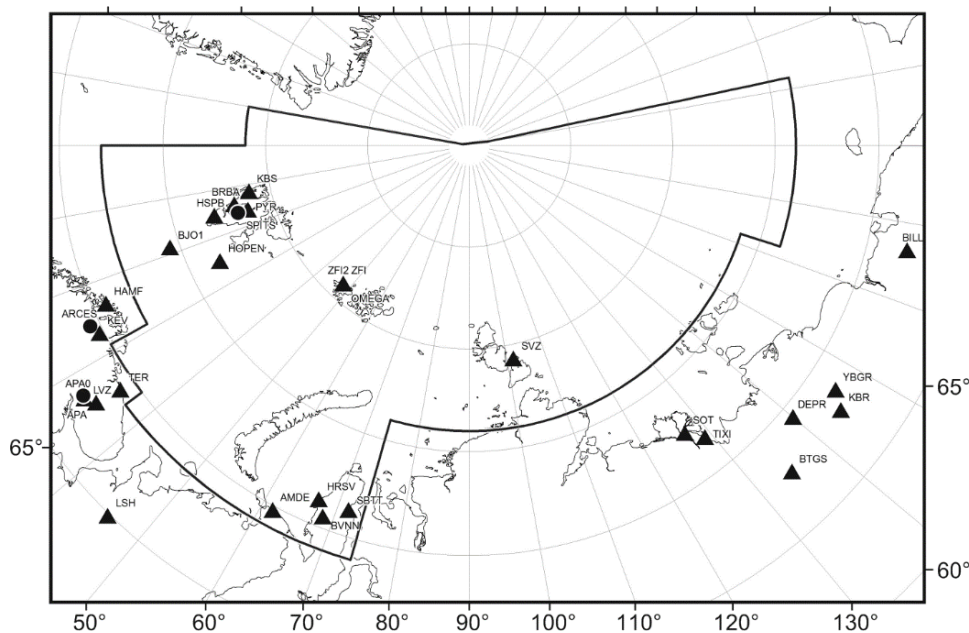


Рис. 1. Карта с указанием границ региона «Арктика» (линия), расположения сейсмических станций (треугольники) и сейсмических групп (кружки)

Сеть станций. Непосредственно на территории региона «Арктика», на архипелаге Шпицберген, функционировали сейсмические станции КоФ ФИЦ ЕГС РАН (код сети KOGSR), Бергенского университета (Норвегия, код сети NS), агентства NORSAR (Норвегия, код сети NO) и Геофизического института Польской академии наук (Польша, код сети PL). На архипелагах Земля Франца-Иосифа, Северная Земля и побережье Карского моря функционировали сейсмические станции ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (код сети АН).

Сейсмическая сеть КоФ ФИЦ ЕГС РАН осуществляет мониторинг преимущественно западной части Арктического региона на основе данных сейсмоинфразвукового комплекса BRBB и станций BRBA с привлечением исходных данных сейсмической группы SPITS (код сети NO), станций KBS и VADS (коды сетей GE и NS) и станции HSPB (код сети PL). Согласно [7], для архипелага Шпицберген значение представительной магнитуды сети $ML_{\min}=1.0$.

Сейсмическая сеть Центрального отделения (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН (код сети OBGR) осуществляла мониторинг преимущественно южной части Арктического региона на основе данных трех новых станций BVNN, SBTT и HRSV, установленных на полуострове Ямал. Каждая сейсмическая станция включает в себя: широкополосный сейсмометр Trillium Compact 120; цифровой регистратор Centaur CTR3-6S; комплект бесперебойного питания и передачи данных. Сейсмометры установлены в скважины на глубину от 2 до 5 м. Сбор и обработка данных производились в информационно-обрабатывающем центре (ИОЦ) КоФ ФИЦ ЕГС РАН.

