

УДК 550.348. (470.11)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРКТИКИ в 2021 году

А.Н. Морозов^{1,2,3}, Г.Н. Антоновская², В.Э. Асминг⁴, С.В. Баранов⁴, Н.В. Ваганова²,
Ю.А. Виноградов⁴, Я.В. Конечная^{2,4}, Н.Н. Старкова⁴, А.В. Федоров⁴, С.В. Шибанов⁴

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

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

³ГЦ РАН, г. Москва, Россия, gcras@gcras.ru

⁴ФИЦ ЕГС РАН, Россия: г. Обнинск, frc@gsras.ru; г. Анатимы, 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 2021 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 2021 г. включено 566 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 и юго-восточнее архипелага Шпицберген. Для 18 землетрясений приведены параметры механизма очага по данным GCMТ. Дана оценка выделившейся на территории региона сейсмической энергии в 2021 г. ($0.20 \cdot 10^{14}$ 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., Старкова Н.Н., Федоров А.В., Шибанов С.В. Сейсмичность Арктики в 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 220–227. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.20> EDN: RIWTTN

Введение. Сейсмический мониторинг Евразийской Арктики осуществляют различные зарубежные и отечественные научные организации [1, 2]. На страницах журнала «Землетрясения Северной Евразии» происходит объединение данных всех региональных сейсмических сетей, функционирующих на территории Российской Федерации и соседних стран, регистрирующих землетрясения в пределах региона «Арктика». Граница региона «Арктика» утверждена решением Редакционного совета журнала (Протокол № 1 от 9 октября 2019 г.) и показана на рис. 1.

Ежегодные публикации в журнале сводных каталогов землетрясений по региону «Арктика» позволяют исследователям получить доступ к наиболее полным результатам систематических наблюдений, проводимых на основе отечественных и зарубежных сейсмических станций. Сводные каталоги являются исходным фактическим материалом для детального изучения сейсмической опасности отдельных арктических регионов и обеспечения сейсмостойкого строительства на их территории; для исследования причин и условий возникновения землетрясений, а также для изучения внутреннего строения Земли. Все это в целом позволяет проводить оценку потенциальных природно-техногенных рисков для обеспечения безопасной эксплуатации промышленных систем и объектов при освоении крупных месторождений в Российской Арктике и инфраструктуры Северного морского пути.

В настоящей статье представлен обзор и анализ сейсмичности региона «Арктика» за 2021 г. на основе сводных каталогов землетрясений [Приложение 2] и механизмов очагов [Приложение 3]. Сводный каталог землетрясений [Приложение 2] составлен на основе каталогов землетрясений Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова Уральского отделения РАН (далее – ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН) [Приложение 4], Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН (далее – КоФ ФИЦ ЕГС РАН) [Приложение 5] и Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН (далее – ЯФ ФИЦ ЕГС РАН) [Приложение 6] с привлечением данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [3] и Международного сейсмологического центра (International Seismological Centre, ISC) [4]. Для арктических землетрясений за 2021 г. нет данных о макросейсмических проявлениях.

