

УДК 550.34

## СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

© 2023 г. А. Н. Морозов<sup>1,2,\*</sup>, Н. В. Ваганова<sup>2</sup>, В. Э. Асминг<sup>3</sup>, С. А. Перетокин<sup>1</sup>, И. М. Алешин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УРО РАН, г. Архангельск, Россия

<sup>3</sup>Кольский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба Российской академии наук”, г. Апатиты, Россия

\*E-mail: morozovalexey@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.07.2022 г.

После доработки 20.09.2022 г.

Принята к публикации 27.09.2022 г.

В статье представлены результаты многолетних исследований по созданию сводного уточненного и унифицированного каталога землетрясений для западного сектора Российской Арктики за весь инструментальный период наблюдений, в частности, за период с 1908 по 2020 гг. Созданный каталог включает также данные о современной сейсмичности районов, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга. Результаты исследований позволили уточнить пространственное распределение землетрясений в регионе и сопоставить инструментальные данные с параметрами линейно-доменно-фокальных (ЛДФ) моделей карт общего сейсмического районирования (ОСР) -97 и -2016. В пределах западного сектора Российской Арктики наибольшая сейсмичность проявляется в пределах зоны перехода “континент–океан” и о. Белый, архипелагов Новая Земля и Северная Земля. Сам шельф Баренцева и Карского морей характеризуется редкой и рассеянной сейсмичностью. Конфигурация, значения максимально возможных магнитуд и глубина сейсмогенных слоев доменов ЛДФ-моделей карт ОСР-97 и -2016 не всегда соответствуют инструментальным данным и требуется их корректировка. Созданный сводный уточненный каталог землетрясений может служить основой для последующих исследований, связанных с оценкой сейсмической опасности территории, построением геодинамических моделей, исследованием напряженно-деформированного состояния земной коры.

*Ключевые слова:* западный сектор Российской Арктики, каталог землетрясений, сейсмическая опасность, сейсмичность Арктики.

DOI: 10.31857/S0002333723020096, EDN: LIGGSU

### 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. Развитие инструментальных наблюдений в Арктике проходило неравномерно как во времени, так и в пространстве.

Вплоть до конца XX в., функционирующая в Арктике сеть сейсмических станций, как отмечал Г.П. Аветисов в работе [Аветисов, 1996], достаточна для проведения общего мониторинга сейсмического режима Арктического региона в целом и накоплению данных по уже известным его особенностям, но совершенно не удовлетворительна для осуществления детального изучения наиболее интересных и важных с позиций науч-

ного и прикладного аспектов узловых фрагментов сейсмоактивных зон.

В результате, как отмечал в своей работе Г.Д. Панасенко [Панасенко, 1986], складывающиеся представления о сейсмичности Арктики неполны и односторонне отражают действительность, поскольку слабые 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, не участвуют в их формировании.

В основе исследований по оценке сейсмической опасности любой территории лежит сейсмический каталог, по данным которого вычисляются параметры сейсмического режима. Для Арктического региона информация об исторических и палеоземлетрясениях практически недоступна,

поэтому большую роль играют землетрясения, зарегистрированные за инструментальный период. Однако вычисление основных параметров зарегистрированных землетрясений в Арктике в течение всего инструментального периода проходило в условиях малого количества станций и их удаленности от очага, с применением устаревших в настоящее время скоростных моделей и алгоритмов локации. Кроме того, бюллетени не всех функционировавших в регионе в течение XX в. сейсмических станций были доступны сейсмологам для вычисления основных параметров арктических землетрясений.

В итоге распределение эпицентров части землетрясений из современных каталогов, особенно на шельфовых территориях арктических морей, не всегда соответствует действительности [Морозов et al., 2018; 2019; 2021]. А это, в свою очередь, может иметь последствия для будущих исследований, связанных с оценкой сейсмической опасности этих территорий. Поэтому возможны ситуации, когда недостаточный учет геодинамических факторов при разработке и эксплуатации месторождений может привести к большим экономическим потерям и экологическим последствиям.

С конца XX и в начале XXI веков начался процесс интенсивного развития инструментальных наблюдений в Арктике. Количество зарубежных и отечественных сейсмических станций, оснащенных современной высокочувствительной аппаратурой, существенно увеличилось. Расширилась и географическая представительность стационарных сейсмических станций (рис. 1). В настоящий момент в Арктике функционирует наиболее плотная сеть стационарных сейсмических станций за весь период инструментальных наблюдений. Установка новых стационарных сейсмических станций позволила создать благоприятные условия для регистрации низкомagnitude землетрясений в районах Арктики, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга, в том числе западного сектора Российской Арктики [Antonovskaya et al., 2020].

Однако, как и в XX веке, сейсмические станции принадлежат различным международным и региональным сейсмическим сетям. Вычисленные параметры очагов арктических землетрясений отличаются в разных сейсмологических Центрах, т.к. основаны, чаще всего, на анализе данных лишь станций конкретной сети, собственных региональных моделей и шкал локальных магнитуд, а также вычислены с применением разных алгоритмов локаций. Чаще всего региональные сейсмические сети, в силу географического расположения, “специализируются” на мониторинге отдельных арктических территорий. В результате, низкомagnitude землетрясения, зарегистрированные за пределами района ответственности, чаще всего одной или двумя станциями сети, не отражаются в каталогах регионального Центра.

Кроме того, несмотря на возросшую плотность сейсмометрических наблюдений, условия для достоверной локации гипоцентров низкомagnitude землетрясений до сих пор остаются неблагоприятными по причине неравномерного распределения сейсмических станций и их удаленности друг от друга.

Арктические землетрясения, зарегистрированные в течение всего инструментального периода, характеризуются магнитудными оценками разных типов и вычислены в разных международных и региональных сейсмологических Центрах. Часть землетрясений в каталогах не имеют магнитудных оценок. Это приводит к сложностям при сопоставлении данных о землетрясениях за разные периоды времени и для разных арктических территорий.

В настоящее время в рамках реализации проектов по освоению месторождений в Российской Арктике активно ведется проектирование и строительство промышленных систем и объектов. В соответствии с требованиями нормативных документов № 384-ФЗ [Технический регламент..., 2009], на разных стадиях реализации строительных проектов должны учитываться следующие оценки сейсмической опасности [Завьялов, Перетокин, 2022]:

- нормативная сейсмичность – оценки сейсмической опасности на основе действующего комплекта карт общего сейсмического районирования (ОСР);
- исходная сейсмичность – сейсмичность района строительства, которая принимается равной нормативной сейсмичности, либо конкретизируется в рамках исследований по детальному сейсмическому районированию (ДСР) или уточнению исходной сейсмичности (УИС);
- расчетная сейсмичность – сейсмическая опасность площадки будущего строительства, определяемая на стадии сейсмического микро-районирования (СМР) с учетом результатов ДСР или УИС и реальных грунтовых условий.

Учитывая географическое положение и климатические условия Арктики, зачастую проектируемые объекты располагаются на шельфе или на суше, в условиях широко распространенной вечной мерзлоты. В связи с этим возникают следующие проблемы [Завьялов, Перетокин, 2022]:

- не вся территория западного сектора Российской Арктики обеспечена нормативными оценками сейсмической опасности;
- для проведения ДСР или УИС на территории арктической зоны РФ недостаточно сейсмо-тектонических и сейсмологических данных.
- наиболее часто используемые в РФ методы СМР не предназначены для мерзлых пород или обводненных грунтов дна акваторий.

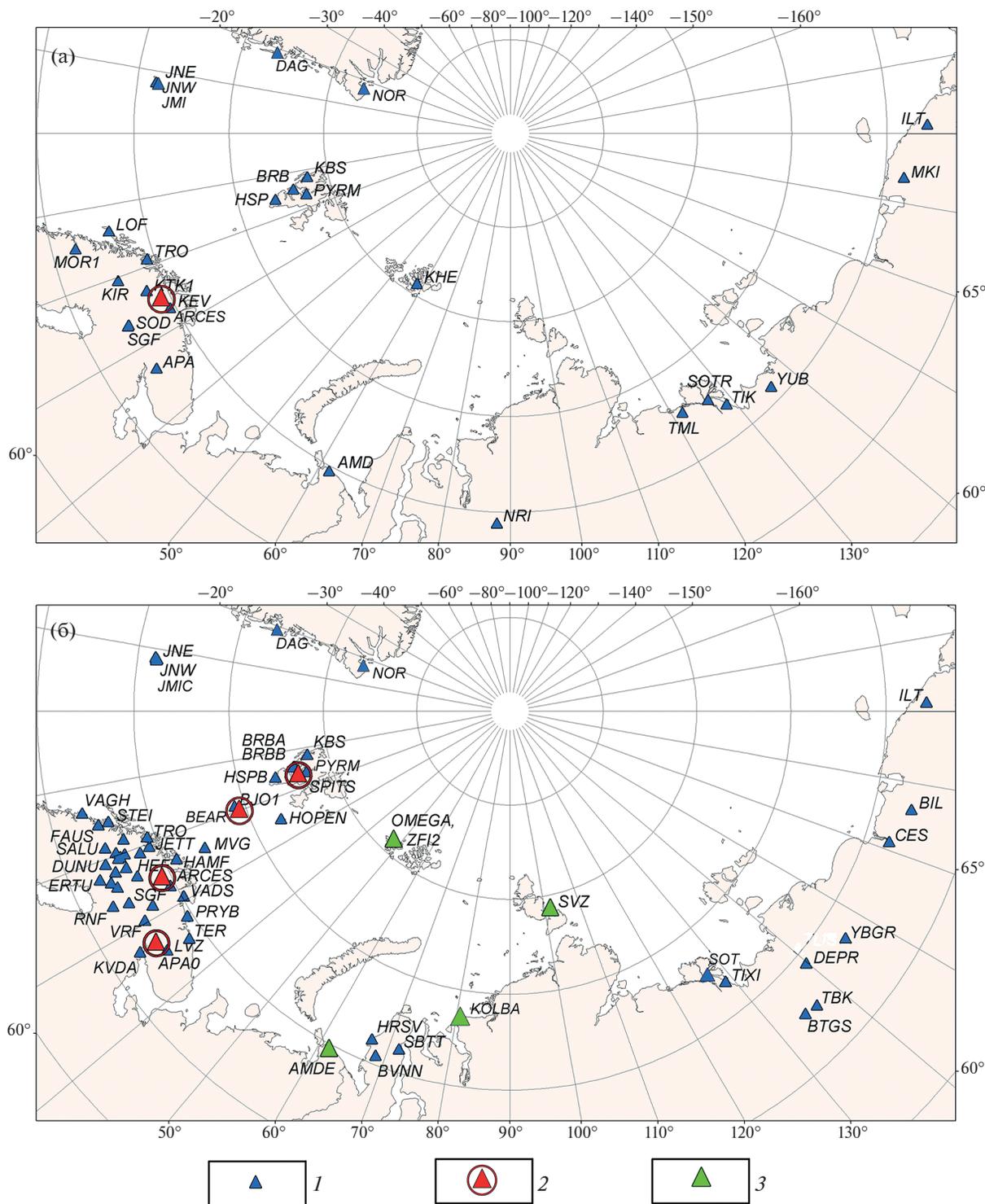


Рис. 1. Карта сейсмических станций Евразийской Арктики, функционирующих в 80-х годах XX века (а) и на момент 2019 г. (б): 1 – сейсмические станции; 2 – сейсмические группы; 3 – сейсмические станции сети ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (код сети АН, DOI: <https://doi.org/10.7914/SN/АН>).

