

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРКТИКИ в 2015 г.

А.Н. Морозов^{1,2}, Г.П. Аветисов³, Г.Н. Антоновская², В.Э. Асминг¹, С.В. Баранов¹, Н.В. Ваганова²,
Ю.А. Виноградов¹, А.С. Жолондз³, Я.В. Конечная^{1,2}, А.В. Федоров¹, И.С. Федоров¹

¹ФИЦ ЕГС РАН, Россия: г. Обнинск, morozovalexey@yandex.ru; г. Анапиты, andrey_v_fedorov@inbox.ru;
г. Архангельск, arh-seismo@yandex.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики Уральского отделения РАН,
г. Архангельск, essm.ras@gmail.com

³ВНИИ геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга
Министерства природных ресурсов Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, gravet@mail.ru

Аннотация. В статье представлены обзор и анализ сейсмичности в пределах границ региона «Арктика» за 2015 г., 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 334 землетрясения. Большая часть очагов землетрясений приурочена к срединно-океаническим хребтам Мона, Книповича и Гаккеля. В пределах хребтов произошли все сильнейшие землетрясения в 2015 году. На шельфовых территориях большая часть землетрясений была приурочена к архипелагу Шпицберген, в частности, к сейсмоактивной зоне в проливе Стур-фьорд. Возобновление сейсмометрических наблюдений на архипелаге Земля Франца-Иосифа позволило регистрировать слабые землетрясения на севере шельфа Баренцева и Карского морей, в частности, в районе желоба Франц-Виктория, в его устьевой части, и о. Белый. Для 12 землетрясений приведены параметры механизма очага по данным GCMТ. Дана оценка выделившейся на территории региона сейсмической энергии в 2015 г. – $15.43 \cdot 10^{11}$ Дж.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.20

Для цитирования: Морозов А.Н., Аветисов Г.П., Антоновская Г.Н., Асминг В.Э., Баранов С.В., Ваганова Н.В., Виноградов Ю.А., Жолондз А.С., Конечная Я.В., Федоров А.В., Федоров И.С. Сейсмичность Арктики в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 210–216. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.20

Введение. В 1906 г. с целью организации сейсмометрических наблюдений в Vassijaure на севере Швеции был установлен горизонтальный сейсмограф Wiechert, который впоследствии, в 1915 г., был перенесен на территорию Научно-исследовательской станции Abisco [1]. Сейсмическая станция Vassijaure стала первой станцией, функционирующей за пределом Северного Полярного круга. Дату начала сейсмологических наблюдений в Арктике связывают именно с началом функционирования этой станции [2].

Постепенно с разными темпами общее количество сейсмических станций за пределами Северного Полярного круга увеличивалось. Существенное увеличение сети арктических станций произошло в период подготовки и проведения Международного геофизического года (1957–1958 гг.) и Года международного геофизического сотрудничества (1959 г). Однако вплоть до начала XXI века обширные территории Арктики были крайне неравномерно охвачены инструментальными наблюдениями по причине суровых климатических и неблагоприятных географических условий. В результате значение представительной магнитуды сильно варьировалось в пределах территории Арктики, начиная от 2.0–2.5 и доходя для некоторых районов до 4.0 [2, 3].

Несмотря на это, этого было достаточно, чтобы получить хорошие представления об особенностях проявления сейсмичности главной сейсмоактивной зоны Арктики – спрединговой границы Северо-Американской и Евразийской литосферных плит, протягивающейся от Исландии через Норвежско-Гренландский бассейн, Евразийский суббассейн и шельф моря Лаптевых до Северо-Востока Евразии. Граница плит представлена в виде подводного срединно-океанического хребта, и сейсмичность хребта обусловлена процессами океанического рифтогенеза. [2, 3].

Однако количество сейсмических станций и их плотность были совершенно недостаточными для детального изучения сейсмичности отдельных, важных с позиций научного и прикладного (и особенно геоэкологического) аспектов, районов Арктики. Не регистрировались низкомагнитудные землетрясения, изучение которых дает многое для выявления пространственно-временных вариаций сейсмичности и более правильного понимания связи ее с геологическим строением региона и развивающимися в его пределах геодинамическими процессами.

