

УДК 550.348. (470.11)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРКТИКИ в 2020 году

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, С.В. Шибачев³

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

²ФГБУН ФИЦКИА им. Н.П. Лавёрова УрО РАН, Россия, г. Архангельск, essm.ras@gmail.com

³ФИЦ ЕГС РАН, Россия: г. Обнинск, frc@gsras.ru; г. Анатумы, andrey_v_fedorov@inbox.ru;
г. Архангельск, arh-seismo@yandex.ru; г. Якутск, shibaev@emsd.ysn.ru

Аннотация. В настоящей статье представлен обзор и анализ сейсмичности региона «Арктика» за 2020 г. на основе сводного каталога землетрясений, составленного из каталогов Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, Кольского и Якутского филиалов ФИЦ ЕГС РАН с привлечением данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН и бюллетеня Международного сейсмологического центра (International Seismological Centre). Всего в сводный каталог за 2020 г. включено 475 землетрясений. Большинство эпицентров землетрясений приурочено к срединно-океаническим хребтам Мона, Книповича и Гаккеля, а также к Шпицбергенско-Гренландской зоне разломов. 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 редкая сейсмичность регистрировалась в пределах архипелага Новая Земля, зоны перехода «континент-океан» Баренцево-Карского региона, о. Белый и Медвежий. Для 17 землетрясений приведены параметры механизма очага по данным GCMT. Дана оценка выделившейся на территории региона сейсмической энергии в 2020 г. ($1.64 \cdot 10^{14}$ Дж).

Ключевые слова: Арктика, землетрясение, сейсмичность, сейсмическая станция.

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., Шибачев С.В. Сейсмичность Арктики в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 223–230. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.20> EDN: JNYYWA

Введение. В течение всего инструментального периода 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. Особенности развития инструментальных наблюдений напрямую влияли на сейсмологическую изученность арктических территорий. С начала XXI в. начался процесс интенсивного развития инструментальных наблюдений в Арктике [1, 2]. Появились новые стационарные сейсмические станции и сейсмические группы на арктических архипелагах Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Северная Земля, а также на побережье Баренцева и Карского морей. Улучшение регистрационных возможностей позволило исследователям приступить к изучению особенностей проявления современной слабой сейсмичности в регионе. Было показано, что слабая сейсмичность проявляется на западной и северной окраине шельфа Баренцева моря, в районе о. Белый и в пределах о. Северный архипелага Новая Земля.

Определенный вклад в изучение современной сейсмичности Арктического региона вносят публикации в журнале «Землетрясения Северной Евразии», на страницах которого происходит объединение данных всех региональных сейсмических сетей, функционирующих на территории Российской Федерации и соседних стран, регистрирующих землетрясения в пределах региона «Арктика». В частности, в настоящей статье представлен обзор и анализ сейсмичности региона «Арктика» за 2020 г. на основе сводных каталогов землетрясений (Прил. 2) и механизмов очагов (Прил. 3). 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 ФИЦКИА УрО РАН) (Прил. 4), Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН (далее – КоФ ФИЦ ЕГС РАН) (Прил. 5) и Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН (далее – ЯФ ФИЦ ЕГС РАН) (Прил. 6) с привлечением данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [3] и Международного сейсмологического центра (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).