Сейсмическая сеть ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН осуществляет мониторинг преимущественно центральной части Арктического региона с помощью станций ZFI2, ZFI3, SVZ и AMDE с привлечением исходных данных сейсмической группы SPITS (код сети NO), станций KBS, HOPEN и VJO1 (код сети NS) и станции HSPB (код сети PL). В ноябре 2016 г. на архипелаге Северная Земля на о. Большевик впервые была установлена стационарная сейсмическая станция SVZ, оснащенная датчиком CMG-6TD [4]. Для центральной части региона «Арктика» значение представительной магнитуды регистрации землетрясений с помощью этих станций составляет $ML_{\min}=3.5$.

Расположение сейсмических станций, функционирующих на территории региона «Арктика» и вблизи него, показано на рис. 1. Параметры аппаратуры российских станций, расположенных непосредственно на территории региона, представлены в (Прил. 1).

Методика обработки и исходные данные. Обработка региональных событий по данным сети АН проводилась в программном комплексе WSG [8] методом «засечек» с выделением продольных (P -фаза) и поперечных (S -фаза) волн. Для событий из района хребта Гаккеля использовался годограф NOES [9], для остальной территории региона – годограф BARENTS [10]. Расчет локальной магнитуды ML производился в WSG [11].

При обработке региональных событий по данным сети KOGSR использовался программный комплекс EL [12], а также метод «засечек» с выделением продольных (P -фаза) и поперечных (S -фаза) волн. Локация событий осуществлялась с помощью годографа на основе модели SPITS [13]. Расчет локальной магнитуды $ML_{\text{рег}}$ производился в EL.

Каталог землетрясений по региону «Арктика» составлялся на основе каталогов сетей АН, KOGSR, данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН и ISC (Прил. 2–4). В случаях, когда события имели несколько решений, за основу выбирались те параметры гипоцентра, которые были получены с использованием наибольшего количества сейсмических станций и вступлений сейсмических фаз.

Анализ сейсмичности и обсуждение результатов. Всего в каталог сейсмических событий региона «Арктика» за 2016 и 2017 гг. включено 875 землетрясений с $ML=2.0-5.3$ и $MPSP=4.2-5.7$ (Прил. 2). Большая часть очагов землетрясений связана с главной сейсмоактивной зоной Арктики – Срединно-Арктическим сейсмическим поясом, являющимся фрагментом глобального сейсмического пояса, трассирующего дивергентные границы литосферных плит (рис. 2). В глубоководной части Северного Ледовитого океана она приурочена к гребню подводных хребтов Мона, Книповича, Гаккеля и Шпицбергенской зоны разломов [1]. В пределах хребтов произошли все сильные землетрясения за рассматриваемый период, включая два сильнейших за 28 октября 2017 г. в $16^{\text{h}}13^{\text{m}}$ и $19^{\text{h}}11^{\text{m}}$ с $MPSP=5.7$, согласно определению из Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [5].

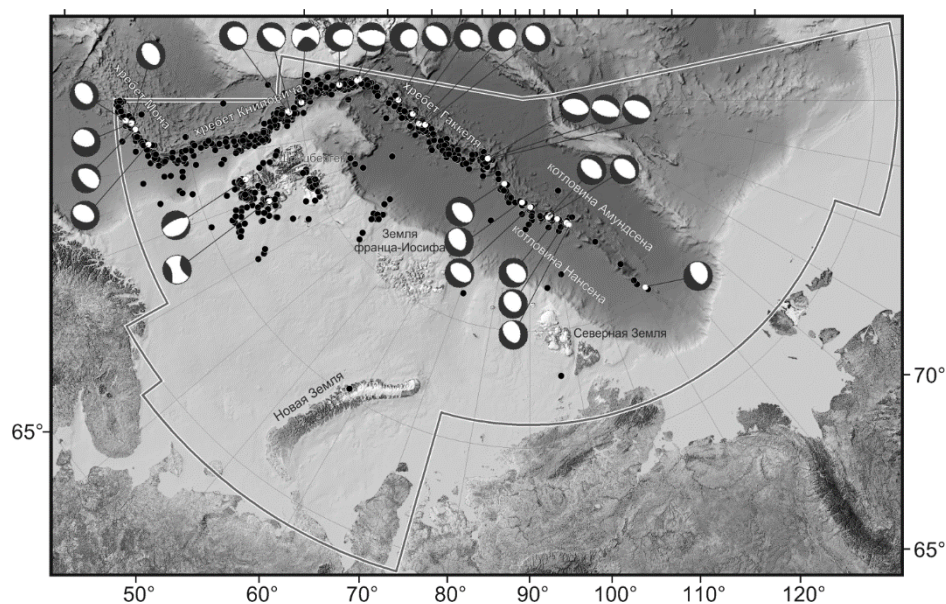


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений (кружки) в пределах региона «Арктика» за 2016–2017 гг.