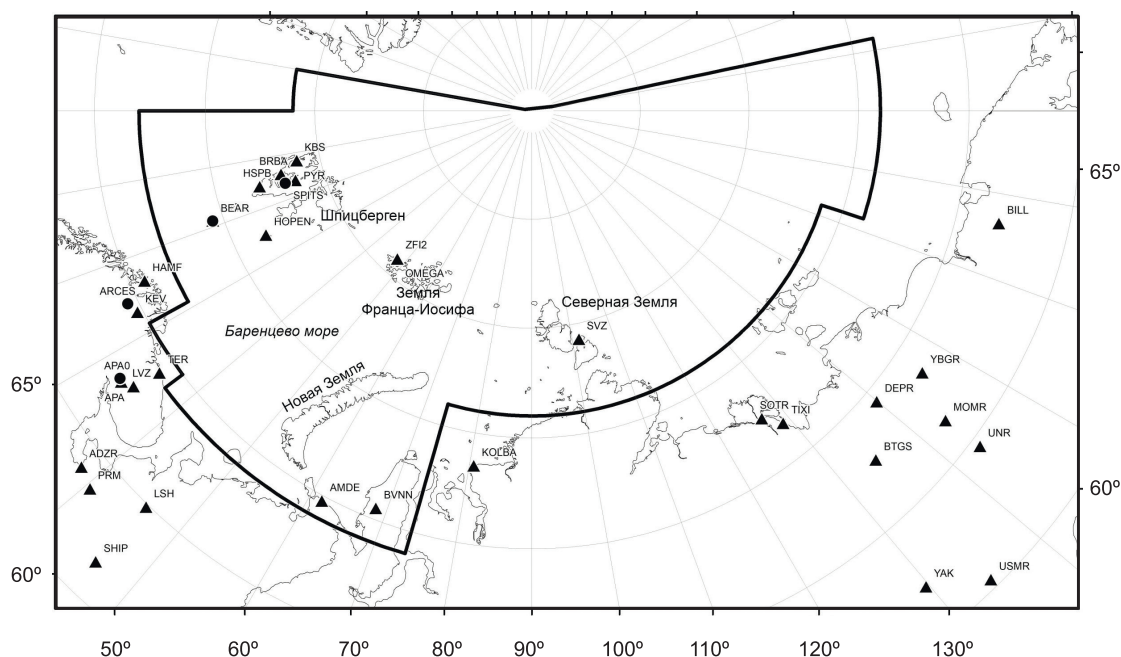


Рис. 1. Карта с указанием границы региона «Арктика» (жирная линия), расположения сейсмических станций (треугольники) и сейсмических групп (кружки)

Сети станций. Непосредственно на территории региона «Арктика» в 2021 г. функционировали сейсмические станции Центрального отделения (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН (код сети OBGSR), 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 и 2020 гг. временно прекратили функционировать две из трех сейсмических станций ЦО ФИЦ ЕГС РАН на полуострове Ямал. Однако введение в строй сейсмической станции KOLBA в 2020 г. в пос. Диксон сотрудниками ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН компенсировало возможное снижение регистрационных возможностей сейсмических станций в данном районе.

Сейсмическая сеть КоФ ФИЦ ЕГС РАН (код сети KOGSR) осуществляет мониторинг преимущественно западной части Арктического региона на основе данных сейсмоинфраструктурного 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 $ML_{\min}=1.0$. Также в информационно-обрабатывающем центре КоФ ФИЦ ЕГС РАН осуществляется сбор и обработка данных сейсмической станции «Бованенково» (код BVNN), функционирующей на полуострове Ямал.

Сейсмическая сеть ЯФ ФИЦ ЕГС РАН (код сети YAGSR) осуществляет мониторинг преимущественно восточной части Арктического региона на основе данных сейсмических станций TIXI, YBGR, DEPR, MOMR, BTGS, UNR, USMR, 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.

В Центральном отделении ФИЦ ЕГС РАН осуществляется обработка наиболее сильных землетрясений Арктики с $MPSP>4.0$ с привлечением данных станций сети IMS СТВТО. Параметры землетрясений Арктики публикуются в ежедекадных Сейсмологических бюллетенях [3].

Сейсмическая сеть ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (код сети FCIAR) осуществляла мониторинг преимущественно центральной части Арктического региона с помощью станций ZF12, SVZ, OMEGA, AMDE1 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 [Приложение 1].

Методика обработки и исходные данные. Обработка региональных событий по данным сети FCIAR проводилась программой WSG [7] методом «засечек» или graphical approach в англоязычной литературе [Pujol, 2004] 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 каналовых волн Lg . Для арктических землетрясений в низовьях р. Лены 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-полюсов. 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 [Приложение 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.

Оценка выделенной сейсмической энергии проводилась в соответствии с предложенным в [16] 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): $M = M_s = MS$; $M = ML_{\text{FCIAR}} - 0.3$, $M = ML_{\text{KOGSR}} - 0.3$ [17]; $M = mb_{\text{ISC}} - 0.5$ (получена объединением приведенных в [17] формул: $M = ML - 0.3$ и $ML = mb_{\text{ISC}} - 0.2$ для сетей FCIAR и KOGSR); $M = M_s = (M_{w_{\text{BER}}} - 2.1) / 0.67$ [18]; $M = 0.92 \cdot ML_{\text{NAO}} - 0.06$ (получена объединением вышеприведенной формулы, $M = mb_{\text{ISC}} - 0.5$, с соотношением $mb_{\text{ISC}} = 0.92 \cdot ML_{\text{NAO}} + 0.44$ из [19]).