Таким образом, в связи с необходимостью обеспечения безопасной эксплуатации промышленных систем и объектов при освоении крупных месторождений в западном секторе Российской

Арктики существует необходимость в проведении исследований по уточнению параметров очагов землетрясений, зарегистрированных за весь период инструментальных наблюдений.

В данной статье представлены результаты многолетних исследований по созданию сводного уточненного и унифицированного каталога землетрясений для западного сектора Российской Арктики за весь инструментальный период наблюдений с 1908 по 2020 гг. Созданный каталог также включает данные о современной сейсмичности районов, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга. Результаты исследований позволили уточнить пространственное распределение землетрясений в регионе и сопоставить инструментальные данные с параметрами ЛДФ-моделей карт ОСР-97 и -2016.

### ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ, ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Употребляемый в статье термин “Российская Арктика” – это часть акватории и территории Арктики, на которую в соответствии с международным правом распространяется юрисдикция российского государства [Лукин, 2012]. Российский сектор Арктики в XX веке был определен на основе разграничения арктического пространства по двум меридианам от крайних западной и восточной точек сухопутной границы России до Северного полюса. В официальных документах, например, в “Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу”, утвержденной 18 сентября 2008 г., чаще всего употребляется политико-правовое понятие “Арктическая зона РФ”. Понятия “Арктическая зона РФ” и “Российская Арктика” по сути своей являются идентичными [Лукин, 2012]. Разделение на западный и восточный секторы Российской Арктики условно. Западный сектор включает географически Баренцево и Карское моря, Восточный – Восточно-Сибирское, Чукотское и море Лаптевых. Данное разделение совпадает с границами между Западно-Арктическим и Восточно-Арктическим секторами Евразийского шельфа, выделенные на основе различий во внутренней структуре и геодинамике в работе [Геология..., 2004].

Сводный и унифицированный каталог землетрясений западного сектора Российской Арктики за весь инструментальный период наблюдений создавался для района, представленного на рис. 2. Район включает в себя российский сектор континентального шельфа Баренцева моря, шельф Карского моря и архипелаги Новая Земля, Северная Земля и Земля Франца-Иосифа.

Из-за перечисленных в разделе ВВЕДЕНИЕ условий, составление сводных уточненных и унифицированных каталогов для арктических территорий не является простой технической задачей. Поэтому авторами предложена совокупность технических решений, направленных на определе-

ние основных параметров землетрясений в западном секторе Российской Арктики, которая включает в себя: создание региональных скоростных моделей и модели регионализации, уточнение шкалы локальной магнитуды, учитывающей региональные особенности, создание сводного электронного архива бюллетеней сейсмических станций первой половины XX века и использование современного алгоритма локации сейсмических событий. Ниже приведено их краткое описание.

Как уже отмечалось, бюллетени не всех функционировавших в течение XX века сейсмических станций были доступны сейсмологам для оценки основных параметров арктических землетрясений. Поэтому авторами были проведены изыскания бюллетеней сейсмических станций, функционировавших, прежде всего, в первой половине XX века, в архивах, созданных при реализации крупных специализированных научных проектов: “Historical Seismogram Filming Project” [Lee et al., 1988], поддержанного ЮНЕСКО, “USGS WWFC Pilot Scanning Project” [Alejandro et al., 2019], “EuroSeismos” [Michellini et al., 2005], ISC-GEM (International Seismological Centre-Global Earthquake Model) [Storchak et al., 2015], а также в фондах ФИЦ ЕГС РАН, Российской государственной библиотеки, Геофизического Центра РАН, в различных научных статьях и монографиях. Также Й. Швейцером (Johannes Schweitzer) из Университета Осло был передан авторам большой архив, состоящий из бюллетеней сейсмических станций и сводных каталогов землетрясений первой половины XX века.

Результатом подобных изысканий стало создание сводного электронного архива, состоящего из бюллетеней сейсмических станций, функционировавших в первой половине XX в., сводных каталогов землетрясений XX в. и сведений об аппаратуре станций. Это позволило проводить исследования по уточнению параметров ранее зарегистрированных землетрясений на основе наиболее полных наборов инструментальных данных.

В конце XX и начале XXI в. произошло существенное увеличение количества сейсмических станций в Арктике. Однако условия для достоверного вычисления гипоцентров землетрясений, особенно низкомagnitudeных, остаются все еще неблагоприятными по причине неравномерного распределения сейсмических станций и их удаленности друг от друга. Поэтому, при вычислении основных параметров низкомagnitudeных землетрясений необходимо использовать исходные цифровые данные максимально возможного количества станций международных и национальных сетей, функционирующих в настоящее время в регионе. Такие данные были получены

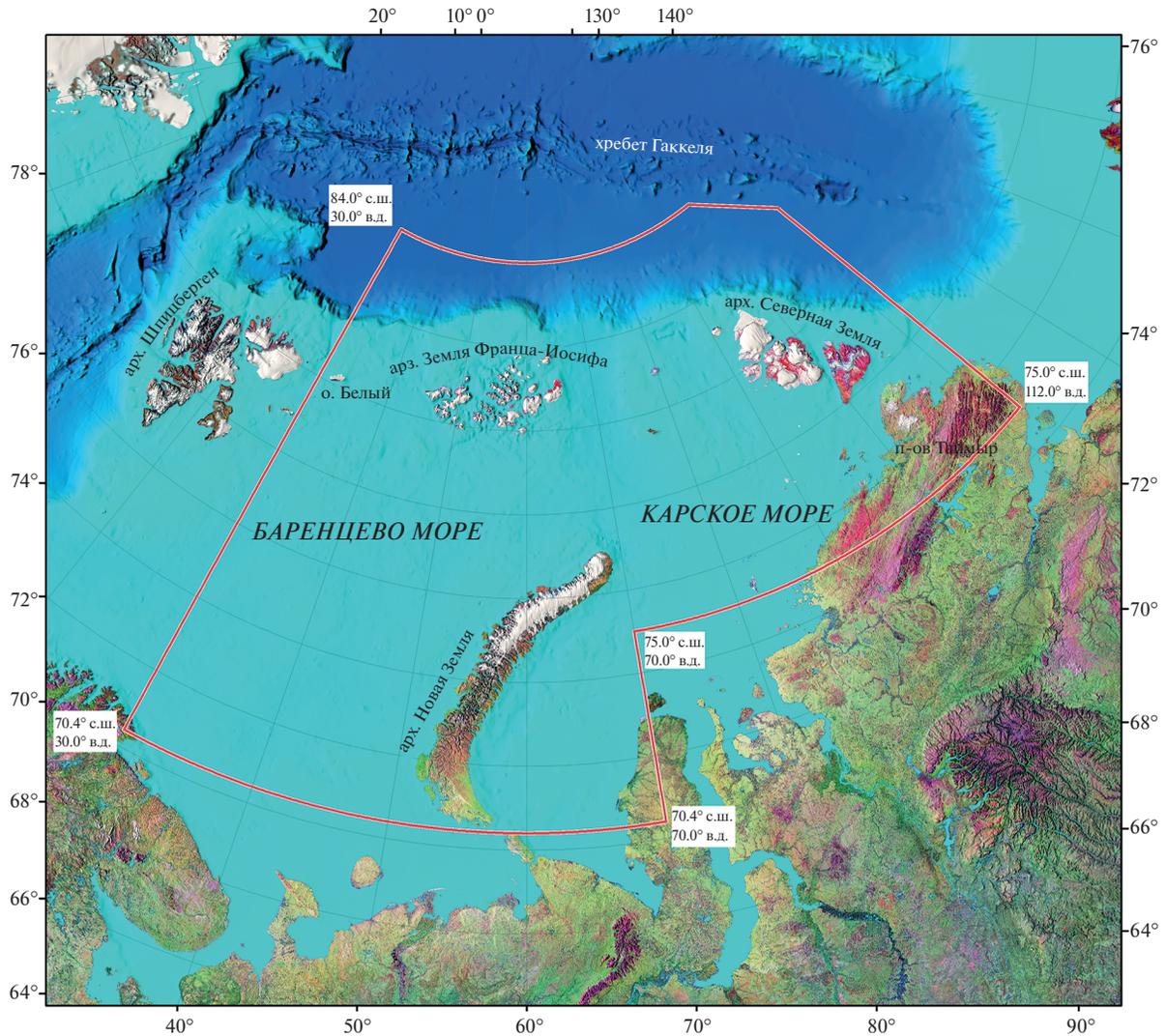


Рис. 2. Карта с обозначением района исследования.

авторами через официальные сайты GEOFON [GEOFON, 2022], ORFEUS [ORFEUS, 2022], IRIS [IRIS, 2022], а также в ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН. Данные о временах вступлений сейсмических фаз можно получить также в бюллетенях ISC и ФИЦ ЕГС РАН и в сводном бюллетене для Европейской Арктики за период с 1990 по 2013 гг. [Schweitzer et al., 2021]. Это создало условия для вычисления параметров очагов современных землетрясений с привлечением максимально возможного числа функционирующих сейсмических станций, расположенных в широком азимутальном створе и диапазоне эпицентральных расстояний.

В течение XX века постепенно расширялись знания о распространении волн в Земле. Постепенно совершенствовались скоростные модели, применяемые при локации землетрясений, начиная от модели Р. Олдхэма [Oldham, 1900] до ис-

пользуемой в настоящее время *ak135* [Kennett et al., 1995; Kennett, 2005]. В течение XX века параметры гипоцентров землетрясений вычислялись при использовании разных скоростных моделей, устаревших в настоящее время. Поэтому, при уточнении параметров очагов землетрясений по данным удаленных сейсмических станций использовалась актуальная в настоящее время глобальная скоростная модель *ak135*.

При значительном увеличении количества сейсмических станций в Арктике и появлении возможности регистрировать низкомагнитудные землетрясения остро встал вопрос о создании региональных моделей, т.к. глобальные модели не учитывают региональные особенности распространения сейсмических фаз. Для западного сектора Российской Арктики и прилегающих территорий использовалась модель BARENTS [Kremenetskaya et al., 2001] для локации землетрясений

Баренцево-Карского региона и модель NOES [Морозов, Ваганова, 2017] – для севера Баренцево-Карского региона и Евразийского суббассейна.

Для уточнения параметров гипоцентров использовался алгоритм программы NAS (New Association System) [Asming, Prokudina, 2016; Fedorov et al., 2019], в усовершенствованном виде реализующий метод Generalized beamforming [Ringdal, Kværna, 1989]. Алгоритм программы NAS имеет ряд преимуществ, которые являются полезными для процесса уточнения параметров очагов землетрясений на основе бюллетеней сейсмических станций первой половины XX в. Во-первых, алгоритм программы игнорирует ошибочные времена вступления сейсмических фаз, которые возникли из-за действий оператора или неисправности аппаратуры. Во-вторых, в бюллетенях нередки случаи, когда указаны только времена вступлений без идентификации фаз. В таких случаях алгоритм сам проводит идентификацию фаз по временам вступлений.