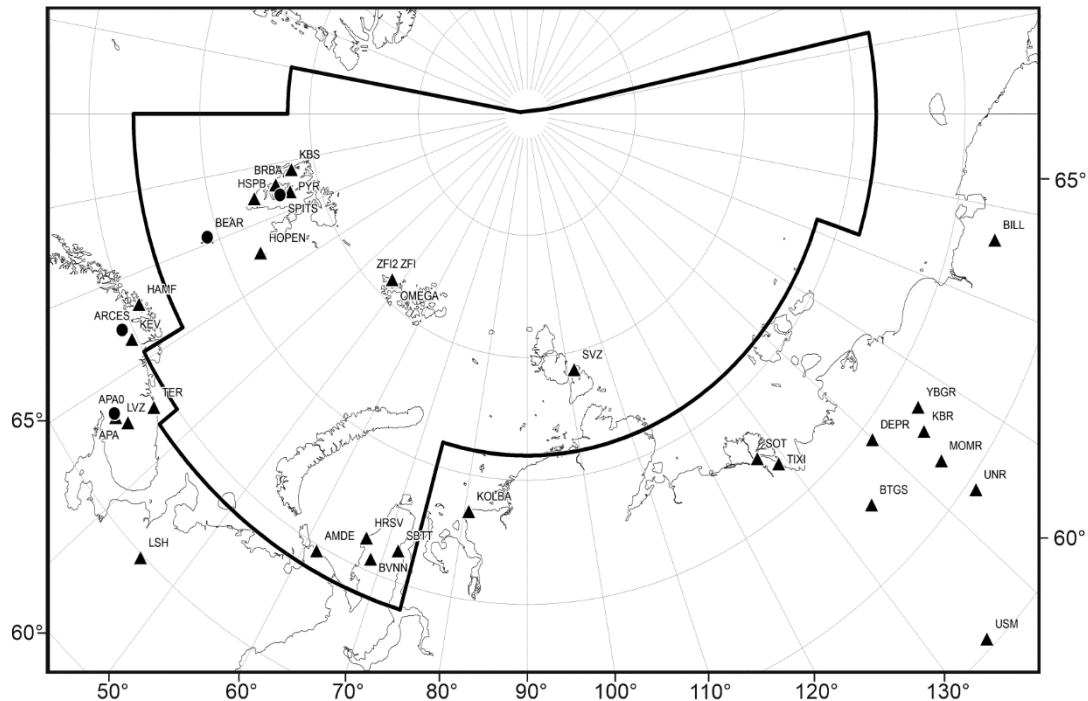


Рис. 1. Карта с указанием границ региона «Арктика» (жирная линия), расположения сейсмических станций (треугольники) и сейсмических групп (кружки)

Сети станций. Непосредственно на территории региона «Арктика» в 2020 г. функционировали сейсмические станции Центрального отделения (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН (код сети OBGRS), КоФ ФИЦ ЕГС РАН (код сети KOGSR), ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (код сети FCIAR), Бергенского университета (Норвегия, код сети NS), агентства NORSAR (Норвегия, код сети NO) и Геофизического института Польской академии наук (Польша, код сети PL). В 2019 г. на о. Медвежий начала функционировать новая сейсмическая группа BEAR Бергенского университета. В 2020 г. в пос. Диксон сотрудниками ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН была введена в строй новая стационарная сейсмическая станция KOLBA.

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 ЯФ ФИЦ ЕГС РАН (код сети YAGSR) осуществляла мониторинг преимущественно восточной части Арктического региона на основе данных сейсмических станций TIXI, YBGR, DEPR, MOMR, BTGS, UNR, YCRN и SOTR, функционирующих на севере Якутии, с привлечением данных станции BILL. Сбор и обработка данных производились в региональном информационно-обрабатывающем центре (РИОЦ) ЯФ ФИЦ ЕГС РАН.

Сейсмическая сеть Центрального отделения ФИЦ ЕГС РАН (код сети OBGRS) осуществляла мониторинг преимущественно южной части Арктического региона на основе данных трех стационарных станций BVNN, SBT 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 осуществляла мониторинг преимущественно центральной части Арктического региона с помощью станций ZFI2, SVZ, OMEGA,

AMDE и KOLBA с привлечением исходных данных сейсмической группы SPITS (код сети NO), станций KBS, HOPEN и BJO1 (код сети NS) и станции HSPB (код сети PL). Для центральной части региона «Арктика» значение представительной магнитуды регистрации землетрясений с помощью этих станций составляет $ML_{\min}=3.5$ [6].

