

УДК 550.348. (470.11)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРКТИКИ в 2018–2019 гг.**А.Н. Морозов^{1,2}, Г.Н. Антоновская², В.Э. Асминг³, С.В. Баранов³, Н.В. Ваганова²,
Ю.А. Виноградов³, Я.В. Конечная³, А.В. Федоров³, С.В. Шибаетов³**¹ИФЗ РАН, Россия, г. Москва, morozovalexey@yandex.ru²ФГБУН ФИЦКИА им. Н.П. Лавёрова УрО РАН, Россия, г. Архангельск, essm.ras@gmail.com³ФИЦ ЕГС РАН, Россия: г. Обнинск, frc@gstras.ru; г. Анатимы, andrey_v_fedorov@inbox.ru;
г. Архангельск, arh-seismo@yandex.ru; г. Якутск, shibaev@emsd.ysn.ru

Аннотация. В статье представлены обзор и анализ сейсмичности в пределах границ региона «Арктика» за 2018 и 2019 гг., дано описание сетей сейсмических станций и методики обработки. Сводный каталог землетрясений по региону «Арктика» составлялся на основе каталогов нескольких организаций и сейсмологических центров. Всего в сводный каталог включено 1177 землетрясений за 2018–2019 гг. 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 для зоны перехода «континент-океан» Баренцево-Карского региона, о. Белый и архипелага Новая Земля. Для 28 землетрясений приведены параметры механизма очага по данным GСMT. Дана оценка выделившейся на территории региона сейсмической энергии в 2018 г. ($28.89 \cdot 10^{11}$ Дж) и в 2019 г. ($7.28 \cdot 10^{11}$ Дж).

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

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., Шибаетов С.В. Сейсмичность Арктики в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 239–245. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.20> EDN: JEZPMX

Введение. На обширных территориях Арктики в настоящее время функционируют международные и региональные сейсмические сети, принадлежащие разным странам и организациям. Несмотря на интенсивное развитие в последние десятилетия инструментальных наблюдений в Арктике, арктические территории до сих пор крайне неравномерно и недостаточно охвачены стационарными сейсмическими наблюдениями [1, 2]. Причина этого – в сложных климатических и географических условиях, которые влияют на техническую и экономическую составляющую проектов развития стационарных наблюдений. При этом вычисленные в разных сейсмологических Центрах параметры очагов арктических землетрясений отличаются, т.к. основаны чаще всего на анализе данных лишь станций конкретной сети, собственных региональных скоростных моделей и шкал локальных магнитуд, а также определены с применением разных алгоритмов локации. Чаще всего региональные сейсмические сети, в силу географического расположения, «специализируются» на мониторинге отдельных арктических территорий. В результате низкомagnitude землетрясения с $M_L < 3.0$, зарегистрированные за пределами района ответственности того или иного регионального центра, чаще всего одной или двумя станциями сети, не отражаются в каталогах этого центра. Кроме того, несмотря на возросшую плотность сейсмометрических наблюдений, условия для достоверной локации гипоцентров низкомagnitude землетрясений до сих пор остаются неблагоприятными вследствие неравномерного распределения сейсмических станций, их удаленности друг от друга и от очагов.

На страницах периодического издания «Землетрясения Северной Евразии» происходит объединение данных всех региональных сетей, функционирующих на территории Российской Федерации и регистрирующих землетрясения в пределах региона «Арктика», с привлечением данных сетей соседних стран, а также международных каталогов и бюллетеней. В частности, в настоящей статье представлен обзор и анализ сейсмичности региона «Арктика» за период с 2018 по 2019 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 Федерального исследовательского центра комплексного изучения

Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения РАН (далее – ФГБУН ФИЦ-КИА УрО РАН) (Прил. 6) и Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН (далее – КоФ ФИЦ ЕГС РАН) (Прил. 7) с привлечением данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [3] и International Seismological Centre (ISC) [4]. Согласно решению Редакционного совета журнала «Землетрясения Северной Евразии» (Протокол № 1 от 9 октября 2019 г.), координаты угловых точек контура границ региона «Арктика» 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).