В XXI веке, благодаря усилиям в том числе ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН, произошло существенное увеличение количества арктических сейсмических станций, оснащенных современной высокочувствительной аппаратурой, что сказалось на уменьшении порога регистрации землетрясений для отдельных районов Арктики. В частности, в 2015 г. были возобновлены инструментальные наблюдения в п. Пирамида на архипелаге Шпицберген (рис. 1). Использование новых сейсмических станций, усовершенствованных алгоритмов обработки сейсмических сигналов и алгоритмов локаций позволило исследователям существенно расширить наши представления о сейсмичности как Арктики в целом, так и ее отдельных районов [4].

В данной статье представлены обзор и анализ сейсмичности региона «Арктика» за 2015 г. на основе единого каталога землетрясений, включающего каталоги ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН [5], КоФ ФИЦ ЕГС РАН [6] и ФГБУ «ВНИИОкеангеология» [7], с привлечением данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [8, 9] и International Seismological Centre (ISC) [10]. Согласно решению Редакционного совета ежегодника «Землетрясения Северной Евразии» (Протокол № 1 от 9 октября 2019 г.), границы региона «Арктика» были изменены, координаты угловых точек региона следующие: 72.8°N–0°, 79.0°N–0°, 79.0°N–10.0°W, 90.0°N–10.0°, 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, 72.8°N–0° (рис. 1).

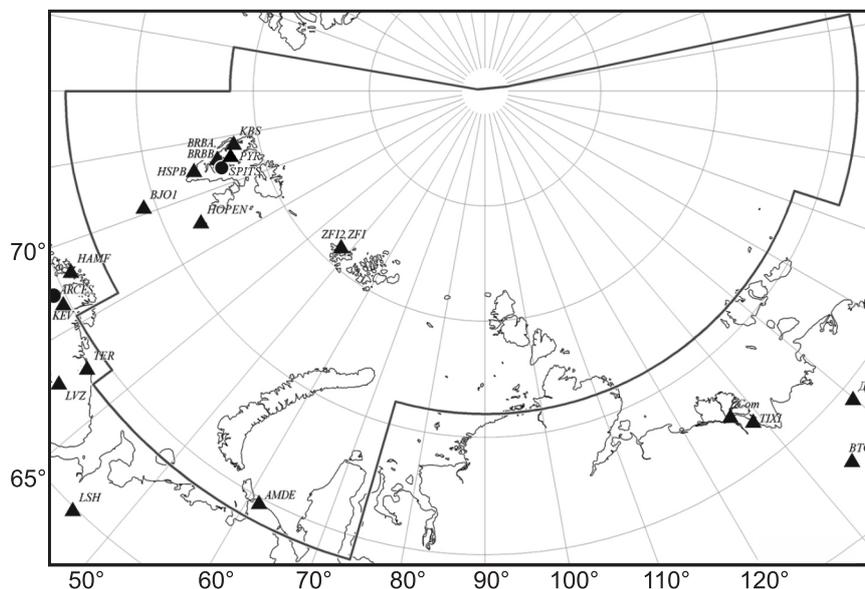


Рис. 1. Карта с указанием границ региона «Арктика» (линия), расположения сейсмических станций (треугольники) и сейсмических групп (кружки)

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 архипелаге Земля Франца-Иосифа и побережье Карского моря функционировали сейсмические станции ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (код сети AN) [11].

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). В июне 2015 г. на архипелаге Шпицберген в пос. Пирамида был установлен сейсмоинфразвуковой комплекс PYR, оснащенный сейсмическим датчиком CMG-6T, регистратором Байкал-8 и микрофонами MPA-201 BSWA-Tech. Установка комплекса позволила возобновить инструментальные наблюдения, которые проводились ранее в пос. Пирамида сейсмической станцией PIR (сейсмограф СКМ-3) в период с августа 1984 г. до середины 1990-х г. Согласно [12], для архипелага Шпицберген значение представительной магнитуды сети $ML_{\min}=1.0$.