Анализ сейсмичности и обсуждение результатов. Всего в каталог сейсмических событий региона «Арктика» за 2021 г. включено 566 землетрясений с $ML = 1.6 - 4.7$ и $MPSP = 4.2 - 5.1$ [Приложение 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. Два сильных землетрясения, 23 марта и 23 июля, с $MPSP = 5.1$ согласно Сейсмологическому бюллетеню ФИЦ ЕГС РАН [3] и $M_w = 5.3$ и $M_w = 5.5$ по данным GCMT [4], произошли в пределах Шпицбергенско-Гренландской зоны разломов – связующего звена между срединно-океаническими хребтами Норвежско-Гренландского бассейна и Евразийского суббассейна Северного Ледовитого океана [20]. Одно землетрясение, 6 сентября с $MPSP = 5.1$ согласно Сейсмологическому бюллетеню ФИЦ ЕГС РАН [3] и $M_w = 5.3$ по данным GCMT [4], произошло в западной части хребта Гаккеля.

С 29 декабря 2021 г. в восточной части хребта Гаккеля был зарегистрирован первый из серии роев низкомагнитудных землетрясений, которые произошли в период с 29 декабря 2021 г. по 18 мая 2022 г. [21]. Первый рой локализован в пределах вулканического центра на долготу $\lambda \sim 93^\circ$ в.д., в котором ранее неоднократно регистрировались роевые последовательности. Для соседнего вулканического центра на долготу $\lambda \sim 85^\circ$ в.д. также ранее были зарегистрированы два роя, и один из них – это сильнейший рой 1999 г. [22]. Это может свидетельствовать о наличии в данном районе хребта Гаккеля ($\sim 85^\circ - \sim 93^\circ$ в.д.) участка с самыми интенсивными проявлениями вулкано-тектонических процессов. Других подобных участков в пределах всего хребта в настоящее время не выявлено [21].

В каталог механизмов очагов землетрясений Арктики [Приложение 3] включены фокальные механизмы по определениям GCMT [23] (рис. 2) для 18 землетрясений, зарегистрированных в пределах срединно-океанических хребтов Мона, Книповича, Гаккеля, а также Шпицбергенско-Гренландской зоны разломов. Большинство решений показало механизм сброса. При этом оси растяжения T практически ортогональны линии эпицентров и, соответственно, простиранию хребтов. В пределах трансформных разломов Шпицбергенско-Гренландской зоны получены сдвиговые решения механизмов.