В программе NAS задается исходная точка пространства–времени – приблизительная локация сейсмического события и его примерное время. Алгоритм NAS производит ассоциацию и уточнение координат и времени в окрестности этой исходной точки. Программа выбирает круг большого радиуса вокруг исходной точки. В этом круге ищется более точная локация. При уточнении параметров очагов землетрясений начала XX в. мы задаем радиус круга равный 500 км. Круг покрывается перекрывающимися кругами меньших радиусов, формирующими сетку. Для каждого такого меньшего круга вычисляется рейтинговая функция  $R(c, t)$ , оценивающая гипотезу о том, что событие произошло в ячейке  $c$  в момент времени  $t$ . Сетка уменьшается несколько раз. Каждый раз из сетки исключается 3/4 ячеек с наименьшими рейтингами, а каждая оставшаяся ячейка делится на четыре меньших. Рейтинги пересчитываются для этих уменьшенных ячеек. Такой поиск выполняется для набора фиксированных глубин (в этой работе от 0 до 100 км с шагом 5 км). Окончательно, за предварительную локацию события выбирается ячейка с максимальным рейтингом. Далее, на втором этапе локация уточняется с помощью минимизации невязки оценки времени в очаге по найденным таким образом временам и их весам и строятся доверительные области (эллипсы ошибок). Для расчета доверительной области, помимо знания известных фаз и координат датчиков, необходимы оценки погрешностей скоростной модели  $\Delta v$  (обычно выбирается значение 0.15 км/с) и оценки измерения вступлений  $\Delta t$  (2 с для землетрясений начала XX в. и 0.3 с для современных землетрясений) для разных типов волн.

Магнитуда землетрясений является одним из фундаментальных параметров, используемых в каталогах землетрясений. Понятие магнитуды было введено после нескольких десятилетий с момента создания первых сейсмометров. Впервые понятие магнитуда была введена Ч.Ф. Рихтером [Richter, 1935]. В настоящее время эта магнитуда обозначается индексом  $ML$  и рассчитывается по данным близких от очага сейсмических станций. Позже Б. Гутенбергом [Gutenberg, 1945] были введены шкалы магнитуд  $mb$  и  $MS$ , которые вычислялись по данным сейсмических станций на телесеизмических расстояниях. Это позволило рассчитывать магнитуды для землетрясений, произошедших в удаленных районах, а также районах, где отсутствуют сейсмические станции. Впоследствии способы расчета магнитуд, введенных Б. Гутенбергом, были изменены. В настоящее время  $MS$  оценивается с использованием значений амплитуд и соответствующих им периодов в диапазоне от 10 до 60 с и на эпицентральных расстояниях от  $20^\circ$  до  $160^\circ$  с применением формулы [Ванек и др., 1962]:

$$MS = \lg \left( \frac{A}{T} \right)_{\max} + 1.66 \lg (\Delta) + 3.3. \quad (1)$$

Для оценки локальной магнитуды землетрясений, зарегистрированных в западном секторе Российской Арктики и прилегающих территориях, использовалась уточненная для данного региона калибровочная кривая магнитуды  $ML$  [Морозов и др., 2020]:

$$ML = \lg A - \lg A_0(R) + S, \quad \text{где} \\ - \lg A_0(R) = 1.5 \lg \frac{R}{100} + \\ + 1.0 \times 10^{-4} (R - 100) + 3.0. \quad (2)$$

Как уже отмечалось, арктические землетрясения, зарегистрированные в течение всего инструментального периода, характеризуются магнитудными оценками разных типов, вычисленных в разных международных и региональных сейсмологических центрах. Поэтому авторами были проведены исследования по выявлению корреляционных соотношений между магнитудами разных типов, вычисленных в различных сейсмологических центрах. На основе данных ISC за период с 1995 по 2020 гг. для региона Евразийская Арктика было получено 42 соотношения, которые условно можно разделить на три группы: магнитуды  $mb$  и  $MS$ , вычисленные в международных центрах; магнитуды  $mb$ ,  $MS$  и  $ML$ , вычисленные в международных и региональных центрах; магнитуды  $ML$  – только в региональных центрах (табл. 1). Не все построенные соотношения являются в равной степени статистически значимыми. Наименьшие коэффициенты корреляции и детерминации имеют соотношения, связывающие магнитуды

$mb$  и  $MS$ , вычисленные в международных центрах, с локальными магнитудами  $ML$ , вычисленными в региональных центрах.

Полученные корреляционные соотношения между магнитудами разных типов, частично опубликованные в работе [Морозов и др., 2022], в совокупности с результатами подобных исследований в работах [Аветисов, 1996; Di Giacomo et al., 2015; Petrova, Gabsatarova, 2020], в целом позволяют создавать сводные унифицированные каталоги землетрясений отдельных районов Арктики за весь инструментальный период.

Совокупность технических решений по определению основных параметров землетрясений в западном секторе Российской Арктики и сравнение с ранее использованными подходами представлена в табл. 2.

Составление сводного предварительного каталога землетрясений для западного сектора Российской Арктики за период с начала XX века по 2020 г. производилось на основе данных из различных источников, представленных на рис. 3. Из предварительного каталога были исключены ядерные взрывы, произведенные на полигоне “Новая Земля”, на основе открытых баз данных по ядерным взрывам [Yang X. et al., 2003; Халтурин и др., 2005], а также все сейсмические события, произошедшие непосредственно в районах ядерного полигона.

Для каждого землетрясения производился поиск времен вступлений в бюллетенях сейсмических станций, функционировавших в тот период времени. Для этого был произведен поиск бюллетеней и/или исходных цифровых данных сейсмических станций в источниках, указанных табл. 2. В итоговый каталог не включались землетрясения, вступления от которых регистрировались менее чем тремя станциями.

Из-за малого количества сейсмических станций и их удаленности для большинства землетрясений невозможно было надежно вычислить глубину очага. Поэтому для большей части землетрясений расчет координат эпицентров производился при определенной фиксированной глубине его очага. Землетрясения в районе исследования происходят в пределах земной коры. Однако очаг землетрясения не может располагаться выше некоторого  $H_{\min}$ . Минимально возможная глубина очага землетрясений определялась из значений их магнитуд согласно формуле из работы [Ризниченко, 1979]:

$$M \leq 3.3 \lg h + 3.1. \quad (3)$$

Для низкомagnitudeных землетрясений в районе зоны перехода “континент—океан” на севере шельфа Баренцева и Карского морей использовалась фиксированная глубина, равная 5 км. Для остальных землетрясений указан вычисленный

алгоритмом программы NAS диапазон возможных глубин, а в скобках указана глубина, при которой значение рейтинговой функции, реализованной в алгоритме NAS, принимает максимальное значение. Для таких глубин и были вычислены координаты эпицентров.

В данной статье сведены и частично переработаны результаты многолетних исследований авторов по уточнению параметров арктических землетрясений для Баренцево-Карского региона за период с 1904 по 1989 гг. [Morozov et al., 2018; 2019], для архипелага Новая Земля с 1986 по 2014 гг. [Morozov et al., 2017], для архипелага Северная Земля и полуострова Таймыр с 1912 по 2020 гг. [Morozov et al., 2021] и для зоны перехода “континент—океан” в Евразийской Арктике с 2011 по 2020 гг. Некоторые районы шельфа Баренцева и Карского морей за период с 1990 по 2011 гг. не были охвачены авторами в предыдущих исследованиях. Поэтому данные по редким землетрясениям в этих районах были взяты из уточненного каталога ISC [International Seismological Centre, 2020].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Итоговыми результатами исследования являются два каталога (табл. 3, табл. 4). Первый каталог представляет собой непосредственно сводный уточненный и унифицированный каталог землетрясений для западного сектора Российской Арктики. Каталог содержит 125 землетрясений, зарегистрированных за период с 1908 по 2020 гг. В каталоге указаны параметры их гипоцентров и эллипсов ошибок, характеристики исходных данных и вычисленные и унифицированные магнитуды (табл. 3).

Второй каталог включает в себя землетрясения, которые в различных источниках отнесены к району исследования, но в процессе уточнения параметров очагов были приурочены к сейсмоактивным районам за пределами района исследования. Также землетрясения, для которых были обнаружены вступления сейсмических фаз на записях менее трех сейсмических станций, т.е. не соблюдалось требование к минимальному количеству станций. Во второй каталог также включены сейсмические события, которые с большой вероятностью имеют техногенную природу. В графе “Примечание” указаны причины нахождения каждого события в этом каталоге (табл. 4).

Второй каталог содержит 31 сейсмическое событие, среди них 19 землетрясений, эпицентры которых в разных источниках находились в пределах западного сектора Российской Арктики, но после процедуры уточнения были приурочены к сейсмоактивным районам за пределом западного сектора. В основном это районы хребта Гаккеля и

**Таблица 1.** Уравнения линий ортогональной регрессии и их параметры между магнитудами разных типов, вычисленными в международных и региональных сейсмологических Центрах

Уравнения линий ортогональной регрессии $y = ax + b$	Объем выборки $N$	Магнитудный диапазон выборки	Коэффициент корреляции $R$	Коэффициент детерминации $R^2$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$	Доверительные интервалы для параметров $a$ и $b$ ортогональной регрессии ( $y = ax + b$ )
Международные сейсмологические Центры						
$mb_{ISC} = 1.60mb_{IDC} - 2.06$	1795	$2.8 \leq mb_{IDC} \leq 5.9$ $2.6 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.93	0.86	$\sigma(mb_{IDC}) = 0.52$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.33$	$1.526 < a < 1.670$ $-2.341 < b < -1.804$
$mb_{ISC} = 1.13mb_{NEIC} - 0.75$	1389	$2.9 \leq mb_{NEIC} \leq 6.6$ $2.6 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.86	0.75	$\sigma(mb_{NEIC}) = 0.44$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.48$	$1.078 < a < 1.179$ $-0.975 < b < -0.532$
$mb_{ISC} = 1.13mb_{MOS} - 0.86$	816	$3.7 \leq mb_{MOS} \leq 6.7$ $3.0 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.89	0.78	$\sigma(mb_{MOS}) = 0.43$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.48$	$1.062 < a < 1.196$ $-1.186 < b < -0.564$
$mb_{ISC} = 1.07mb_{BII} - 0.67$	468	$3.9 \leq mb_{BII} \leq 6.6$ $3.7 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.73	0.53	$\sigma(mb_{BII}) = 0.38$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.39$	$0.990 < a < 1.156$ $-1.099 < b < -0.273$
$mb_{ISC} = 1.55mb_{EIDC} - 1.92$	604	$3.0 \leq mb_{EIDC} \leq 5.5$ $2.6 \leq mb_{ISC} \leq 5.9$	0.90	0.81	$\sigma(MS_{EIDC}) = 0.34$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.51$	$1.439 < a < 1.678$ $-2.399 < b < -1.490$
$mb_{ISC} = 0.88MS_{ISC} + 0.84$	1237	$2.4 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$ $2.8 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.80	0.64	$\sigma(MS_{ISC}) = 0.57$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.52$	$0.842 < a < 0.915$ $0.698 < b < 0.966$
$mb_{ISC} = 1.06MS_{IDC} + 0.23$	1070	$2.2 \leq MS_{IDC} \leq 6.4$ $2.8 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.76	0.58	$\sigma(MS_{IDC}) = 0.50$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.52$	$1.014 < a < 1.108$ $0.058 < b < 0.388$
$mb_{ISC} = 0.74MS_{MOS} + 1.49$	208	$3.5 \leq MS_{MOS} \leq 6.3$ $3.0 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.82	0.67	$\sigma(MS_{MOS}) = 0.52$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.41$	$0.657 < a < 0.831$ $1.094 < b < 1.871$
$MS_{ISC} = 1.08MS_{IDC} - 0.25$	1223	$2.6 \leq MS_{IDC} \leq 6.4$ $2.6 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.97	0.94	$\sigma(MS_{IDC}) = 0.47$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.51$	$1.027 < a < 1.132$ $-0.442 < b < -0.073$
$MS_{ISC} = 1.01MS_{NEIC} - 0.05$	86	$3.6 \leq MS_{NEIC} \leq 6.5$ $3.7 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.96	0.92	$\sigma(MS_{NEIC}) = 0.60$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.60$	$0.851 < a < 1.198$ $-0.924 < b < 0.691$
$MS_{ISC} = 1.02MS_{MOS} + 0.01$	230	$3.5 \leq MS_{MOS} \leq 6.3$ $3.5 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.96	0.92	$\sigma(MS_{MOS}) = 0.53$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.54$	$0.912 < a < 1.134$ $0.508 < b < 0.476$
$MS_{ISC} = 1.42MS_{BII} - 2.63$	385	$3.7 \leq MS_{BII} \leq 7.0$ $3.0 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.83	0.69	$\sigma(MS_{BII}) = 0.43$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.58$	$1.310 < a < 1.551$ $-3.240 < b < -2.075$
$MS_{ISC} = 1.19MS_{EIDC} - 0.62$	291	$2.7 \leq MS_{EIDC} \leq 6.0$ $2.4 \leq MS_{ISC} \leq 6.1$	0.93	0.86	$\sigma(MS_{EIDC}) = 0.50$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.59$	$1.080 < a < 1.307$ $-1.072 < b < -0.211$