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 FCIAR проводилась программой WSG [7], методом «засечек» с выделением продольных (P -фаза) и поперечных (S -фаза) волн, и программой NAS (New Association System) [8], основанной на комбинации двух методов – максимизации рейтинговой функции на сетке и минимизации невязки оценки времени в очаге. Для событий из района хребта Гаккеля использовался годограф NOES [9], для остальной территории региона – годограф BARENTS [10]. Расчет локальной магнитуды ML производился в WSG с использованием уточненной шкалы локальной магнитуды [11].

При обработке в ручном режиме региональных событий по данным сети KOGSR использовался программный комплекс ELRESS [12], методом минимизации невязок оценки времени в очаге. Обработка в автоматическом режиме реализована с помощью системы детектирования и локации сейсмических событий в программном комплексе NSDL [8]. Локация событий осуществлялась с применением сложной скоростной модели с использованием регионализации по Бондарю и станционных поправок [13]. Расчет локальной магнитуды $ML_{\text{рег}}$ производился в ELRESS.

Обработка региональных событий по данным сети YAGSR проводилась программой WSG [7], методом «засечек» с выделением продольных ($P(Pn)$, Pg), поперечных ($S(Sn)$, Sg) волн, коровых каналов волн Lg . Для арктических землетрясений в низовьях р. Лена и из района хребта Гаккеля использовался годограф IASPEI91. Оценка энергетического класса по шкале Т.Г. Раутиан [14] локальных и региональных событий (до 800 км) производилась симуляцией прибора ВЭГИК-0.7 симуляционной АЧХ – с использованием нулей-полусов. Вычисление локальной магнитуды ML производилось в программе WSG [15].

Сводный каталог землетрясений по региону «Арктика» составлялся на основе каталогов сетей FCIAR, KOGSR, YAGSR, данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН и ISC (Прил. 2–6). 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 2020 г. включено 475 землетрясений с $ML=1.7–5.2$ и $MPSP=4.3–5.7$ (Прил. 2). Большая часть очагов землетрясений приурочена к срединно-океаническим хребтам Мона, Книповича, Гаккеля и Шпицбергенско-Гренландской зоне разломов. В пределах хребтов произошли все сильные землетрясения за рассматриваемый период, включая самое сильное в 2020 г. – 14 декабря в 19^h35^m с $MPSP=5.6$, $MS=5.6$ согласно Сейсмологическому бюллетеню ФИЦ ЕГС РАН [3] и $Mw=5.9$ по данным GCMT [4]. Для арктических землетрясений за 2020 г. нет данных о макросейсмических проявлениях.

В каталог механизмов очагов землетрясений Арктики (Прил. 3) включены фокальные механизмы по определениям GCMT [16] (рис. 2) землетрясений, зарегистрированных в пределах хребтов Мона, Книповича, Гаккеля и Шпицбергенско-Гренландской зоны разломов. Большинство решений показало механизм сброса. При этом оси растяжения T практически ортогональны линии эпицентров и, соответственно, простирали 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 сильные землетрясения ($M>4.0$) в 2020 г. в пределах архипелага не происходили. Самые сильные землетрясения на шельфовой территории произошли на архипелаге Новая Земля 17 февраля в 17^h06^m с $ML=3.5$ и 23 августа в 03^h26^m с $ML=3.5$ (рис. 3). Эти землетрясения были зарегистрированы станциями сетей KOGSR, OBGSR (на полуострове Ямал), FCIAR, а также NORSAR и BER. Также сейсмическая активность была характерна для зоны перехода «континент–океан» северной окраины шельфа Баренцева, Карского морей и для о. Белый и о. Медвежий.