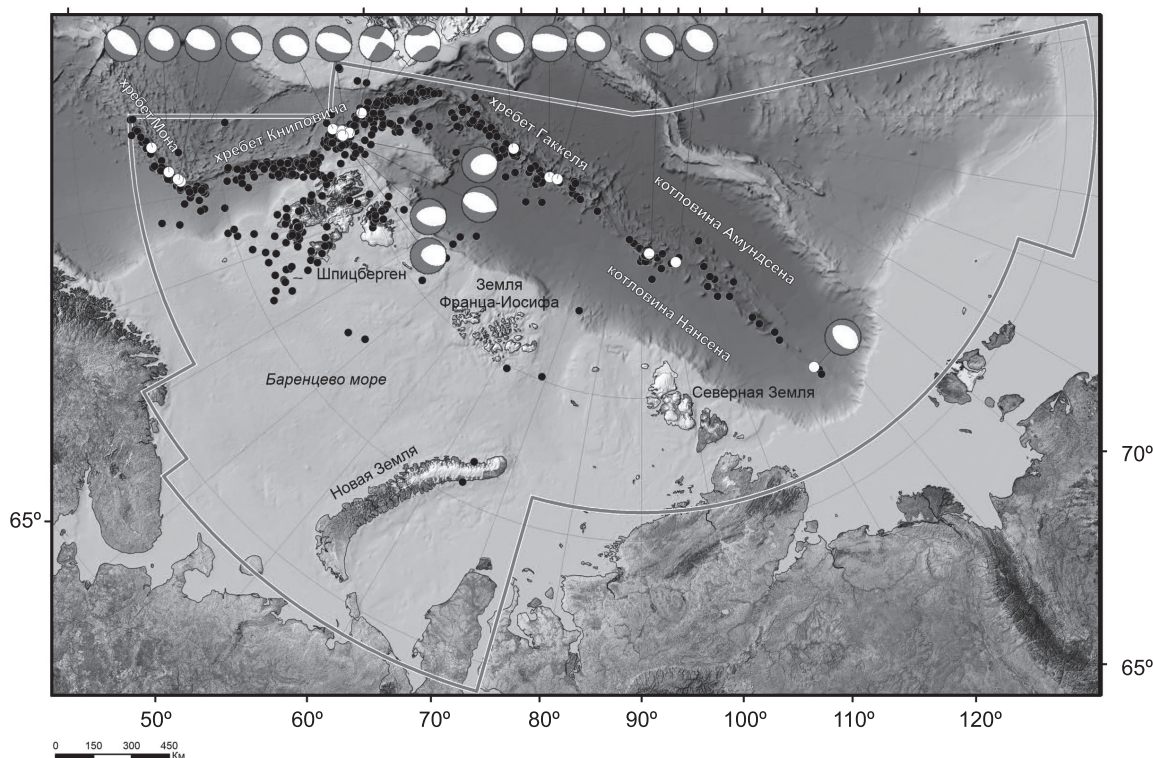


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений (кружки) и диаграммы механизмов очагов в пределах региона «Арктика» за 2021 г.

Линией указана граница региона, белыми кружками – эпицентры, для которых выполнены определения фокального механизма по GCMT [22].

В пределах шельфовых территорий большая часть очагов землетрясений была приурочена к району архипелага Шпицберген, в частности, к сейсмоактивным зонам в проливе Стур-фьорд, о. Северо-Восточная Земля, а также в пределах шельфовых тектонических структур южнее архипелага. Слабые землетрясения регистрировались в пределах зоны перехода «континент-океан» на севере шельфа Баренцева и Карского морей. Эпицентры приурочены к желобам Франц-Виктория и Святой Анны в районе архипелага Земля Франца-Иосифа.

В связи с увеличением в XXI в. количества сейсмических станций в регионе и, как следствие, уменьшением порога регистрации, количество регистрируемых землетрясений в центральных районах шельфа заметно увеличилось. Практически ежегодно в пределах о. Северный архипелага Новая Земля регистрируются землетрясения. В 2021 г. было зарегистрировано два слабых землетрясения: 12 апреля в $10^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $ML_{\text{FCIAR}}=2.5$ и 12 октября в $15^{\text{h}}45^{\text{m}}$ с $ML_{\text{FCIAR}}=3.0$ (рис. 3). Также два слабых землетрясения были зарегистрированы в районе, расположенном юго-восточнее архипелага Шпицберген: 23 июля в $02^{\text{h}}17^{\text{m}}$ с $ML_{\text{KOGSR}}=2.5$ и 28 декабря в $12^{\text{h}}23^{\text{m}}$ с $ML_{\text{KOGSR}}=2.3$.

В расчете унифицированной магнитуды M землетрясений за 2021 г. использовались значения, вычисленные из MS_{OBGSR} , MS_{ISC} , mb_{ISC} , M_{WBER} и из значений магнитуд ML сетей FCIAR, NO и KOGSR (табл. 1). Для трех землетрясений в каталоге магнитуды не указаны.

Как видно из таблицы, 2021 г. характеризуется выделенной сейсмической энергией в размере $\Sigma E=0.20 \cdot 10^{14}$ Дж, что меньше чем $\Sigma E=1.64 \cdot 10^{14}$ Дж в 2020 г., вследствие отсутствия сильных землетрясений с магнитудами более 5.0. При этом количество землетрясений, произошедших в 2021 г., больше, чем в предыдущем году.