Таблица 1. Продолжение

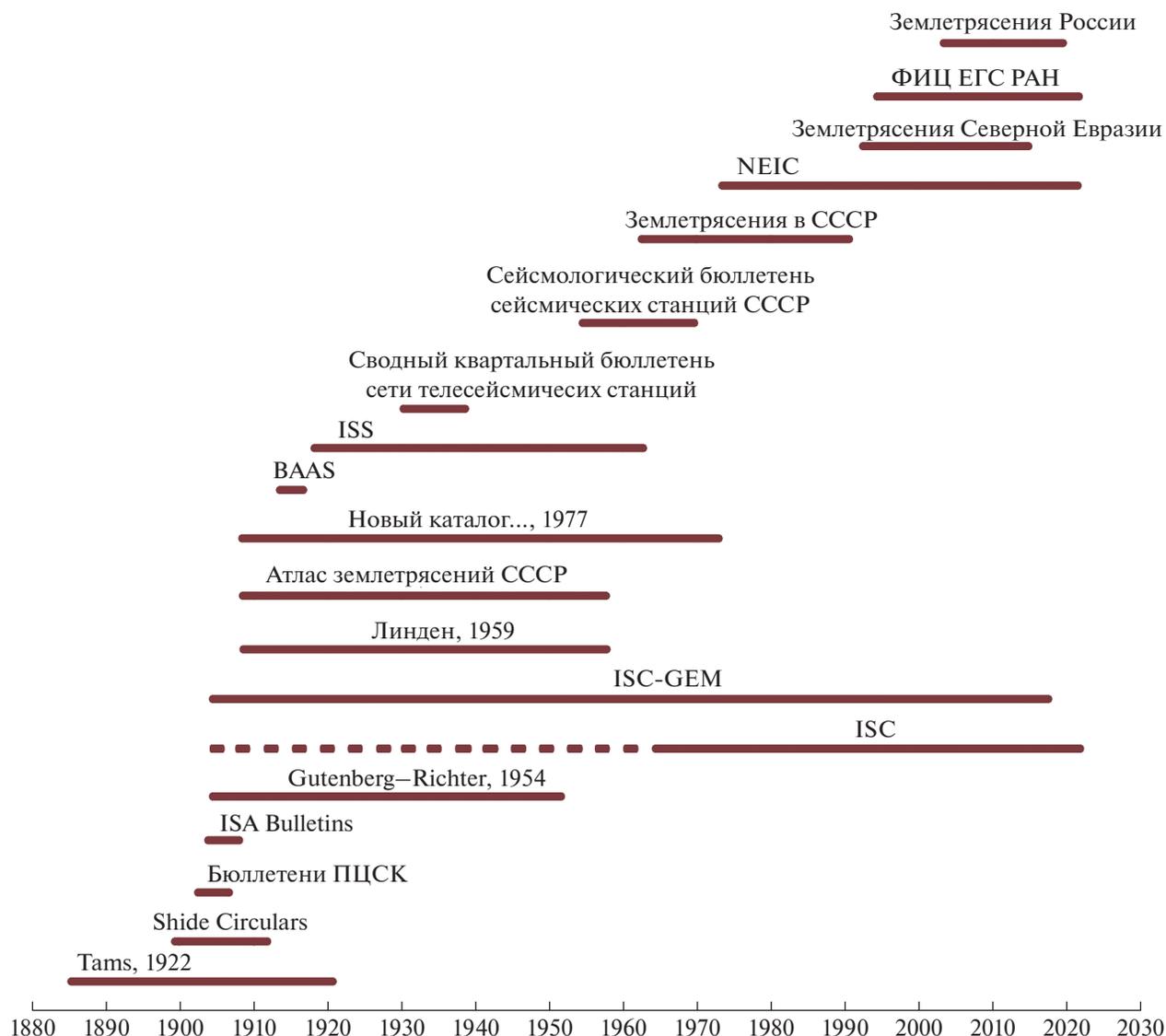
Уравнения линий ортогональной регрессии $y = ax + b$	Объем выборки $N$	Магнитудный диапазон выборки	Коэффициент корреляции $R$	Коэффициент детерминации $R^2$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$	Доверительные интервалы для параметров $a$ и $b$ ортогональной регрессии ( $y = ax + b$ )
$MS_{ISC} = 0.86MS_{CSEM} + 0.86$	44	$2.9 \leq MS_{CSEM} \leq 6.3$ $2.9 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.95	0.89	$\sigma(MS_{CSEM}) = 0.85$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.74$	$0.727 < a < 1.023$ $0.202 < b < 1.434$
$MS_{ISC} = 1.55mb_{NEIC} - 3.07$	941	$2.9 \leq mb_{NEIC} \leq 6.6$ $2.4 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.75	0.56	$\sigma(mb_{NEIC}) = 0.41$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.57$	$1.471 < a < 1.632$ $-3.447 < b < -2.726$
$MS_{ISC} = 1.67mb_{IDC} - 2.77$	897	$2.6 \leq mb_{IDC} \leq 6.4$ $3.0 \leq MS_{ISC} \leq 5.9$	0.78	0.61	$\sigma(mb_{IDC}) = 0.36$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.54$	$1.571 < a < 1.771$ $-3.166 < b < -2.404$
$MS_{ISC} = 0.69mb_{MOS} + 1.93$	642	$3.7 \leq mb_{MOS} \leq 6.7$ $2.4 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.85	0.73	$\sigma(mb_{MOS}) = 0.59$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.44$	$0.653 < a < 0.743$ $1.749 < b < 2.109$
Международные и региональные сейсмологические Центры						
$mb_{ISC} = 0.79mb_{NAO} + 1.05$	164	$2.6 \leq mb_{NAO} \leq 6.2$ $3.4 \leq mb_{ISC} \leq 5.9$	0.80	0.65	$\sigma(mb_{NAO}) = 0.60$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.50$	$0.705 < a < 0.889$ $0.635 < b < 1.422$
$mb_{ISC} = 0.94ML_{BER} + 1.19$	960	$1.3 \leq ML_{BER} \leq 5.7$ $2.6 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.60	0.36	$\sigma(ML_{BER}) = 0.58$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.56$	$0.919 < a < 0.956$ $1.136 < b < 1.242$
$mb_{ISC} = 1.45ML_{FCIAR} - 1.70$	219	$2.6 \leq ML_{FCIAR} \leq 6.3$ $2.8 \leq mb_{ISC} \leq 5.5$	0.55	0.30	$\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.41$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.51$	$1.344 < a < 1.573$ $-2.163 < b < -1.276$
$mb_{ISC} = 1.07ML_{HEL} + 0.01$	158	$2.2 \leq ML_{HEL} \leq 5.2$ $2.6 \leq mb_{ISC} \leq 5.7$	0.52	0.27	$\sigma(ML_{HEL}) = 0.56$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.58$	$1.002 < a < 1.145$ $0.273 < b < 0.268$
$mb_{ISC} = 1.02ML_{NAO} + 0.96$ (до 2009 г.)	436	$1.8 \leq ML_{NAO} \leq 5.9$ $2.8 \leq mb_{ISC} \leq 5.7$	0.54	0.29	$\sigma(ML_{NAO}) = 0.54$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.55$	$1.003 < a < 1.031$ $0.924 < b < 1.004$
$mb_{ISC} = 0.92ML_{NAO} + 0.44$ (после 2009 г.)	558	$2.3 \leq ML_{NAO} \leq 5.9$ $2.8 \leq mb_{ISC} \leq 6.4$	0.76	0.57	$\sigma(ML_{NAO}) = 0.56$ $\sigma(mb_{ISC}) = 0.53$	$0.872 < a < 0.980$ $0.231 < b < 0.631$
$mb_{NEIC} = 0.59ML_{FCIAR} + 2.08$	131	$2.9 \leq ML_{FCIAR} \leq 6.3$ $4.0 \leq mb_{NEIC} \leq 5.6$	0.61	0.38	$\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.46$ $\sigma(mb_{NEIC}) = 0.33$	$0.505 < a < 0.684$ $1.6967 < b < 2.426$
$mb_{MOS} = 0.65ML_{FCIAR} + 2.03$	77	$3.3 \leq ML_{FCIAR} \leq 6.3$ $4.2 \leq mb_{MOS} \leq 5.8$	0.72	0.52	$\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.48$ $\sigma(mb_{MOS}) = 0.35$	$0.521 < a < 0.788$ $1.426 < b < 2.567$
$MS_{ISC} = 1.12MS_{BER} - 0.02$	31	$2.4 \leq MS_{BER} \leq 5.9$ $3.0 \leq MS_{ISC} \leq 6.1$	0.72	0.52	$\sigma(MS_{BER}) = 0.66$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.72$	$1.012 < a < 1.244$ $-0.514 < b < 0.420$
$MS_{ISC} = 0.94ML_{FCIAR} - 0.21$	158	$2.9 \leq ML_{FCIAR} \leq 4.9$ $2.8 \leq MS_{ISC} \leq 4.9$	0.62	0.38	$\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.38$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.37$	$0.830 < a < 1.069$ $-0.705 < b < 0.229$