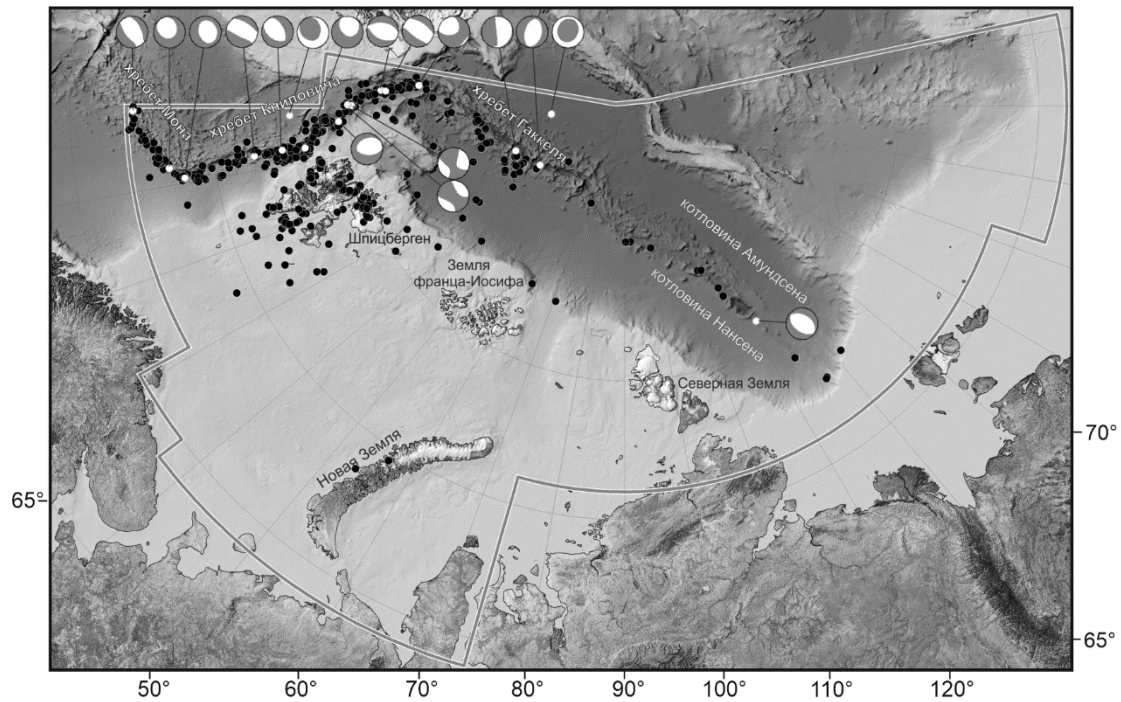


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений (кружки) и диаграммы механизмов очагов в пределах региона «Арктика» за 2020 г.

Линией указана граница региона, белыми кружками эпицентры, для которых выполнены определения фокального механизма по GCMT [13].

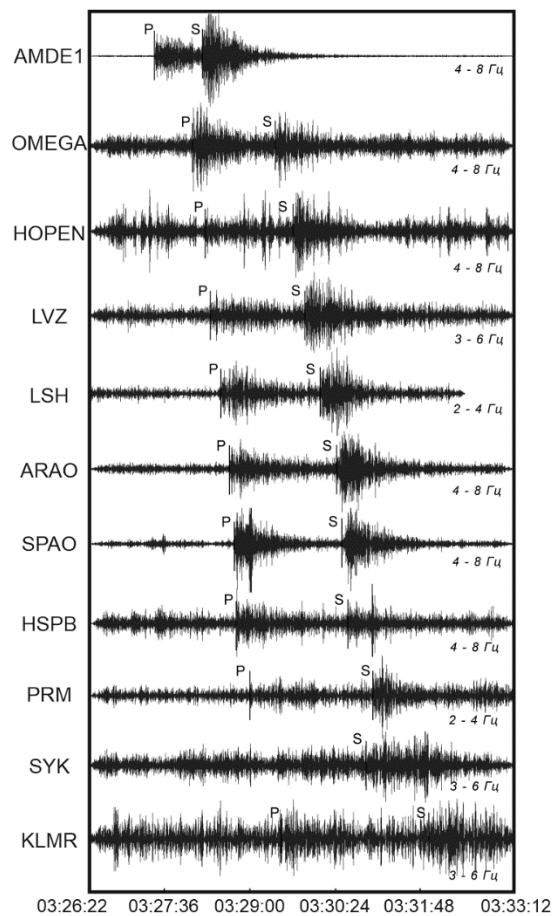


Рис. 3. Фрагменты сейсмограмм землетрясения, зарегистрированного 23 августа 2020 г. в 03^h46^m с $M_L=3.5$ в районе архипелага Новая Земля