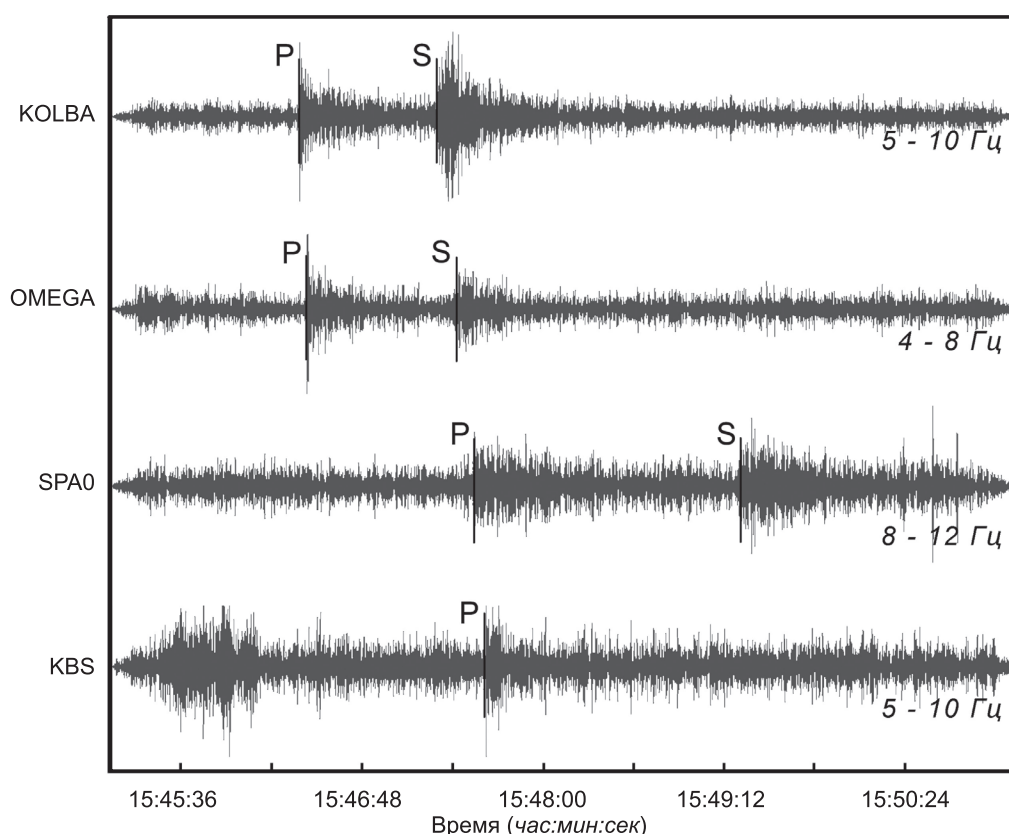


Рис. 3. Фрагменты сейсмограмм землетрясения, зарегистрированного 12 октября 2021 г. в 15^h45^m с $ML_{FCIAR}=3.0$ в районе архипелага Новая Земля

Таблица 1. Число землетрясений разных магнитуд M и суммарная выделенная сейсмическая энергия ΣE в Арктическом бассейне за 2020 и 2021 гг.

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
2021	137	193	136	72	18	3	4	0	0	563	0.20

Заключение. Сейсмичность, зарегистрированная в 2021 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 отсутствие сильных землетрясений с магнитудами M более 5.0, 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 2016–2020 гг. инструментальных наблюдений в районах архипелагов Шпицберген и Северная Земля, а также полуострова Ямал.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках госзадания № 075-00604-25 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., Старкова Н.Н.

Электронное приложение App16_Arctic_2021 (<http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>): 1 – Сейсмические станции, участвовавшие в обработке землетрясений региона «Арктика» в 2021 г.; 2 – Сводный каталог землетрясений региона «Арктика» за 2021 г.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений региона «Арктика» в 2021 г.; 4 – Каталог землетрясений региона Архангельск (код центра FCIAR) за 2021 г.; 5 – Каталог землетрясений по данным сети Кольского филиала (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН (код центра KOGSR) за 2021 г.; 6 – Каталог землетрясений Арктического региона по данным сети Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН (код центра YAGSR) за 2021 г.