Таблица 1. Окончание

Уравнения линий ортогональной регрессии $y = ax + b$	Объем выборки $N$	Магнитудный диапазон выборки	Коэффициент корреляции $R$	Коэффициент детерминации $R^2$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$	Доверительные интервалы для параметров $a$ и $b$ ортогональной регрессии ( $y = ax + b$ )
$MS_{MOS} = 1.11ML_{FCIAR} - 0.57$	21	$3.7 \leq ML_{FCIAR} \leq 6.3$ $3.5 \leq MS_{MOS} \leq 5.6$	0.57	0.33	$\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.55$ $\sigma(MS_{MOS}) = 0.59$	$1.082 < a < 1.142$ $-0.703 < b < -0.434$
$MS_{IDC} = 0.91ML_{FCIAR} - 0.06$	247	$2.6 \leq ML_{FCIAR} \leq 6.3$ $2.7 \leq MS_{IDC} \leq 5.6$	0.61	0.37	$\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.46$ $\sigma(MS_{IDC}) = 0.43$	$0.830 < a < 0.988$ $-0.380 < b < 0.235$
$MS_{ISC} = 1.09mb_{NAO} - 0.55$	140	$3.0 \leq mb_{NAO} \leq 6.2$ $2.9 \leq MS_{ISC} \leq 6.1$	0.74	0.55	$\sigma(mb_{NAO}) = 0.58$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.62$	$0.983 < a < 1.199$ $-1.054 < b < -0.105$
$MS_{ISC} = 0.54ML_{NAO} + 1.87$	532	$2.0 \leq ML_{NAO} \leq 5.9$ $2.6 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.38	0.14	$\sigma(ML_{NAO}) = 0.72$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.56$	$0.472 < a < 0.611$ $1.639 < b < 2.098$
$MS_{ISC} = 0.99ML_{BER} + 0.77$	553	$1.3 \leq ML_{BER} \leq 5.7$ $2.6 \leq MS_{ISC} \leq 6.4$	0.66	0.43	$\sigma(ML_{BER}) = 0.61$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.60$	$0.960 < a < 1.024$ $0.669 < b < 0.862$
$MS_{ISC} = 0.98ML_{HEL} + 0.06$	106	$2.2 \leq ML_{HEL} \leq 5.2$ $2.8 \leq MS_{ISC} \leq 6.1$	0.59	0.35	$\sigma(ML_{NAO}) = 0.58$ $\sigma(MS_{ISC}) = 0.57$	$0.936 < a < 1.017$ $-0.099 < b < 0.217$
Региональные сейсмологические Центры						
$ML_{FCIAR} = 0.88ML_{BER} + 1.40$	283	$1.5 \leq ML_{BER} \leq 5.2$ $2.2 \leq ML_{FCIAR} \leq 6.3$	0.65	0.42	$\sigma(ML_{BER}) = 0.52$ $\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.48$	$0.816 < a < 0.946$ $1.238 < b < 1.558$
$ML_{FCIAR} = 0.65ML_{NAO} + 1.58$ (после 2009 г.)	424	$1.9 \leq ML_{NAO} \leq 5.8$ $2.0 \leq ML_{FCIAR} \leq 6.3$	0.67	0.44	$\sigma(ML_{NAO}) = 0.64$ $\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.48$	$0.616 < a < 0.690$ $1.464 < b < 1.694$
$ML_{FCIAR} = 0.92ML_{KOLA} + 1.37$ (после 2011 г.)	298	$1.3 \leq ML_{KOLA} \leq 4.4$ $2.3 \leq ML_{FCIAR} \leq 6.3$	0.45	0.20	$\sigma(ML_{KOLA}) = 0.46$ $\sigma(ML_{FCIAR}) = 0.45$	$0.909 < a < 0.937$ $1.336 < b < 1.405$
$ML_{BER} = 1.22ML_{NAO} - 0.52$ (до 2009 г.)	1191	$1.6 \leq ML_{NAO} \leq 5.9$ $0.9 \leq ML_{BER} \leq 5.7$	0.74	0.54	$\sigma(ML_{NAO}) = 0.48$ $\sigma(ML_{BER}) = 0.56$	$1.168 < a < 1.268$ $-0.656 < b < -0.399$
$ML_{BER} = 0.70ML_{NAO} + 0.32$ (после 2009 г.)	1395	$0.8 \leq ML_{NAO} \leq 5.9$ $0.8 \leq ML_{BER} \leq 5.7$	0.73	0.52	$\sigma(ML_{NAO}) = 0.67$ $\sigma(ML_{BER}) = 0.52$	$0.678 < a < 0.723$ $0.248 < b < 0.383$
$ML_{NAO} = 1.60ML_{KOLA} - 0.90$ (после 2009 г.)	198	$1.4 \leq ML_{KOLA} \leq 3.8$ $1.9 \leq ML_{NAO} \leq 5.2$	0.64	0.42	$\sigma(ML_{KOLA}) = 0.45$ $\sigma(ML_{NAO}) = 0.61$	$1.466 < a < 1.754$ $-1.273 < b < -0.566$
$ML_{BER} = 1.01ML_{KOLA} - 0.11$	108	$1.7 \leq ML_{KOLA} \leq 3.7$ $1.5 \leq ML_{BER} \leq 3.6$	0.87	0.75	$\sigma(ML_{KOLA}) = 0.42$ $\sigma(ML_{BER}) = 0.43$	$0.853 < a < 1.198$ $-0.567 < b < 0.242$

**Таблица 2.** Основные положения применяемого подхода к уточнению основных параметров (гипоцентр, магнитуда) землетрясений западного сектора Российской Арктики и его сравнение с ранее использованными

		Подход к уточнению основных параметров (гипоцентр, магнитуда) землетрясений	
		В ранних исследованиях на разных временных этапах	В настоящем исследовании
Исходные данные	<p>– Доступные исследователям бюллетени и исходные данные сейсмических станций;</p> <p>– <i>Shide Circulars</i> (1899–1912);</p> <p>– <i>ISA bulletins</i> (1895–1897, 1903–1908);</p> <p>– Бюллетени ПЦСК (1902–1907, 1911–1912);</p> <p>– <i>BAAS</i> (1913–1918);</p> <p>– <i>International Seismological Summary</i> (1918–1963);</p> <p>– Сводный квартальный бюллетень сети телсейсмических станций (1928–1939);</p> <p>– Копии записей Б. Гетенберга “<i>Gutenberg Noterads</i>” [Goodstein et al., 1980; Di Giacomo et al., 2015];</p> <p>– <i>BCIS bulletins</i> (1930–1971);</p> <p>– Бюллетень сети сейсмических станций СССР/Сейсмологический бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР (1940–1987);</p> <p>– Бюллетень <i>International Seismological Centre</i> (1964 – по настоящее время);</p> <p>– Бюллетень <i>NEIC</i> (1973 – по настоящее время);</p> <p>– Бюллетень <i>ФИЦ ЕГС РАН</i> (1994 – по настоящее время);</p> <p>– Международные и национальные фонды, объединения и программы, такие как <i>GEOFON</i>, <i>ORFEUS</i> и <i>IRIS</i></p>	<p><i>Для землетрясений, зарегистрированных в XIX веке</i></p> <p>1. Создан сводный электронный архив, содержащий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– бюллетени сейсмических станций из следующих источников:</li> <li>• Архивы проектов “Historical Seismogram Filming Project”, “USGS WWFC Pilot Scanning Project”, <i>ISC-GEM</i>, <i>EuroSeismos</i> и <i>IASPEI</i>;</li> <li>• Архив <i>ФИЦ ЕГС РАН</i>;</li> <li>• Архив <i>ГЦ РАН</i></li> <li>• Фонд Российской государственной библиотеки;</li> <li>• Архив д-ра Й. Швейцера (J. Schweitzer, University of Oslo) [Schweitzer, Lee, 2003];</li> <li>• Фрагменты бюллетеней из научных статей и монографий.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Shide Circulars</i> (1899–1912);</li> <li>• <i>ISA bulletins</i> (1895–1897, 1903–1908);</li> <li>• Бюллетени ПЦСК (1902–1907, 1911–1912);</li> <li>• <i>BAAS</i> (1913–1918);</li> <li>• <i>International Seismological Summary</i> (1918–1963).</li> </ul> <p>– Сведения о сейсмических станциях начала XX века.</p> <p>2. Привлекались данные:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Бюллетень сети сейсмических станций СССР/Сейсмологический бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР (1954–1970);</li> <li>– <i>Bulletin of the International Seismological Centre</i> (1964 – по настоящее время);</li> <li>– <i>NEIC bulletin</i> (1973 – по настоящее время);</li> <li>– Бюллетени <i>ФИЦ ЕГС РАН</i> (1994 – по настоящее время)</li> </ul>	<p><i>Для землетрясений, зарегистрированных в XXI веке</i></p> <p>1. Объединение исходных цифровых данных сейсмических станций, функционирующих в регионе, из следующих источников:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Международные и национальные фонды, объединения и программы, такие как <i>GEOFON</i>, <i>ORFEUS</i> и <i>IRIS</i>.</li> <li>– Архив <i>ФИЦКИА Уро РАН</i>.</li> <li>– Архив <i>ФИЦ ЕГС РАН</i>.</li> </ul> <p>2. Бюллетень <i>International Seismological Centre</i>;</p> <p>3. Бюллетень <i>ФИЦ ЕГС РАН</i>.</p> <p>4. Сводный бюллетень для Европейской Арктики за период с 1990 по 2013 г. [Schweitzer et al., 2021]</p>
Скоростная модель	<p>– модель Р. Олдхэма [Oldham, 1900];</p> <p>– <i>JB</i> [Jeffreys, Bullen, 1940];</p> <p>– <i>PREM</i> [Dziewonski, Anderson, 1981];</p> <p>– <i>iasp91</i> [Kennett, Engdahl, 1991];</p> <p>– <i>ak135</i> [Kennett et al., 1995; Kennett, 2005]</p>	<p>– <i>ak135</i> [Kennett et al., 1995; Kennett, 2005];</p> <p>– новые и апробированные региональные скоростные модели <i>BARENTS</i> [Kremenetskaia et al., 2001] и <i>NOES</i> [Морозов, Ваганов, 2007]</p>	<p>– <i>ak135</i> [Kennett et al., 1995; Kennett, 2005];</p> <p>– новые и апробированные региональные скоростные модели <i>BARENTS</i> [Kremenetskaia et al., 2001] и <i>NOES</i> [Морозов, Ваганов, 2007]</p>
Алгоритм локации	<p>Различные методы локации, применяемые в сейсмологии описаны в работах [Havskov, Ottentöller 2010; Karasözen, Karasözen, 2020].</p>	<p>Алгоритм локации программы <i>NAS</i> (New Association System) [Asming, Prokudina, 2016, Fedotov et al., 2019], в усовершенствованном виде реализующий метод Generalized beamforming [Ringdal, Kvaerna, 1989]</p>	<p>Алгоритм локации программы <i>NAS</i> (New Association System) [Asming, Prokudina, 2016, Fedotov et al., 2019], в усовершенствованном виде реализующий метод Generalized beamforming [Ringdal, Kvaerna, 1989]</p>
Оценка магнитуды	<p>– <i>ML</i> [Richter, 1935; 1958];</p> <p>– <i>m<sub>B</sub>/MS</i> по Б. Гутенбергу [Gutenberg, 1945];</p> <p>– <i>MS</i> [Ванек и др., 1962];</p> <p>– <i>MLH</i> [Новый каталог..., 1977];</p> <p>– <i>M<sub>w</sub></i> [Kanamori, 1977];</p> <p>– <i>MS<sub>vw</sub>/m<sub>v</sub></i> вв [Bortmann, Saul, 2008]</p>	<p>При отсутствии значений магнитуд, вычисленных в <i>ISC</i>, вычислялись магнитуды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>MS</i> по [Ванек и др., 1962];</li> <li>– <i>ML</i> [Richter, 1935; 1958]. Для региональных землетрясений западной сектора Российской Арктики проведено уточнение шкалы локальной магнитуды <i>ML</i> [Морозов и др., 2020]</li> </ul>	<p>При отсутствии значений магнитуд, вычисленных в <i>ISC</i>, вычислялись магнитуды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>MS</i> по [Ванек и др., 1962];</li> <li>– <i>ML</i> [Richter, 1935; 1958]. Для региональных землетрясений западной сектора Российской Арктики проведено уточнение шкалы локальной магнитуды <i>ML</i> [Морозов и др., 2020]</li> </ul>



**Рис. 3.** Список использованных источников для поиска информации о землетрясениях, зарегистрированных в западном секторе Российской Арктики.