Линией указана граница региона, белыми кружками эпицентры, для которых выполнены определения фокального механизма по GCMT [14].

В каталог механизмов очагов землетрясений Арктики (Прил. 3) включены фокальные механизмы по определениям GCMT [14] (рис. 2) землетрясений, зарегистрированных в пределах хребтов Мона, Книповича и Гаккеля. Большинство решений показало механизм сброса. При этом оси растяжения T практически ортогональны линии эпицентров и, соответственно, простиранию хребтов.

В пределах шельфовых территорий большая часть очагов землетрясений была приурочена к архипелагу Шпицберген, в частности, к сейсмоактивной зоне в проливе Стур-фьорд. В проливе Стур-фьорд 29 марта 2016 г. в $10^{\text{h}}32^{\text{m}}$ произошло землетрясение с $MPSP=5.3$ (рис. 3), для которого имеются данные о макросейсмическом проявлении, равном 3 баллам по шкале MMI [15] в поселке Логйир (арх. Шпицберген), расположенном на удалении 120 км от эпицентра. Это единственное среди всех арктических землетрясений макросейсмическое проявление.

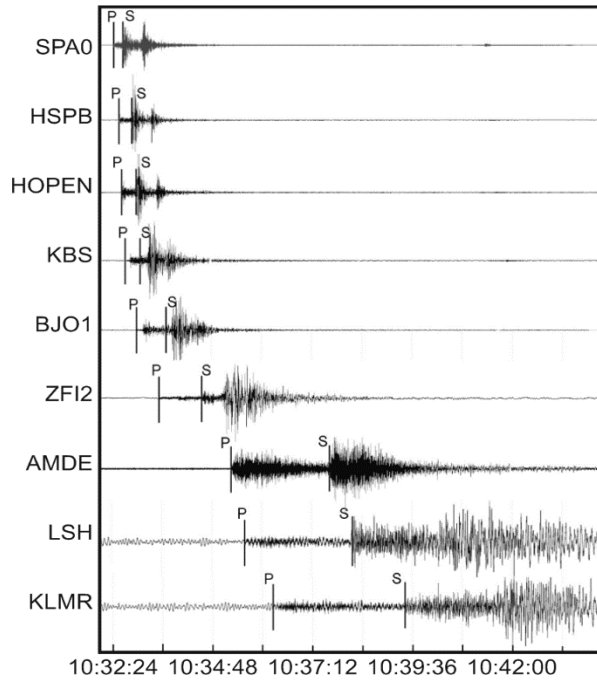


Рис. 3. Фрагменты сейсмограмм землетрясения, зарегистрированного 29 марта 2016 г. в $10^{\text{h}}32^{\text{m}}$ с $MPSP=5.3$ в проливе Стур-фьорд

В пределах шельфовых территорий сейсмичность характерна и для зоны перехода «континент-океан» Баренцево-Карского региона. Большинство землетрясений в пределах зоны перехода приурочены к устьевым частям желобов.

Оценка выделенной сейсмической энергии проводилась по аналогии с работой [16] по формуле К. Касахара [17]:

$$\lg E, \text{ Дж} = 2.4m_b - 1.2$$

В расчете за 2016 г. использовались значения $m_{b,ISC}$ для 83 землетрясений и расчетное значение m_b , вычисленное из значений магнитуд ML сети АН для 253 землетрясений. За 2017 г., соответственно, значения $m_{b,ISC}$ для 102 землетрясений и вычисленное из значений магнитуд ML значение m_b для 224 землетрясений (табл. 1).