Сейсмическая сеть ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН осуществляет мониторинг преимущественно центральной части Арктического региона с помощью станций ZFI2, ZFI3 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). Для центральной части региона «Арктика» значение представительной магнитуды регистрации землетрясений с помощью этих станций составляет $ML_{\min}=2.9$.

В целом для региона, как показано в [2] и подтверждено в [13], представительными в настоящее время являются землетрясения, начиная с $m_b=4.0-4.5$.

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 [11].

Методика обработки и исходные данные. Обработка региональных событий по данным сети АН проводилась в программном комплексе WSG [14] методом «засечек» с выделением продольных (P -фаза) и поперечных (S -фаза) волн. Для событий из района хребта Гаккеля использовался годограф NOES [15], для остальной территории региона – годограф BARENTS [16]. Расчет локальной магнитуды ML производился в WSG [17].

При обработке региональных событий по данным сети KOGSR использовался программный комплекс EL [18], а также метод «засечек» с выделением продольных (P -фаза) и поперечных (S -фаза) волн. Локация событий осуществлялась с помощью годографа на основе модели SPITS [19]. Расчет локальной магнитуды $ML_{\text{рег}}$ производился в EL [18].

Каталог землетрясений по региону «Арктика» составлялся на основе каталогов сетей АН, KOGSR, ФГБУ «ВНИИОкеангеология», данных Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН и ISC. 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 2015 г. включено 334 землетрясения с $ML=2.0-5.1$ [20]. Большая часть очагов землетрясений связана с главной сейсмоактивной зоной Арктики (рис. 2). Указанная зона является фрагментом глобального сейсмического пояса, трассирующего дивергентные границы литосферных плит. В глубоководной части Северного Ледовитого океана она приурочена к гребню подводных хребтов Мона, Книповича, Гаккеля и Шпицбергенской зоны разломов [2]. В пределах хребтов произошли все сильные землетрясения в 2015 г., включая сильнейшее 19 января в $12^{\text{h}}45^{\text{m}}$ с $MPSP=5.6$, согласно определению из Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [8, 9].

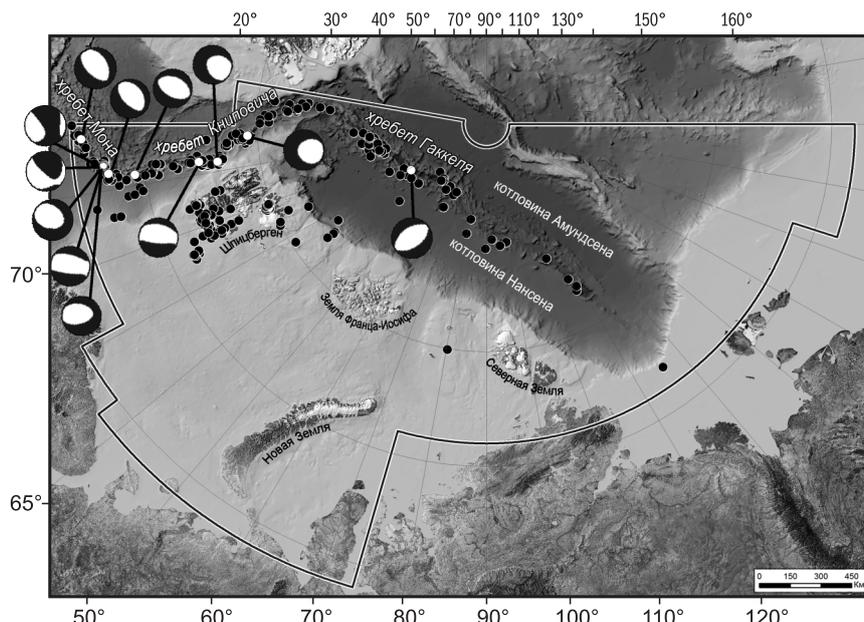


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений (кружки) в пределах региона «Арктика» за 2015 г.

Линией указана граница региона, белыми кружками эпицентры, для которых выполнены определения фокального механизма по GCMT [22, 23].

В каталог механизмов очагов землетрясений Арктики [21] включены фокальные механизмы по определениям GCMТ [22] (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, простирали хребтов.