архипелага Шпицберген. Для девяти землетрясений не обнаружено достаточного количества вступлений на сейсмических станциях. Для трех сейсмических событий 1974, 1978 и 1989 гг. в разделе “Примечание” указано, что они, вероятно, имеют техногенную природу. Уточненные эпицентры событий 1974 и 1978 гг. попадают в район полигона на архипелаге Новая Земля, а эпицентр события 1989 г. — в район крупного промышленного карьера на Кольском полуострове. Данный факт косвенно указывает на техногенный тип их источника.

Распределение количества землетрясений из уточненного каталога по годам представлено на рис. 4а. Отчетливо видно, что с начала XX в. и до 90-х годов регистрировались только единичные

сейсмические события в пределах района исследования. В период с 1990 по 2000 гг., несмотря на экономический кризис в России, закрытие одних сейсмических станций компенсировалось открытием новых и модернизацией действующих сейсмических станций [Старовой, 2005; Маловичко и др., 2007; Виноградов и др., 2012]. Общее количество отечественных и зарубежных сейсмических станций в регионе увеличивалось. С этими процессами и связано увеличение в этот период количества зарегистрированных землетрясений в западном секторе Российской Арктики.

Однако, более 60% всех землетрясений из каталога было зарегистрировано в период с 2012 по 2020 гг. Как уже отмечалось, в конце XX и в начале XXI века произошло существенное увеличение

Таблица 3. Итоговый сводный уточненный и унифицированный каталог землетрясений западного сектора Российской Арктики

№	Дата дд.мм.гггг	Время чч.мм.сс.с.	Гипоцентр			$N_{ст}/N_{фаз}$	Стар.° (Зона тени)	Диапазон эпицентр. расст., км	Эллипс ошибок			Магнитуда	Источник	Унифицированная магнитуда $m_b(ISC)$	Унифицированная магнитуда $M_S(ISC)$
			$\varphi$ , °	$\lambda$ , °	$h$ , км				AzMajor, °	$R_{минор}$ , км	$R_{мажор}$ , км				
1	14.10.1908	14:56:17.5	82.13	36.19	12f	17/26	330	2479–4911	100	87.0	193.0	Mw(ISC) = 6.6 MLH = 6.6	[Morozov et al., 2019]	6.3	6.6
2	19.10.1924	15:34:45.7	80.50	104.37	3f	5/7	180	3058–5795	80	72.7	119.1	MS = 5.6		5.8	5.6
3	02.06.1928	20:13:07.0	82.93	67.60	3f	3/5	292	2754–3960	30	134.0	258.0	MLH = 4.7		5.0	4.7
4	18.02.1948	20:29:49.3	82.46	41.50	10f	93/141	85	1918–7955	80	18.9	25.1	MLH = 6.3		6.2	6.3
5	26.09.1948	05:51:13.0	82.28	41.51	4f	11/12	174	2887–6790	80	41.5	106.1	MLH = 5.0		5.2	5.0
6	22.11.1948	23:32:49.2	82.31	42.27	5f	41/48	97	2493–6804	90	26.0	40.7	MLH = 5.2		5.3	5.2
7	08.10.1963	10:53:05.4	75.75	88.16	3f	11/14	253	2016–5421	160	38.9	110.2	MLH = 4.7		5.0	4.7
8	13.03.1967	21:44:08.2	82.30	40.74	3f	47/52	77	342–7060	100	12.3	21.8	mb(ISC) = 4.4		4.4	4.1
9	14.03.1967	07:50:18.1	82.33	40.12	(4) 0–36	84/94	63	349–8054	100	10.2	20.3	mb(ISC) = 4.7	[Morozov et al., 2018]	4.7	4.4
10	25.06.1975	10:14:58.4	82.42	39.54	3f	39/48	107	359–8059	100	11.8	30.1	mb(ISC) = 4.6		4.6	4.3
11	24.01.1976	19:09:28.7	83.35	68.61	(15) 0–50	10/10	227	1763–5368	120	25.7	265.8	mb(ISC) = 4.0	[Morozov et al., 2018]	4.0	3.6
12	07.08.1978	12:48:23.0	79.69	99.15	3f	52/56	83	771–7253	50	15.8	23.5	mb(ISC) = 4.6		4.6	4.3
13	07.08.1978	13:35:16.1	79.54	99.66	(10) 0–50	25/25	251	2183–5335	150	49.5	220.0	mb(ISC) = 4.3	[Morozov et al., 2018]	4.3	3.9
14	19.05.1986	13:52:34.3	75.50	111.28	3f	53/54	120	1280–7563	20	23.9	25.8	mb(ISC) = 4.7	[Morozov et al., 2018]	4.7	4.4
15	01.08.1986	13:56:40.1	73.05	56.01	(0) 0–16	52/64	11	1030–8430	160	11.0	15.4	mb(ISC) = 4.6	[Morozov et al., 2017]	4.6	4.3
16	26.04.1994	13:27:32.6	82.44	39.09	10f	10/11	215	–	117	13.3	24.7	mb(ISC) = 3.9	ISC Bulletin (PRIME)	3.9	3.5
17	01.02.1995	19:08:53.6	81.74	40.38	10f	11/12	212	–	107	12.1	27.7	mb(ISC) = 4.0	ISC Bulletin (PRIME)	4.0	3.6
18	04.03.1995	18:28:57.1	82.06	30.10	10f	19/22	203	–	99	14.5	17.0	mb(ISC) = 3.7	ISC Bulletin (PRIME)	3.7	3.3
19	11.04.1995	20:07:27.4	79.10	38.43	10f	17/18	114	–	127	11.9	15.2	mb(ISC) = 4.2	ISC Bulletin (PRIME)	4.2	3.8
20	11.06.1995	19:27:12.3	75.60	34.55	10f	10/15	233	–	72	9.6	30.7	ML(NAO, NEIC) = 2.8	ISC Bulletin (PRIME)	3.8*	3.4*
21	13.06.1995	19:22:38.2	75.22	56.72	2f	7/11	211	625–2350	60	17.2	33.4	mb(NAO) = 3.5		3.8	3.3
22	14.06.1995	12:24:52.1	70.44	31.63	10f	8/10	190	–	89	11.8	32.4	ML(NAO, NEIC) = 3.0	ISC Bulletin (PRIME)	4.0*	3.6*
23	04.07.1995	03:26:17.1	80.02	95.02	10f	107/114	84	–	123	8.1	11.2	mb(ISC) = 4.6 MS(ISC) = 3.5	ISC Bulletin (PRIME)	4.6	3.5
24	14.09.1996	19:29:43.5	75.54	110.42	10f	14/15	123	–	97	13.0	18.3	mb(ISC) = 4.1	ISC Bulletin (PRIME)	4.1	3.7
25	16.08.1997	02:11:00.2	72.47	58.02	(0) 0–25	28/41	202	331–2296	40	11.0	16.4	mb(NEIC) = 3.2 mb(NAO) = 3.5	[Morozov et al., 2017]	3.8	3.3