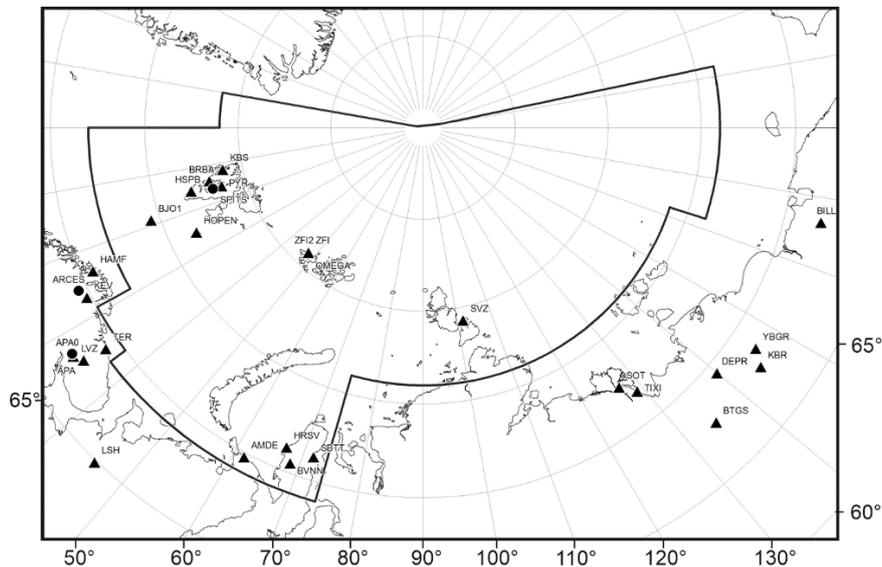


Рис. 1. Карта с указанием границ региона «Арктика» (жирная линия), расположения сейсмических станций (треугольники) и сейсмических групп (кружки)

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 NOR SAR (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). В отличие от 2016 и 2017 гг., когда были установлены новые стационарные сейсмические станции на архипелаге Северная Земля и полуострове Ямал, в 2018 и 2019 гг. новых станций в пределах региона не появилось.

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, Норвегия), станций KBS (код GE международной сети GEOFON), VADS (код сети NS, Норвегия) и HSPB (код сети PL, Польша). Согласно [5], для архипелага Шпицберген значение представительной магнитуды сети $ML_{\min}=1.0$.

Сейсмическая сеть Центрального отделения (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН (код сети OBGSR) осуществляла мониторинг преимущественно южной части Арктического региона на основе данных трех новых станций BVNN, SBTT и HRSV, установленных на полуострове Ямал. 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 BJO1 (код сети NS) и станции HSPB (код сети PL). В 2019 г. на сейсмической станции Амдерма (AMDE) сети АН была заменена аппаратура, а место ее установки было вынесено за пределы поселка с целью уменьшения влияния техногенных источников. Сейсмическая станция получила новый код AMDE1. 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 программным комплексом WSG [6] методом «засечек» с выделением продольных (*P*-фаза) и поперечных (*S*-фаза) волн. Для событий из района хребта Гаккеля использовался годограф NOES [7], для остальной территории региона – годограф BARENTS [8]. Расчет локальной магнитуды ML производился в WSG [9].

При обработке в ручном режиме региональных событий по данным сети KOGSR использовался программный комплекс ELRESS [10] и метод минимизации невязок оценки времени в очаге по временам вступлений *P*- и *S*-волн. Обработка в автоматическом режиме реализована с помощью системы детектирования и локации сейсмических событий NSDL [11]. Локация событий осуществлялась с применением сложной скоростной модели с использованием регионализации по Бондарю и станционных поправок [12]. Расчет локальной магнитуды $ML_{рег}$ производился в ELRESS.

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 2018 и 2019 гг. включено 1177 землетрясений с $ML=2.0-5.9$ и $MPSP=4.2-5.8$ (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 гребням подводных хребтов Мона, Книповича, Гаккеля и Шпицбергенской зоны разломов. В пределах хребтов произошли все сильные землетрясения за рассматриваемый период, включая самое сильное 8 февраля 2018 г. в 02^h29^m с $MPSP=5.8$, согласно определению в Сейсмологическом бюллетене ФИЦ ЕГС РАН [3]. Для землетрясения имеются данные о макросейсмическом проявлении, равном 2 баллам по шкале MMI [13], в поселке Нью-Олесунн (арх. Шпицберген), расположенном на удалении 173 км от эпицентра. Это единственное среди всех арктических землетрясений макросейсмическое проявление.