Для вычисления значений магнитуд m_b из значений магнитуд ML использовалось установленное в [18] соотношение:

$$m_{b,ISC} = 1.45ML - 1.70.$$

С учетом предположения о том, что каждая из магнитуд определяется с одинаковой погрешностью, данное соотношение было определено по методу ортогональной регрессии [19] по данным 219 землетрясений, произошедших в период с 2012 по 2021 г. в Арктическом регионе. Коэффициент корреляции составляет 0.6, соотношение справедливо для диапазона магнитуд ML от 2.8 до 4.9.

Таблица 1. Число землетрясений разных магнитуд m_b и суммарная выделенная сейсмическая энергия ΣE в Арктическом бассейне за период с 2014 по 2017 г.

Год	m_b								N_{Σ}	$\Sigma E, 10^{11} \text{ Дж}$
	2.1–2.5	2.6–3.0	3.1–3.5	3.6–4.0	4.1–4.5	4.6–5.0	5.1–5.5	5.6–6.0		
2014	0	0	23	24	8	6	1	0	62	5.24
2015	0	0	29	43	19	6	4	0	101	15.43
2016	6	31	158	96	39	5	1	0	336	2.73
2017	8	46	129	89	33	16	4	1	326	55.17

Благодаря использованию вычисленного соотношения между магнитудами m_b и ML , общее количество землетрясений, участвующих в расчете выделенной сейсмической энергии, существенно увеличилось. Однако увеличение произошло за счет землетрясений небольших магнитуд, поэтому оно не сказалось на значениях общей выделенной сейсмической энергии. 2016 г.

характеризуется наименьшей выделенной сейсмической энергией за период с 2014 по 2017 г. из-за отсутствия сильных землетрясений. Наоборот, 2017 г. характеризуется максимальной выделенной энергией из-за присутствия сильных землетрясений, включая одно землетрясение с $m_b, \text{isc}=5.7$, произошедшее 28 октября 2017 г. в $16^{\text{h}}13^{\text{m}}$. При этом значение суммарной выделенной энергии за 2017 г. не превышает максимальных годовых значений, вычисленных для данного региона за период с 1990 по 2012 г. [16].

Заключение. Сейсмичность, зарегистрированная в 2016 и 2017 гг. в границах региона «Арктика», является типичной для данного региона как по распределению эпицентров, так и по выделенной сейсмической энергии. Особенностью этого периода является регистрация малого количества сильных землетрясений в 2016 г. и, наоборот, большого количества таковых в 2017 г., что и отразилось на значениях суммарной выделенной сейсмической энергии за эти годы. Также к особенностям этого периода можно отнести регистрацию слабой сейсмичности на севере шельфа Баренцева и Карского морей, ставшую возможной благодаря возобновлению инструментальных наблюдений на архипелаге Земля Франца-Иосифа и в п. Пирамида на архипелаге Шпицберген.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках тем НИР №№ АААА-А20-120060890034-7 и АААА-А20-120060890035-4 госзадания № 075-00576-21 ФИЦ ЕГС РАН с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира», а также в рамках госзадания ИФЗ РАН.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Морозов А.Н., Конечная Я.В., Баранов С.В., Петров С.И., Прокудина А.В., Лукаш Н.А.

Электронное приложение App07_Arctica_2016–2017 (<http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>): 1 – Сейсмические станции региона «Арктика» в 2016 и 2017 гг.; 2 – Сводный каталог землетрясений региона «Арктика» за 2016–2017 гг.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений региона «Арктика» в 2016–2017 гг.; 4 – Макросейсмический эффект осязаемых землетрясений региона «Арктика» в населенных пунктах в 2016–2017 гг.; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях осязаемых землетрясений региона «Арктика» в 2016–2017 гг.; 6 – Каталог землетрясений сети FCIAR региона Архангельск за 2016–2017 гг. 7 – Каталог землетрясений территории архипелаг Шпицберген по данным сети KOGSR в 2016–2017 гг.