Таблица 3. Продолжение

№	Дата дд.мм.гггг	Время чч.мм.сс.с.	Гипоцентр			$N_{сг}/N_{фаз}$	Сар. <sup>о</sup> (Зона тени)	Диапазон эпипентр. расст., км	Эллипс ошибок			Магнитуда	Источник	Унифицированная магнитуда $m_b(ISC)$	Унифицированная магнитуда $M_s(ISC)$
			$\phi$ , <sup>о</sup>	$\lambda$ , <sup>о</sup>	$h$ , км				AzMajor, <sup>о</sup>	$R_{миног}$ , км	$R_{мажог}$ , км				
26	13.01.1998	17:59:56.4	80.56	36.63	5f	5/8	284	490–2369	40	25.8	48.4	ML(BER) = 3.0	ISC Bulletin (PRIME)	4.0	2.8
27	23.04.1998	17:46:46.9	75.58	33.86	10f	7/11	230	—	73	10.6	29.1	ML(BER) = 2.6	ISC Bulletin (PRIME)	3.6	3.3
28	19.09.1998	19:39:27.7	82.11	72.56	10f	8/10	132	—	47	12.9	18.3	mb(ISC) = 3.7	ISC Bulletin (PRIME)	3.7	3.3
29	22.06.1999	21:21:21.2	82.15	96.43	10f	4/4	214	—	157	20.6	118.8	mb(ISC) = 3.5	ISC Bulletin (PRIME)	3.5	3.0
30	23.02.2002	01:21:17.6	74.13	56.01	(0) 0–39	15/22	89	1034–3470	150	14.4	20.0	mb(IDC) = 3.1	ISC Bulletin (PRIME)	2.9	2.4
31	10.11.2002	11:04:36.4	70.46	49.51	1f	7/12	138	462–1285	170	11.7	19.2	ML(NAO) = 2.0	ISC Bulletin (PRIME)	2.3	1.7*
32	11.05.2003	10:33:21.1	79.71	32.54	10f	5/6	287	—	55	20.5	44.1	ML(NAO) = 3.0	ISC Bulletin (PRIME)	3.2	2.7*
33	08.10.2003	23:07:14.9	75.77	65.36	(5) 0–50	4/8	—	—	70	19.8	51.5	ML(NAO) = 2.6	ISC Bulletin (PRIME)	2.8	2.2*
34	20.01.2005	17:28:16.0	79.79	32.98	10f	10/17	288	—	21	11.8	20.4	ML(NAO) = 3.7	ISC Bulletin, NORSAR	3.8	3.4*
35	18.07.2005	21:09:28.0	79.97	31.66	10f	10/18	284	—	31	24.9	31.7	ML(CSEM) = 2.9	ISC Bulletin (PRIME)	—	—
36	18.07.2005	22:51:49.7	79.90	32.31	10f	10/15	283	—	31	22.8	32.3	ML(CSEM) = 3.8	ISC Bulletin (PRIME)	—	—
37	30.03.2006	10:46:02.1	70.68	52.88	(35) 0–50	—	—	—	110	19.0	40.0	ML(HEL) = 2.6	[Morozov et al., 2017]	2.8	2.6
38	16.12.2006	05:16:09.3	81.99	39.10	10f	15/16	207	—	144	15.6	19.7	mb(ISC) = 3.5	ISC Bulletin (PRIME)	3.5	3.0
39	28.03.2008	01:41:53.0	77.10	35.88	1f	3/6	265	281–896	70	14.7	32.7	ML(NAO) = 2.3	ISC Bulletin (PRIME)	2.6	2.0*
40	26.07.2008	01:46:04.4	80.11	31.21	1f	5/8	287	384–2083	40	19.6	34.8	ML(CSEM) = 3.1	ISC Bulletin (PRIME)	—	—
41	12.10.2008	13:30:02.4	82.71	32.72	10f	54/63	98	—	136	9.4	15.2	mb(ISC) = 3.8	ISC Bulletin (PRIME)	3.8	3.4
42	11.11.2009	04:18:20.4	71.53	47.04	1f	16/29	253	617–1495	120	16.1	28.2	ML(BER) = 2.7	ISC Bulletin (PRIME)	3.7	3.4
43	01.03.2010	19:04:58.6	80.01	31.60	10f	18/29	285	—	45	11.6	31.5	ML(BER) = 2.4	ISC Bulletin (PRIME)	3.5	3.2
44	31.08.2010	23:51:49.4	70.71	30.19	10f	5/—	315	—	0	3.0	3.1	ML(HEL) = 1.5	ISC Bulletin (PRIME)	—	—
45	11.10.2010	22:48:27.8	76.26	63.91	14	513/525	25	—	15	5.2	6.2	mb(ISC) = 4.7 MS(ISC) = 3.5	ISC Bulletin (PRIME)	4.7	3.5
46	11.01.2011	20:33:58.9	82.79	33.28	10f	26/40	128	—	128	10.6	15.2	mb(ISC) = 3.6	ISC Bulletin (PRIME)	3.6	3.1
47	02.04.2011	10:53:09.7	70.54	30.10	10f	—	—	—	0	7.9	34.8	ML(BER) = 1.3	ISC Bulletin (PRIME)	2.4	2.1
48	27.01.2012	09:05:45.7	81.87	36.49	5f	4/8	229	219–557	0	5.9	33.7	ML(AH) = 2.2	ISC Bulletin (PRIME)	1.5*	1.9*
49	08.04.2012	21:51:10.8	82.77	71.27	5f	3/6	333	438–1068	20	50.7	70.2	ML(AH) = 2.1	ISC Bulletin (PRIME)	1.4*	1.8*
50	29.04.2012	10:07:39.1	81.95	41.15	5f	4/8	206	180–2698	20	14.3	32.2	ML(AH) = 2.2	ISC Bulletin (PRIME)	1.5*	1.9*
51	07.12.2012	02:46:59.6	83.17	54.03	5f	6/12	304	263–1627	40	26.3	38.2	ML(AH) = 2.9	ISC Bulletin (PRIME)	2.5*	2.5*

Таблица 3. Продолжение

№	Дата дд.мм.гггг	Время чч.мм.сс.с.	Гипоцентр			$N_{сг}/N_{фаз}$	Сар. ° (Зона тени)	Диапазон эпицентр. расст., км	Эллипс ошибок			Магнитуда	Источник	Унифицированная магнитуда $m_b(ISC)$	Унифицированная магнитуда $M_S(ISC)$
			$\phi$ , °	$\lambda$ , °	$h$ , км				АзМажор, °	$R_{минор}$ , км	$R_{мажор}$ , км				
52	30.01.2013	09:53:12.2	80.52	32.35	5f	20/34	179	275–4111	170	11.1	16.7	ML(AH) = 3.4 MS(IDC) = 3.9 mb(IDC) = 3.5		3.5	4.0
53	30.01.2013	10:55:34.5	80.59	32.13	5f	7/13	182	279–1238	150	10.4	19.1	ML(AH) = 2.9		2.5*	2.5*
54	30.01.2013	14:53:58.8	80.21	33.24	5f	4/8	167	271–452	160	6.4	16.0	ML(AH) = 2.0		1.2*	1.7*
55	03.02.2013	20:55:34.9	81.93	36.58	5f	5/10	232	218–687	0	8.2	24.8	ML(AH) = 1.9		1.1*	1.6*
56	06.02.2013	03:54:56.9	80.53	32.38	5f	8/14	180	275–1238	160	10.1	18.6	ML(AH) = 2.8		2.4*	2.4*
57	21.03.2013	01:53:52.1	82.28	39.62	5f	3/6	249	206–613	10	9.3	39.7	ML(AH) = 1.4		–	–
58	01.04.2013	16:11:24.4	83.10	31.31	5f	5/10	261	336–742	170	8.9	26.3	ML(AH) = 2.9		2.5*	2.5*
59	07.04.2013	15:58:23.7	83.44	69.60	5f	9/15	216	431–4875	160	22.2	31.8	ML(AH) = 3.3 mb(ISC) = 3.6		3.6	3.1
60	25.05.2013	17:45:33.6	80.30	40.94	5f	4/8	196	134–595	160	5.2	39.3	ML(AH) = 2.0		1.2*	1.7*
61	21.09.2013	20:17:09.8	79.33	54.68	5f	3/5	309	228–942	100	16.8	34.8	ML(AH) = 3.1		2.8	2.7*
62	25.10.2013	01:25:55.5	79.99	41.00	5f	3/6	211	151–592	160	7.6	53.8	ML(AH) = 1.9		1.1*	1.6*
63	03.12.2013	09:22:35.3	82.23	40.76	5f	3/6	251	190–630	10	9.9	41.8	ML(AH) = 1.4		–	–
64	30.12.2013	18:47:52.1	80.10	36.13	5f	4/8	157	226–565	150	6.7	19.5	ML(AH) = 2.4		1.8*	2.1*
65	02.01.2014	06:38:17.5	79.80	33.95	5f	3/6	193	281–460	160	6.7	45.5	ML(AH) = 1.8		0.9*	1.5*
66	09.01.2014	05:28:52.9	80.31	32.63	5f	3/6	172	277–441	160	6.3	48.2	ML(AH) = 2.0		1.2*	1.7*
67	28.01.2014	01:24:27.8	82.15	40.42	5f	3/6	248	189–628	10	9.6	42.5	ML(AH) = 1.8		0.9*	1.5*
68	21.02.2014	22:22:32.7	80.35	32.66	5f	5/10	172	278–524	160	6.4	16.7	ML(AH) = 1.9		1.1*	1.6*
69	04.03.2014	04:42:34.4	74.58	58.32	(40) 0–50	9/16	174	578–2346	70	13.1	22.3	ML(AH) = 3.3		3.1	2.9
70	26.04.2014	19:51:05.0	81.46	67.65	5f	9/16	266	336–1296	50	14.5	31.2	ML(AH) = 2.7		2.2*	2.3*
71	06.05.2014	11:49:14.6	81.98	36.41	5f	4/8	247	228–651	170	7.4	26.4	ML(AH) = 2.0		1.2*	1.7*
72	10.05.2014	05:38:27.7	81.90	32.58	5f	5/10	229	278–515	170	6.1	30.2	ML(AH) = 2.4		1.8*	2.1*
73	27.05.2014	01:57:05.1	82.34	39.13	5f	5/10	250	218–705	10	8.1	24.8	ML(AH) = 1.8		0.9*	1.5*
74	10.11.2014	19:33:54.1	81.91	35.88	5f	5/10	230	229–637	170	6.6	21.9	ML(AH) = 1.5		–	–
75	13.11.2014	17:28:14.5	82.09	36.17	5f	6/11	237	233–693	0	6.6	22.1	ML(AH) = 1.8		0.9*	1.5*
76	12.01.2015	10:43:14.4	82.01	36.16	5f	7/14	235	229–686	170	5.7	20.1	ML(AH) = 2.1		1.4*	1.8*
77	19.03.2015	23:41:09.0	82.04	36.27	5f	6/11	236	230–692	0	6.4	21.4	ML(AH) = 2.1		1.4*	1.8*

Таблица 3. Продолжение

№	Дата дд.мм.гггг	Время чч.мм.сс.с.	Гипоцентр			$N_{сг}/N_{фаз}$	Сар. ° (Зона тени)	Диапазон эпипентр. расет., км	Эллипс ошибок			Магнитуда	Источник	Унифицированная магнитуда $m_b(ISC)$	Унифицированная магнитуда $M_S(ISC)$
			$\phi$ , °	$\lambda$ , °	$h$ , км				АзМажор, °	$R_{миног}$ , км	$R_{мажор}$ , км				
78	30.05.2015	10:30:35.7	82.55	33.44	5f	4/8	249	298–691	170	8.6	24.1	ML(AH) = 3.0		2.7	2.6*
79	23.09.2015	14:20:22.3	80.13	32.39	5f	5/10	150	290–702	150	7.0	17.2	ML(AH) = 3.0		2.7	2.6*
80	17.11.2015	17:08:32.2	81.79	36.11	5f	5/10	227	223–674	0	6.1	28.6	ML(AH) = 3.0		2.7*	2.6*
81	20.11.2015	15:43:18.8	71.33	31.72	12	10/–	196	–	0	8.6	33.8	ML(BER) = 2.1		3.2	2.8
82	08.01.2016	02:29:49.9	81.54	37.31	5f	4/8	218	192–613	170	8.1	25.2	ML(AH) = 2.0		1.2	1.7
83	22.02.2016	08:20:47.2	82.10	96.77	5f	15/23	110	795–3052	40	14.1	25.3	mb(ISC) = 3.4 ML(AH) = 3.2		3.4	2.9
84	03.04.2016	15:52:13.4	81.87	36.45	5f	6/12	230	219–679	0	5.9	23.1	ML(AH) = 2.1		1.4*	1.8*
85	24.05.2016	20:30:17.5	82.12	35.30	5f	6/12	237	250–689	170	6.2	23.2	ML(AH) = 2.5		1.9*	2.1*
86	02.07.2016	08:26:29.9	82.91	35.15	5f	8/16	259	299–1493	0	9.1	23.9	ML(AH) = 3.0		2.7	2.6*
87	06.07.2016	07:13:41.1	81.70	36.12	5f	5/9	223	217–620	170	6.4	23.3	ML(AH) = 2.1		1.4*	1.8*
88	01.08.2016	10:33:47.3	82.15	38.12	5f	6/12	242	214–720	0	7.2	23.6	ML(AH) = 2.5		1.9*	2.1*
89	17.10.2016	18:36:34.9	80.70	37.18	5f	12/24	180	187–1278	160	5.7	14.6	ML(AH) = 3.1		2.8	2.7*
90	29.11.2016	01:55:56.3	80.45	69.84	5f	4/7	198	401–1087	10	7.5	76.5	ML(AH) = 3.1		2.8	2.7*
91	11.01.2017	07:43:05.5	78.01	96.61	10f	20/28	121	–	117	7.6	10.0	mb(ISC) = 3.4	ISC Bulletin (PRIME)	3.4	2.9
92	16.01.2017	08:13:10.0	81.96	36.28	10f	4/7	246	221–631	170	7.1	27.9	ML(AH) = 2.1		1.4	1.8
93	02.02.2017	12:20:07.3	81.74	36.13	5f	4/7	225	222–626	0	7.9	35.0	ML(AH) = 2.1		1.4	1.8
94	23.03.2017	07:29:42.1	76.46	30.22	23	4/–	–	–	–	–	–	ML(BER) = 1.4	ISC Bulletin	3.5	2.2
95	02.05.2017	13:35:42.0	75.31	58.05	(25) 0–50	3/6	183	631–1071	70	11.3	40.9	ML(AH) = 3.4		3.2	3.0
96	18.01.2018	23:38:11.4	82.89	71.23	5f	4/8	200	433–1072	0	9.8	46.3	ML(AH) = 3.1		2.8	2.7*
97	27.01.2018	02:12:57.9	73.77	55.65	(32) 0–50	18/–	–	–	40	10.3	11.5	ML(AH) = 3.8 mb(IDC) = 3.3		3.2	2.7
98	04.03.2018	16:20:34.9	82.25	31.66	5f	4/7	253	299–640	160	8.2	28.5	ML(AH) = 2.1		1.4*	1.8*
99	09.03.2018	00:44:13.9	83.44	33.78	5f	3/5	329	610–780	160	40.3	40.7	ML(AH) = 2.2		1.5*	1.9*
100	17.03.2018	22:24:59.7	82.57	73.60	5f	13/19	115	445–7716	10	10.7	39.2	ML(AH) = 3.4 mb(ISC) = 3.6		3.6	3.1
101	27.03.2018	11:27:42.2	82.59	83.35	5f	9/14	128	483–7828	20	10.9	31.5	ML(AH) = 3.3 mb(ISC) = 3.3		3.3	2.8
102	16.06.2018	06:49:10.0	82.62	34.50	5f	4/8	251	290–592	0	7.5	33.0	ML(AH) = 2.5		1.9*	–
103	26.06.2018	21:59:26.2	81.69	36.36	5f	4/8	223	211–543	0	5.7	34.8	ML(AH) = 2.3		1.6*	2.0*