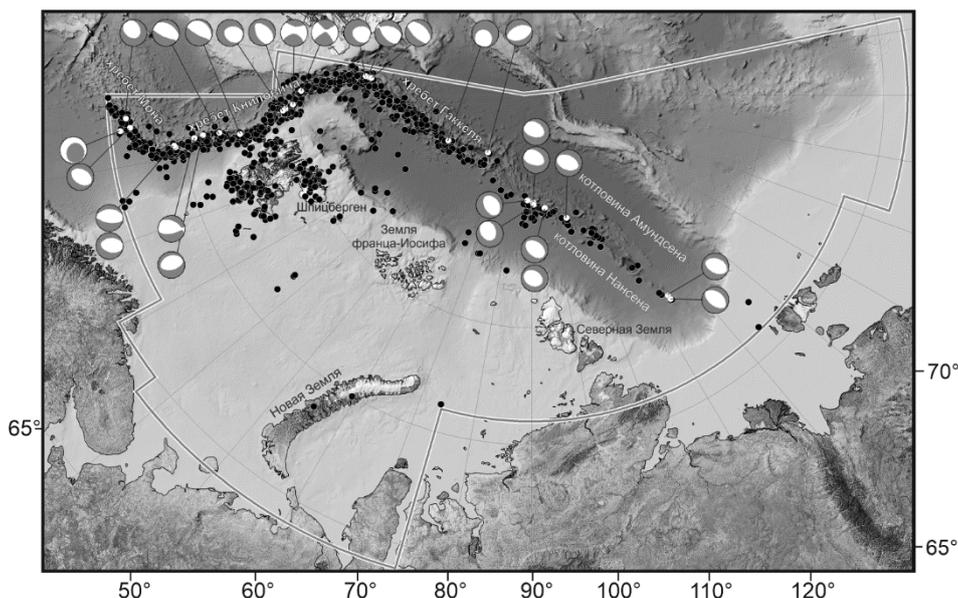


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений (кружки) в пределах региона «Арктика» за 2018–2019 гг.

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. При этом самое сильное землетрясение произошло 4 октября 2018 г. в 17^h00^m с магнитудой $MPSP=5.0$ не в проливе Стур-фьорд, а у юго-западного побережья архипелага, в районе залива Хорнсунн (рис. 3). При этом макросейсмических проявлений в ближайшем от эпицентра поселке Баренцбург, расположенном на удалении 147 км, зафиксировано не было.

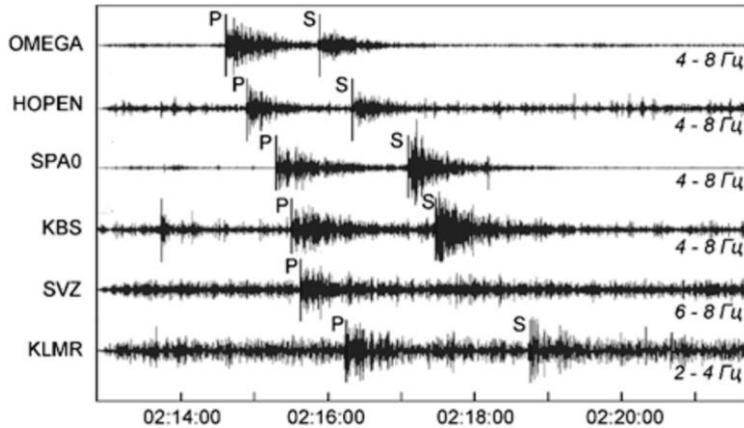


Рис. 3. Фрагменты сейсмограмм землетрясения, зарегистрированного 27 января 2018 г. в 02^h12^m с $ML=3.8$ в районе архипелага Новая Земля

Также в пределах шельфовых территорий сейсмичность характерна и для зоны перехода «континент-океан» Баренцево-Карского региона, района о. Белый и в пределах архипелага Новая Земля. Единичные землетрясения зарегистрированы в пределах шельфовых территорий Баренцева и Карского морей.

Оценка выделенной сейсмической энергии проводилась по аналогии с работой [15] по формуле К. Касахара [16]:

$$\lg E, \text{ Дж} = 2.4m_b - 1.2.$$

В расчете за 2018 г. использовались значения $m_{b,ISC}$ для

114 землетрясений и расчетное значение m_b , вычисленное из значений магнитуд ML сети АН для 278 землетрясений. За 2019 г., соответственно, значения $m_{b,ISC}$ для 99 землетрясений и вычисленное из значений магнитуд ML значение m_b для 235 землетрясений (табл. 1). Для вычисления магнитуд m_b из значений магнитуд ML использовалось установленное в [17] 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 методом ортогональной регрессии 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 2014–2019 гг.

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
2018	22	59	168	81	45	13	3	1	392	28.89
2019	11	38	165	71	39	6	2	0	334	7.28

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. Как видно

из таблицы, 2016 г. характеризуется наименьшей выделенной сейсмической энергией за период с 2014 по 2019 г. из-за отсутствия сильных землетрясений. Наоборот, 2017 г. характеризуется максимальной выделенной энергией из-за присутствия сильных землетрясений, включая одно событие с $m_{b,ISC}=5.7$, произошедшее 28 октября 2017 г. в $16^{\text{h}}13^{\text{m}}$. В период с 2018 по 2019 г. наблюдается постепенный спад выделившейся сейсмической энергии.

Заключение. Сейсмичность, зарегистрированная в 2018 и 2019 гг. в границах региона «Арктика», является типичной для данного региона как по распределению эпицентров, так и по выделенной сейсмической энергии. Особенностью этого периода является постепенный спад выделившейся сейсмической энергии после максимума в 2017 году. Также к особенностям этого периода можно отнести регистрацию слабой сейсмичности в пределах шельфовых территорий Баренцева и Карского морей, а также архипелага Новая Земля, ставшую возможной, в том числе, благодаря развитию в предыдущий период 2016–2017 гг. инструментальных наблюдений на архипелаге Северная Земля и в районе полуострова Ямал.