Л и т е р а т у р а

1. Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. – СПб: ВНИИОкеангеология, 1996. – 185 с.
2. Панасенко Г.Д. Проблемы сейсмического районирования Западного сектора советской Арктики // Природа и хозяйство Севера. – 1986. – № 14. – С. 4–6.
3. Маловичко А.А., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А. Государственная стратегия освоения Арктической зоны России и задачи ГС РАН по развитию систем геофизического мониторинга в Арктике // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы IX Международной сейсмологической школы. Республика Армения, 8–12 сентября 2014 г. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2014. – С. 3–11.
4. Antonovskaya G., Morozov A., Vaganova N., Konechnaya Y. Seismic monitoring of the European Arctic and Adjoining Regions // The Arctic. Current Issues and Challenges. – 2020. – P. 303–368.
5. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2016–2017. (2022) // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2016/
6. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
7. Виноградов Ю.А., Пятунин М.С. Сейсмологический мониторинг на северном Ямале. Первые результаты // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 92–95.
8. Акимов А.П., Красилов С.А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020 г.
9. Морозов А.Н., Ваганова Н.В. Годографы региональных волн P и S для районов срединных хребтов Евро-Арктического региона // Вулканология и сейсмология. – 2017. – № 2. – С. 59–67.

10. Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic location calibration of the European Arctic // *Pure and Applied Geophysics*. – 2001. – V. 158, N 1–2. – P. 117–128.
11. 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.
12. Асминг В.Э. Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности Северо-западного региона: Дис. на соиск. уч. степ. к-та ф.-м. наук. / Ин-т динамики геосфер РАН. – М.: 2004. – 140 с.
13. Kremenetskaya E., Baranov S., Filatov Y., Asming V., Ringdal F. Study of seismic activity near the Barentsburg mine (Spitsbergen) // *NORSAR Scientific Report: Semiannual Technical Summary*. – 2001. – N 1–2001. – P. 114–121.
14. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2022). [Site]. – URL: <https://www.globalcmt.org/>
15. The Modified Mercalli Intensity Scale. *Earthquake Topics* // USGS [Web Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
16. Аветисов Г.П., Жолондз А.С. Арктический бассейн // *Землетрясение Северной Евразии*. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 268–272. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.24
17. Касахара К. Механика землетрясений. – М.: Мир, 1985. – С. 25.
18. Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Михайлова Я.В., Старков И.В. Унификация магнитуд современных землетрясений Евразийской Арктики // *Сейсмические приборы*. – 2022. – Т. 58. – № 1. С. 67–80
19. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. – М.: Наука. – 1973. – 900 с.

SEISMICITY of the ARCTIC in 2016–2017

*A.N. Morozov^{1,2}, G.N. Antonovskaya², V.E. Asming³, S.V. Baranov³, N.V. Vaganova²,
Yu.A. Vinogradov³, Ya.V. Konechnaya^{2,3}, A.V. Fedorov³, I.S. Fedorov³*

¹*Schmidt institute of physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Russia: Moscow, morozovalexey@yandex.ru;*

²*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia: Arkhangelsk, essm.ras@gmail.com*

³*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Russia: Obninsk, frc@gsras.ru; Apatity, andrey_v_fedorov@inbox.ru; Arkhangelsk, arh-seismo@yandex.ru*

Abstract. The article provides an overview and analysis of seismicity within the boundaries of the Arctic region for 2016–2017, a description of seismic station networks, and processing methods. The catalog of earthquakes in the Arctic region was compiled on the basis of catalogs of several organizations and seismological centers. In total, 875 earthquakes are included in the earthquake catalog. Most of the earthquakes that occurred in 2016–2017, including all the strongest earthquakes, were located within the mid-ocean ridges of Mon, Knipovich, and Gakkel. In the offshore territories, most of the earthquakes were confined to the Svalbard archipelago, in particular, to the seismically active zone in the Sturfjord strait. Within the shelf areas, seismicity is also characteristic of the "continent-ocean" transition zone of the Barents-Kara region. Most earthquakes within the transition zone are confined to the trenches. For 39 earthquakes, the focal mechanism parameters are presented according to the Global CMT catalog.