В пределах шельфовых территорий большая часть очагов землетрясений была приурочена к архипелагу Шпицберген, в частности, к сейсмоактивной зоне в проливе Стур-фьорд. В районе архипелага Шпицберген 4 июля в 07^h42^m произошло и самое сильное землетрясение в пределах шельфовых территорий с $m_{b,ISC}=4.5$ (рис. 3).

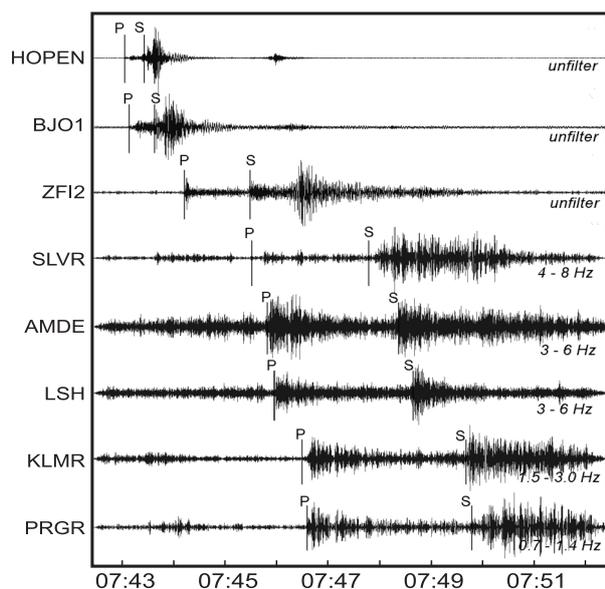


Рис. 3. Фрагменты сейсмограмм землетрясения, зарегистрированного 4 июля в 07^h42^m с $m_{b,ISC}=4.5$ в районе архипелага Шпицберген

Возобновление в 2011 г. сейсмометрических наблюдений на архипелаге Земля Франца-Иосифа [23] позволило регистрировать слабые землетрясения на севере шельфа Баренцева и Карского морей. Землетрясения регистрируются в районах жёлоба Франц-Виктория, в его устьевой части, и о. Белый. Данные особенности пространственного расположения эпицентров зарегистрированных землетрясений хорошо согласуются с ранее зарегистрированной сейсмичностью в этой зоне [24, 25].

Оценка выделенной сейсмической энергии проводилась по аналогии с работой [26] по формуле К. Касахара [27]:

$$\lg E, \text{ Дж} = 2.4 m_b - 1.2,$$

в которой использовались значения $m_{b,ISC}$ для 101 землетрясения и $m_{b,ISC}$ для восьми землетрясений (табл. 1).

Таблица 1. Число землетрясений разных магнитуд m_b и суммарная выделенная сейсмическая энергия ΣE в Арктическом бассейне за 2014 и 2015 г.

Год	m_b						N_Σ	$\Sigma E, 10^{11} \text{ Дж}$
	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	23	24	8	6	1	0	62	5.24
2015	29	43	19	6	4	0	101	15.43

Выводы. Сейсмичность, зарегистрированная в 2015 г. в границах региона «Арктика», является типичной для данного региона как по распределению эпицентров, так и по выделенной сейсмической энергии. Особенностью этого года, в отличие от предыдущего, является небольшое повышение количества землетрясений с магнитудами $m_b > 5.1$, что отразилось на значении суммарной выделившейся сейсмической энергии, а также регистрация слабой сейсмичности на севере шельфа Баренцева и Карского морей, ставшая возможной благодаря возобновлению инструментальных наблюдений на архипелаге Земля Франца-Иосифа и в п. Пирамида на архипелаге Шпицберген [21].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках тем НИР ФИЦ ЕГС РАН №№ АААА-А20-120060890034-7 и АААА-А20-120060890035-4 госзадания № 075-00576-21, темы НИР ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН ААААА18-118012490072-7 и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Л и т е р а т у р а

1. Kulhanek O. The status, importance, and use of historical seismograms in Sweden // Symposium on historical seismograms and earthquakes. – 1988. – P. 64–69.

2. Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. – СПб: ВНИИОкеангеология, 1996. – 185 с.
3. Engen Ø., Eldholm O., Bungum H. The Arctic plate boundary // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 2003. – V. 108, N B2.
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. Конечная Я.В. Каталог землетрясений сети АН региона Архангельск за 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.htm>
6. Баранов С.В., Петров С.И., Нахшина Л.П. Каталог землетрясений территории архипелага Шпицберген по данным сети КОGSR в 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.htm>
7. Аветисов Г.П. Каталог землетрясений Арктического бассейна за 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.htm>
8. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеismicических станций), 2015. (2021) // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2014
9. Болдырева Н.В., Аторина М.А., Бабкина В.Ф., Лёвкина А.В., Малянова Л.С., Павская И.М., Рыжикова М.И., Щербакова А.И. Каталог землетрясений Земли за 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.htm>
10. International Seismological Centre. (2021). // *On-line Bulletin*. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
11. Конечная Я.В., Баранов С.В., Петров С.И. Сейсмические станции региона «Арктика» в 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.htm>
12. 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: 10.35540/1818-6254.2019.22.20
13. Аветисов Г.П. Арктический бассейн за 2001 год // *Землетрясения Северной Евразии в 2001 году*. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 248–251.
14. 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.
15. Морозов А.Н., Ваганова Н.В. Годографы региональных волн P и S для районов срединговых хребтов Евро-Арктического региона // *Вулканология и сейсмология*. – 2017. – № 2. – С. 59–67.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Морозов А.Н., Баранов С.В., Петров С.И., Нахшина Л.П., Конечная Я.В., Аветисов Г.П. Каталог землетрясений региона «Арктика» за 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.htm>
21. Баранов С.В., Лукаш Н.А. Каталог механизмов очагов землетрясений региона Арктика за 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.htm>
22. Global Centroid Moment Tensor (GCMT) Catalog Search. (2021). [Site]. – URL: <http://www.globalcmt.org/>
23. Антоновская Г.Н., Данилов К.Б., Конечная Я.В., Данилов А.В. Установка и первые результаты работы сейсмической станции ZFI на архипелаге Земля Франца-Иосифа // *Физический вестник Института естественных наук и биомедицины САФУ*. – 2011. – № 10. – С. 31–38.
24. Аветисов Г.П. Сейсмическое районирование территории архипелага Земля Франца-Иосифа // *Геофизические методы разведки в Арктике*. – 1971. – № 6. – С. 128–134.

25. Morozov A.N., Vaganova N.V., Asming V.E., Konechnaya Y.V., Evtuygina Z.A. The instrumental seismicity of the Barents and Kara sea region: relocated event catalog from early twentieth century to 1989 // *Journal of Seismology*. – 2018. – V. 22, N 5. – P. 1171–1209. doi: <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9760-y>
26. 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
27. Касахара К. Механика землетрясений. – М.: Мир, 1985. – С. 25.

SEISMICITY of the ARCTIC in 2015

A.N. Morozov^{1,2}, G.P. Avetisov³, G.N. Antonovskaya², V.E. Asming¹, S.V. Baranov¹,
N.V. Vaganova², Yu.A. Vinogradov¹, A.S. Jolondz³, Ya.V. Konechnaya^{1,2}, A.V. Fedorov¹,
I.S. Fedorov¹

¹Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Russia: Obninsk, morozovalexey@yandex.ru; Apatity, andrey_v_fedorov@inbox.ru; Arkhangelsk, arh-seismo@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

³Federal State Budgetary Institution “Academician I.S. Gramberg All-Russian Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean” of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia. gpavet@mail.ru

Abstract. The article provides an overview and analysis of seismicity within the boundaries of the Arctic region for 2015, 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, 334 earthquakes are included in the earthquake catalog. Most of the earthquakes that occurred in 2015, 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. The renewal of instrumental seismological observations in 2011 (station ZFI) on Alexandra Land Island in the Franz Josef Land archipelago made it possible to record weak earthquakes in the north of the shelf of the Barents and Kara Seas. For twelve earthquakes, the focal mechanism parameters are presented according to the Global CMT catalog.