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 «Сейсмоинфраструктурный 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 App16_Arctic_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Сейсмические станции региона «Арктика» в 2018 и 2019 гг.; 2 – Сводный каталог землетрясений региона «Арктика» за 2018–2019 гг.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений региона «Арктика» в 2018–2019 гг.; 4 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений региона «Арктика» в населенных пунктах в 2018–2019 гг.; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений региона «Арктика» в 2018–2019 гг.; 6 – Каталог землетрясений сети FCIAR региона Архангельск за 2018–2019 гг.; 7 – Каталог землетрясений территории архипелаг Шпицберген по данным сети KOGSR в 2018–2019 гг.

Л и т е р а т у р а

1. 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.
2. 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.
3. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2018–2019. (2023) // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
4. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. Баранов С.В., Петров С.И. Баренц-Евро/Арктика // *Землетрясение Северной Евразии*. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 232–239. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2019.22.20>.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.

10. Асминг В.Э., Федоров А.В., Прокудина А.В. Программа для интерактивной обработки сейсмических и инфразвуковых записей LOS // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 27–40. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.02>
11. Fedorov A.V., Asming V.E., Jevtjugina Z.A., Prokudina A.V. Automated seismic monitoring system for the European Arctic // *Seismic Instruments*. – 2019. – V. 55, N 1. – P. 17–23.
12. Xiaoping Y., Bondar I., McLaughlin K., North R. Source specific station corrections for regional phases at Fennoscandian stations // *Pure and Applied Geophysics*. – 2001. – V. 158. – P. 35–57
13. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics // USGS [Web Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
14. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2023). [Site]. – URL: <https://www.globalcmt.org/>
15. Аветисов Г.П., Жолондз А.С. Арктический бассейн // *Землетрясение Северной Евразии*. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 268–272. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2019.22.24>
16. Касахара К. Механика землетрясений. – М.: Мир, 1985. – С. 25.
17. 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.

SEISMICITY of the ARCTIC in 2018–2019

*A.N. Morozov^{1,2}, G.N. Antonovskaya², V.E. Asming³, S.V. Baranov³, N.V. Vaganova²,
Yu.A. Vinogradov³, Ya.V. Konechnaya³, A.V. Fedorov³, S.V. Shibaev³*

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; г. Якутск, shibaev@emsd.ysn.ru*

Abstract. The article provides an overview and analysis of seismicity within the boundaries of the Arctic region for 2018–2019, a description of seismic station networks, and processing methods. The consolidated catalog of earthquakes in the Arctic region was compiled on the basis of catalogs of several organizations and seismological centers. In total, 1177 earthquakes for 2018–2019 are included in the consolidated catalog. Most of the earthquakes that occurred in 2018–2019, 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, Bely (Kvitøya) Island and Novaya Zemlya archipelago. For 28 earthquakes, the focal mechanism parameters are presented according to the Global CMT catalog.

Keywords: Arctic, earthquake, seismicity, seismic stations.

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., & Shibaev, S.V. (2023). [Seismicity of the Arctic in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 239–245. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.20> EDN: JEZPMX

R e f e r e n c e s

1. 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.).
2. 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.

3. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2018–2019. (2023). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
4. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. Baranov, S.V., & Petrov, S.I. (2019). [Barents-Euro/Arctic]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 232–239. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2019.22.20>
6. 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.).
7. 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.
8. Kremenetskaya, E., Asming, V., & Ringdal, F. (2001). Seismic location calibration of the European Arctic. *Pure and applied geophysics*, 158(1–2), 117–128.
9. 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.).
10. Asming, V.E., Fedorov, A.V., & Prokudina, A.V. (2021). [The program LOS for interactive seismic and infrasonic data processing]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(1), 27–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.02>
11. Fedorov, A.V., Asming, V.E., Evtyugina, Z.A., & Prokudina, A.V. (2019). Automated seismic monitoring system for the European Arctic. *Seismic Instruments*, 55(1), 17–23.
12. Xiaoping, Y., Bondar, I., McLaughlin, K., & North, R. (2001). Source Specific Station Corrections for Regional Phases at Fennoscandian Stations. *Pure and Applied Geophysics*, 158, 35–57.
13. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics. USGS. Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
14. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). (2023). Catalog Search. Retrieved from <https://www.glob-alcmt.org/>
15. Avetisov, G.P., & Jolondz, A.S. (2019). [Arctic]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 268–272. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2019.22.24>
16. Kasakhara, K. (1985). *Mekhanika zemletryaseni* [Earthquake mechanics]. Moscow, Russia: Mir Publ., 25 p. (In Russ.).
17. 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.