Оценка выделенной сейсмической энергии проводилась в соответствии с предложенным в [17] подходом, использующим пересчет энергии из энергетического класса K_p по Т.Г. Раутиан [14] и формулы его связи с магнитудой:

$$M \leq 5.6: \lg E = K_p = 1.8M + 4, \quad (1)$$

$$M > 5.6: \lg E = 1.1M + 8. \quad (2)$$

Магнитуда M в (1) и (2) рассчитывалась с привязкой к M_s по формулам (приведены в порядке приоритетов): $M = M_s = MS$; $M = ML_{FCIAR} - 0.3$, $M = ML_{KOGSR} - 0.3$ [18]; $M = mb_{ISC} - 0.5$ (получена объединением приведенных в [18] формул: $M = ML - 0.3$ и $ML = mb_{ISC} - 0.2$ для сетей FCIAR и KOGSR); $M = M_s = (M_{WBER} - 2.1) / 0.67$ [19]; $M = 0.92 \cdot ML_{NAO} - 0.06$ (получена объединением вышеприведенной формулы, $M = mb_{ISC} - 0.5$, с соотношением $mb_{ISC} = 0.92 \cdot ML_{NAO} + 0.44$ из [20]).

В расчете за 2020 г. использовались значения M , вычисленные из MS_{OBSGR} , MS_{ISC} , mb_{ISC} , M_{WBER} и из значений магнитуд ML сетей FCIAR, NO и KOGSR (табл. 1). В оценке не участвовали 8 землетрясений по причине отсутствия инструментальных значений магнитуд для этих землетрясений в [4].

Таблица 1. Число землетрясений разных магнитуд M и суммарная выделенная сейсмическая энергия ΣE в Арктическом бассейне за 2020 г.

Год	M									N_{Σ}	ΣE , 10^{14} Дж
	≤ 2.0	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		
2020	118	100	99	108	33	6	1	1	1	467	1.64

Как видно из таблицы, 2020 г. характеризуется выделенной сейсмической энергией в размере $1.64 \cdot 10^{14}$ Дж. Из-за смены подхода в оценке сейсмической энергии не совсем корректно сравнить полученное значение со значениями за предыдущие годы.

Заключение. Сейсмичность, зарегистрированная в 2020 г. в границах региона «Арктика», является типичной для данного региона как по распределению эпицентров, так и по выделенной сейсмической энергии. 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 2016–2019 гг. инструментальных наблюдений в районах архипелагов Шпицберген и Северная Земля, а также полуострова Ямал.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках госзадания № 075-00682-24 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 App16_Arctic_2020 (<http://www.gsrar.ru/zse/app-27.html>): 1 – Сейсмические станции региона «Арктика» в 2020 г.; 2 – Сводный каталог землетрясений региона «Арктика» за 2020 г.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений региона «Арктика» в 2020 г.; 4 – Каталог землетрясений сети FCIAR региона Архангельск за 2020 г.; 5 – Каталог землетрясений территории архипелага Шпицберген по данным сети KOGSR за 2020 г.; 6 – Каталог землетрясений сети YAGSR за 2020 год.

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), 2020. (2024) // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: http://www.gsrar.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2020/