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), 2021. (2025) // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2021/
4. International Seismological Centre. (2025). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. Баранов С.В., Петров С.И. Баренц-Евро/Арктика // Землетрясения 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 Р 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. 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
17. 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
18. Ekström G., Dziewonski A.M. Evidence of bias in estimations of earthquake size // Nature. – 1988. – V. 332, N 6162. – P. 319–323.
19. 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, N 4. – P. 389–397. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923922040077> EDN: IAFXGA
20. Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб: ВНИИОкеангеология, 1996. – 186 с.
21. Morozov A.N., Vaganova N.V., Konechnaya Ya.V., Mikhailova Ya.A., Petrova N.V. Low-magnitude seismicity of the continent-ocean transition zone in the Eurasian Arctic // Russian Journal of Earth Sciences. – 2024. – N 4. – ES4011. DOI: <https://doi.org/10.2205/2024es000927> EDN: PRLQWW
22. Sohn R.A., Willis C., Humphris S., Shank T.M., Singh H., Edmonds H.N., Kunz C., Hedman U., Helmke E., Jakuba M., Liljebldh B., Linder J., Murphy Ch., Nakamura K., Sato T., Schlindwein V., Stranne Ch., Tausenfrend M., Upchurch L., Winsor P., Jakobsson M., Soule A. Explosive volcanism on the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean // Nature. – 2008. – V. 453, N 7199. – P. 1236–1238. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07075>
23. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2025). [Site]. – URL: <https://www.globalcmt.org/>

SEISMICITY of the ARCTIC in 2021

A.N. Morozov^{1,2,3}, G.N. Antonovskaya², V.E. Asming⁴, S.V. Baranov⁴, N.V. Vaganova², Yu.A. Vinogradov⁴, Ya.V. Konechnaya^{2,4}, N.N. Starkova⁴, A.V. Fedorov⁴, S.V. Shibaev⁴

¹Schmidt institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, 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, Arkhangelsk, Russia, essm.ras@gmail.com

³Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, gcras@gcras.ru

⁴Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Russia: Obninsk, frc@gcras.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 2021 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 Russian Academy of Sciences (GS RAS), using data from the Seismological Bulletin of the GS RAS and the International Seismological Center. A total of 566 earthquakes are included in the consolidated catalog for 2021. Most of the earthquakes that occurred in 2021, including all the strongest earthquakes, were located within the mid-ocean ridges of Mohn, 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 Storfjord strait. Within the shelf areas, seismicity is also characteristic of the Novaya Zemlya archipelago, “continent-ocean” transition zone of the Barents-Kara region and southeast of the Spitsbergen archipelago. For 18 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., Starkova, N.N., Fedorov, A.V., & Shibaev, S.V. (2025). [Seismicity of the Arctic in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 220–227. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.20> EDN: RIWTTH

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 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, 2021. (2025). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2021/
4. International Seismological Centre. (2025). 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(2019), 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 «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.).
16. 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
17. 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
18. Ekström, G., & Dziewonski, A.M. (1988). Evidence of bias in estimations of earthquake size. *Nature*, 332(6162), 319–323.
19. 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
20. Avetisov, G.P. (1996). *Seismoaktivnye zony Arktiki* [Seismically active zones in the Arctic]. Saint-Petersburg, Russia: VNIIOkeangeologia Publ., 186 p. (In Russ.).
21. Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Konechnaya, Ya.V., Mikhailova, Ya.A., & Petrova, N.V. (2024). Low-magnitude seismicity of the continent-ocean transition zone in the Eurasian Arctic. *Russian Journal of Earth Sciences*, 4, ES4011. DOI: <https://doi.org/10.2205/2024es000927> EDN: PRLQWW.
22. Sohn, R.A., Willis, C., Humphris, S., Shank, T.M., Singh, H., Edmonds, H.N., Kunz, C., Hedman, U., Helmke, E., Jakuba, M., Liljebladh, B., Linder, J., Murphy, Ch., Nakamura, K., Sato, T., Schlindwein, V., Stranne, Ch., Tausenfreund, M., Upchurch, L., Winsor, P., Jakobsson, M., & Soule, A. (2008). Explosive volcanism on the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean. *Nature*, 453(7199), 1236–1238. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07075>
23. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). (2025). Catalog Search. Retrieved from <https://www.globalcmt.org/>