Keywords: Arctic, earthquake, seismicity, seismic stations.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.20

For citation: Morozov, A.N., Avetisov, G.P., Antonovskaya, G.N., Asming, V.E., Baranov, S.V., Vaganova, N.V., Vinogradov, Yu.A., Jolondz, A.S., Konechnaya, Ya.V., Fedorov, A.V., & Fedorov, I.S. (2021). [Seismicity of the Arctic in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 210–216. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.20

References

1. Kulhanek, O. (1988). The status, importance, and use of historical seismograms in Sweden. In *Symposium on historical seismograms and earthquakes* (pp. 64–69).
2. Avetisov, G.P. (1996). *Seismoaktivnye zony Arktiki* [Seismically active zones in the Arctic]. Saint-Petersburg, Russia: VNIIOkeangeologia Publ., 186 p. (In Russ.).
3. Engen, Ø., Eldholm, O., & Bungum, H. (2003). The Arctic plate boundary. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B2).
4. Antonovskaya, G., Morozov, A., Vaganova, N., & Konechnaya, Y. (2020). Seismic monitoring of the European Arctic and adjoining regions. In *The Arctic. Current Issues and Challenges* (pp. 303–368).
5. Konechnaya, Ya.V. (2021). [Catalog of earthquakes of the AH network of the Arkhangelsk region for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
6. Baranov, S.V., Petrov, S.I., & Nakhshina, L.P. (2021). [Catalog of earthquakes in the Svalbard archipelago according to the KOGSR network in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
7. Avetisov, G.P. (2021). [Earthquake catalog of the Arctic in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).

8. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2015. (2021). Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2014/
9. Boldyreva, N.V., Atorina, M.A., Babkina, V.F., Levkina, A.V., Malianova, L.S., Pavskaya, I.M., Ryzhikova, M.I., & Shcherbakova, A.I. (2021). [Earthquake catalog for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
10. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
11. Konechnaya, Ya.V., Baranov, S.V., & Petrov, S.I. (2021). [Seismic stations of the Kola branch of GS RAS, operating in the Arctic in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
12. Baranov, S.V., & Petrov, S.I. (2019). [Barents-Euro/Arctic]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), 232–239. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.20
13. Avetisov, G.P. (2020). [Arctic]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2001 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2001] (pp. 248–251). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
14. 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.).
15. 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.
16. Kremenetskaya, E., Asming, V., & Ringdal, F. (2001). Seismic location calibration of the European Arctic. *Pure and applied geophysics*, 158(1–2), 117–128.
17. 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.).
18. Asming, V.E. (2004). *Sozdanie programmnoho 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.).
19. 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.
20. Morozov, A.N., Baranov, S.V., Petrov, S.I., Nakhshina, L.P., Konechnaya, Ya.V., & Avetisov, G.P. (2021). [Earthquake catalog of the Arctic region in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
21. Baranov, S.V., Lukash, N.A. (2020). [Catalog of earthquake focal mechanisms for the Arctic region in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
22. Global Centroid Moment Tensor. (2021). (GCMT) Catalog Search. Retrieved from <http://www.globalcmt.org/>
23. Antonovskaya, G.N., Danilov, K.B., Konechnaya, Ya.V., & Danilov, A.V. (2011). [Installation and first results of the ZFI seismic station on the Franz Josef Land archipelago]. *Fizicheskii vestnik Instituta estestvennykh nauk i biomeditsiny SAFU* [Physical Bulletin of the Institute of Natural Sciences and Biomedicine, NArFU], 10, 31–38. (In Russ.).
24. Avetisov, G.P. (1971). [Seismic zoning of the Franz Josef Land archipelago]. *Geofizicheskie metody razvedki v Arktike* [Geophysical exploration methods in the Arctic], 6, 128–134. (In Russ.).
25. Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Asming, V.E., Konechnaya, Y.V., & Evtyugina, Z.A. (2018). The instrumental seismicity of the Barents and Kara sea region: relocated event catalog from early twentieth century to 1989. *Journal of Seismology*, 22(5), 1171–1209. doi: <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9760-y>
26. 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
27. Kasakhara, K. (1985). *Mekhanika zemletryaseniia* [Earthquake mechanics]. Moscow, Russia: Mir Publ., 25 p. (In Russ.).