Keywords: Arctic, earthquake, seismicity, seismic stations.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.21 **EDN:** DLWBKZ

For citation: Morozov, A.N., Antonovskaya, G.N., Asming, V.E., Baranov, S.V., Vaganova, N.V., Vinogradov, Yu.A., Konechnaya, Ya.V., Fedorov, A.V., & Fedorov, I.S. (2022). [Seismicity of the Arctic in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 235–241. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.21. EDN: DLWBKZ

References

1. Avetisov, G.P. (1996). *Seismoaktivnye zony Arktiki* [Seismically active zones in the Arctic]. Saint-Petersburg, Russia: VNIIOkeangeologia Publ., 186 p. (In Russ.).

2. Panasenko, G.D. (1986). [Problems of seismic zoning of the Western sector of the Soviet Arctic]. *Priroda i khoziaistvo Severa* [Nature and Economy of the North], 14, 4–6. (In Russ.).
3. Malovichko, A.A., Vinogradov, A.N., & Vinogradov, Yu.A. (2014). [State strategy for the development of the Arctic zone of Russia and the tasks of the GS RAS for the development of geophysical monitoring systems in the Arctic]. In *Materialy Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 3–11). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
4. Antonovskaya, G., Morozov, A., Vaganova, N., & Konechnaya, Y. (2020). Seismic monitoring of the European Arctic and adjoining regions. *The Arctic. Current Issues and Challenges*, 303–368.
5. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2016–2017. (2022). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2016/
6. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
7. Vinogradov, Yu.A., & Pyatunin, M.S. (2017). [Seismological monitoring in northern Yamal. First results.]. In *Materialy Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 92–95). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
8. Akimov, A.P., & Krasilov, S.A. (2020). [WSG software package "Seismic data processing system"]. Certificate of state registration of a computer program № 2020664678. (In Russ.).
9. Morozov, A.N., & Vaganova, N.V. (2017). The travel times of regional *P* and *S* for spreading ridges in the European Arctic. *Journal of Volcanology and Seismology*, 11(2), 156–163.
10. Kremenetskaya, E., Asming, V., & Ringdal, F. (2001). Seismic location calibration of the European Arctic. *Pure and applied geophysics*, 158(1–2), 117–128.
11. Gabsatarova, I.P. (2006). [Introduction into the routine practice of divisions of the Geophysical Survey RAS of a local magnitude calculation procedure]. In *Materialy Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 49–53). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
12. Asming, V.E. (2004). *Sozдание programmnogo kompleksa dlia avtomatizatsii detektirovaniia, lokatsii i interpretatsii seismicheskikh sobytii i ego ispol'zovanie dlia izucheniia seismichnosti Severo-zapadnogo regiona. Diss. kand. fiz.-mat. nauk* [Creation of a software package for the automation of detection, location and interpretation of seismic events and its use for studying the seismicity of the North-West region. Cand. phys.-math. sci. diss.]. Moscow, Russia, 140 p. (In Russ.).
13. Kremenetskaya, E., Baranov, S., Filatov, F., Asming, V.E., & Ringdal, F. (2001). Study of seismic activity near the Barentsburg mine (Spitsbergen). *NORSAR Scientific Report: Semiannual Technical Summary*, (1–2001), 114–121.
14. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). (2022). Catalog Search. Retrieved from <https://www.globalcmt.org/>
15. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics. USGS. Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
16. Avetisov, G.P., & Jolondz, A.S. (2019). [Arctic]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 268–272. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.24
17. Kasakhara, K. (1985). *Mekhanika zemletryaseniia* [Earthquake mechanics]. Moscow, Russia: Mir Publ., 25 p. (In Russ.).
18. Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Mikhailova, Ya.A., & Starkov, I.V. (2022). Unification of magnitudes of Eurasian Arctic modern earthquakes. *Seismic instruments*, 58(4), 389–397.
19. Kendall, M., & Stuart, A. (1973). *Statisticheskie vyvody i svyazi* [Statistical inference and connections]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 900 p. (In Russ.).