4. International Seismological Centre. (2024). 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. Антоновская Г.Н., Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Басакина И.М., Морозов А.Н., Шахова Е.В., Михайлова Я.А., Данилов К.Б. Вклад уникальной научной установки «Архангельская сейсмическая сеть» в изучение сейсмичности Российской Арктики // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 2. – 0587. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0587
7. 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.
8. 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.
9. Морозов А.Н., Ваганова Н.В. Годографы региональных волн *P* и *S* для районов спрединговых 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. Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Евтюгина З.А. Шкала *ML* для западной части Евразийской Арктики // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 4. – С. 63–68. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.06>
12. 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>
13. 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.
14. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
15. 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.
16. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2024). [Site]. – URL: <https://www.globalcmt.org/>
17. Маловичко А.А., Петрова Н.В., Габсатарова И.П., Левина В.И., Михайлова Р.С., Курова А.Д. Сейсмичность Северной Евразии в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 10–38. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.01> EDN: ZSVQJD
18. Петрова Н.В., Курова А.Д. Сопоставление систем классификации землетрясений в локальных магнитудах *ML* в некоторых регионах Северной Евразии // Российский сейсмологический журнал. – 2023. – Т. 5, № 2. – С. 61–76. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.2.05> EDN: LTIMEJ
19. Ekström G., Dziewonski A.M. Evidence of bias in estimations of earthquake size // Nature. – 1988. – V. 332 – № 6162. – P. 319–323.
20. Morozov A.N., Vaganova N.V., Mikhailova Y.A., Starkov I.V. Unification of magnitudes for modern earthquakes in the Eurasian Arctic region // Seismic Instruments. – 2022. – V. 58 – № 4. – P. 389–397. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923922040077>. – EDN: IAFXGA

SEISMICITY of the ARCTIC in 2020

**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, S.V. Shibaev³**

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

²N. 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

³Geophysical 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 2020 based on a consolidated catalog of earthquakes compiled from catalogs of the N. Laverov Federal

Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, the Kola and Yakutsk branches of the Geophysical Survey of the Russia Academy of Sciences (GS RAS), using data from the Seismological Bulletin of the GS RAS and the International Seismological Center. A total of 475 earthquakes are included in the consolidated catalog for 2020. Most of the earthquakes that occurred in 2020, including all the strongest earthquakes, were located within the mid-ocean ridges of Mon, Knipovich, Gakkel and Spitsbergen Fault Zone. 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 Novaya Zemlya archipelago, "continent-ocean" transition zone of the Barents-Kara region, Bely (Kvitøya) and Bear (Bjørnøya) Islands. For 17 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. (2024). [Seismicity of the Arctic in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 223–230. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.20> EDN: JNYYWA

References

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 dannyykh"* [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, 2020. (2024). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2020/
4. International Seismological Centre. (2024). 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. Antonovskaya, G.N., Konechnaya, Ya.V., Vaganova, N.V., Basakina, I.M., Morozov, A.N., Shakhova, E.V., Mikhaylova, Ya.A., & Danilov, K.B. (2022). Contribution of the Large-Scale Research Facilities "Arkhangelsk Seismic Network" to the Russian Arctic Seismicity Study. *Geodynamics & Tectonophysics* 13(2), 0587. DOI:10.5800/GT-2022-13-2-0587
7. 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.).
8. 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.
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. Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Asming, V.E., & Evtyugina, Z.A. (2020). [The *ML* scale in western Eurasian Arctic]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(4), 63–68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.06>
12. 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>
13. 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.
14. Rautian, T.G. (1960). [Energy of earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti* (Trudy IFZ AN SSSR, № 9(176)) [Methods of Detail Study of Seismicity] (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).

15. 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 "Sovremennyye 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.).
16. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). (2024). Catalog Search. Retrieved from <https://www.globalcmt.org/>
17. Malovichko, A.A., Petrova, N.V., Gabsatarova, I.P., Levina, V.I., Mikhailova, R.S., & Kurova, A.D. (2023). [Seismicity of Northern Eurasia in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 10–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.01> EDN: ZSVQJD
18. Petrova, N.V., & Kurova, A.D. (2023). [Comparison of earthquake classification systems in local magnitudes ML in some regions of Northern Eurasia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 5(2), 61–76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2023.2.05> EDN: LTIMEJ
19. Ekström, G., & Dziewonski, A.M. (1988). Evidence of bias in estimations of earthquake size. *Nature*, 332(6162), 319–323.
20. Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Mikhailova, Y.A., & Starkov, I.V. (2022). Unification of magnitudes for modern earthquakes in the Eurasian Arctic region. *Seismic Instruments*, 58(4), 389–397. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923922040077>. EDN: IAFXGA