Таблица 3. Окончание

№	Дата дд.мм.гггг	Время чч:мм:сс.	Гипоцентр			$N_{ст}/N_{фаз}$	Сар.° (Зона тени)	Диапазон эпицентр. расст., км	Эллипс ошибок			Магнитуда	Источник	Унифицированная магнитуда $m_b(ISC)$	Унифицированная магнитуда $M_S(ISC)$
			$\phi$ , °	$\lambda$ , °	$h$ , км				AzMajor, °	$R_{minor}$ , км	$R_{major}$ , км				
104	29.09.2018	08:18:45.6	82.27	39.62	5f	5/8	237	188–669	10	2.4	22.2	ML(AH) = 2.4	Источник	1.8*	2.1*
105	23.01.2019	14:49:20.9	83.78	31.27	5f	21/30	88	404–4306	150	8.1	13.8	ML(AH) = 3.1 $m_b(ISC) = 3.4$		3.4	2.9
106	28.01.2019	20:45:10.7	74.81	59.39	(33) 0–50	9/17	132	714–1307	170	13.4	15.5	ML(AH) = 3.5		3.4	3.1
107	10.02.2019	19:11:10.4	81.83	29.86	5f	10/17	196	323–1377	160	6.6	17.5	ML(AH) = 2.9		2.5*	2.5*
108	07.05.2019	10:02:16.7	82.95	65.16	5f	5/10	199	358–1027	0	9.6	36.9	ML(AH) = 3.0		2.7	2.6*
109	21.05.2019	03:45:11.5	75.51	110.47	10f	687/585	25	—	29	4.5	5.9	$m_b(ISC) = 4.8$ MS(ISC) = 3.9	ISC Bulletin (PRIME)	4.8	3.9
110	14.06.2019	18:17:33.4	82.53	36.28	5f	17/21	243	578–4626	160	17.0	44.4	ML(AH) = 3.7 $m_b(ISC) = 3.4$		3.4	2.9
111	22.10.2019	01:16:54.8	83.85	45.59	5f	3/6	354	790–918	—	—	—	ML(AH) = 2.1		1.4*	1.8*
112	02.12.2019	09:54:08.9	80.50	32.34	5f	4/8	196	277–531	160	5.3	47.1	ML(AH) = 2.8		2.4*	2.4*
113	08.12.2019	23:25:53.5	82.25	40.15	5f	3/6	262	198–629	10	8.2	33.5	ML(AH) = 2.0		1.2*	1.7*
114	05.01.2020	06:39:52.8	82.95	49.91	5f	3/6	303	232–785	40	15.7	31.0	ML(AH) = 2.3		1.6*	2.0*
115	17.02.2020	17:06:23.1	74.56	56.39	(26) 0–50	9/17	145	568–1280	50	11.1	15.4	ML(AH) = 3.4		3.2	3.0
116	04.03.2020	17:23:25.4	81.63	37.63	5f	4/8	235	184–672	170	6.3	36.2	ML(AH) = 2.4		1.8*	2.0
117	06.03.2020	20:00:21.0	82.83	44.25	5f	4/8	286	232–833	20	11.3	31.3	ML(AH) = 2.5		1.9*	2.1
118	07.05.2020	06:11:11.0	82.38	70.44	5f	3/6	210	403–638	0	7.9	109.1	ML(AH) = 3.1		2.8	2.7*
119	18.06.2020	13:34:10.6	82.03	36.32	5f	4/8	248	229–654	170	7.5	25.6	ML(AH) = 2.3		1.6*	2.0*
120	22.06.2020	21:39:28.2	79.94	33.02	5f	4/8	174	288–421	150	5.1	20.3	ML(AH) = 2.0		1.2*	1.7*
121	27.06.2020	00:23:11.7	82.62	35.87	5f	7/14	207	275–1131	160	8.2	19.9	ML(AH) = 3.6		3.5	3.2
122	07.08.2020	20:59:14.0	82.66	61.80	5f	3/5	331	301–968	150	46.5	58.2	ML(AH) = 2.6		2.1*	2.2*
123	23.08.2020	03:26:22.2	73.50	54.76	(32) 0–50	12/—	156	490–1540	80	11.3	14.9	ML(AH) = 3.6		3.5	3.2
124	30.10.2020	14:13:10.0	83.67	32.87	5f	3/6	284	389–808	170	17.0	40.5	ML(AH) = 3.2		2.9	2.8*
125	30.10.2020	15:11:42.4	83.63	32.74	5f	5/10	280	385–802	170	14.0	32.3	ML(AH) = 3.3		3.1	2.9

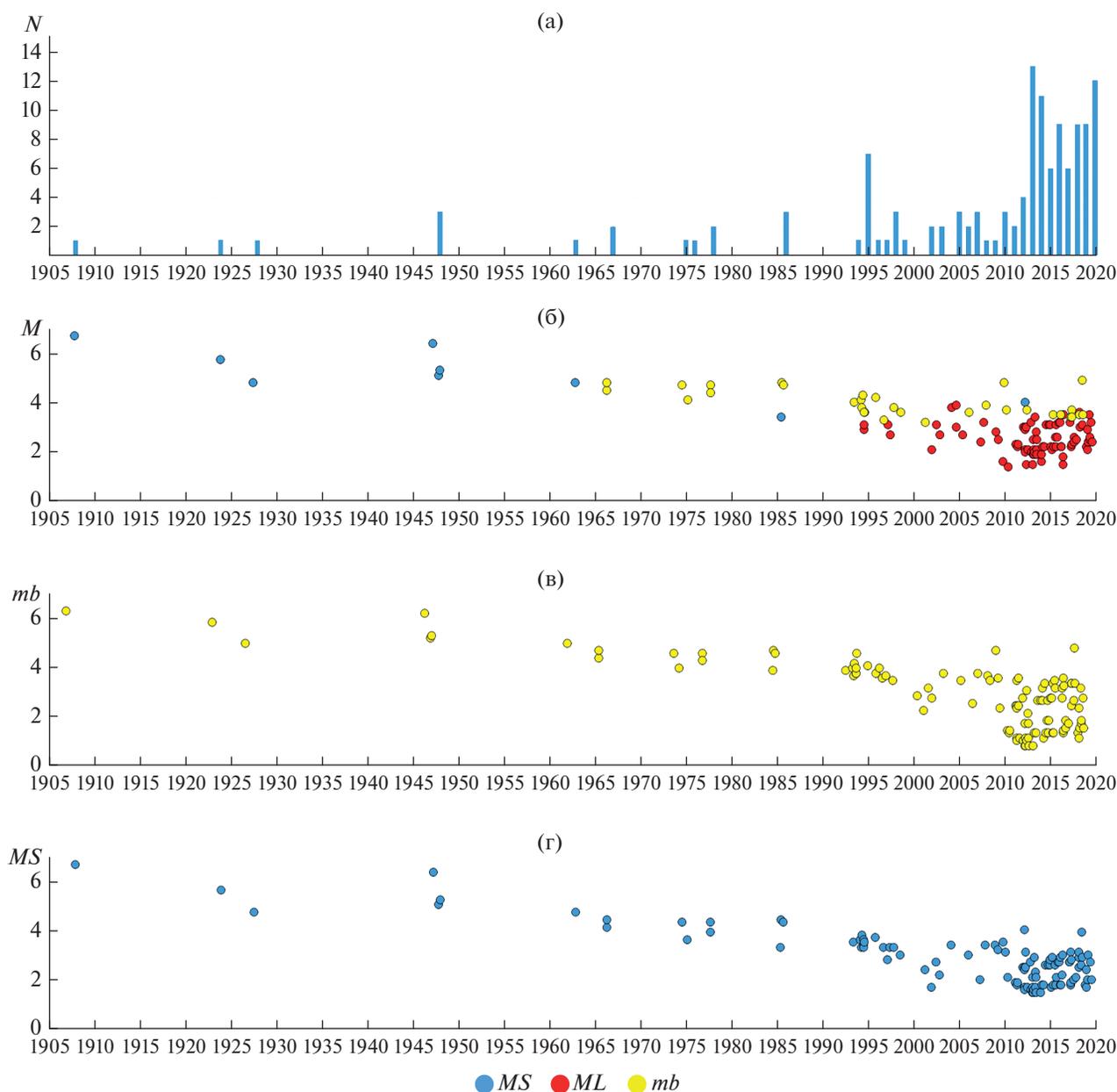
\* Использовалось корреляционное соотношение между магнитудами с коэффициентами детерминации  $R^2$  ниже 0.3, либо значение исходной магнитуды находилось за пределом диапазона магнитуд, при котором было получено данное соотношение. Т.е. полученное значение магнитуды не может считаться надежно определенным.

Таблица 4. Каталог сейсмических событий, исключенных из итогового сводного каталога западного сектора Российской Арктики

№	Дата дд.мм.гггг	Время чч.мм.сс.0	Гипоцентр			$N_{ст}/N_{фаз}$	Сар. <sup>о</sup> (Зона тени)	Диапазон эпицентр. расст., км	Эллипс ошибок			Магнитуда	Источник	Примечание
			$\varphi$ , <sup>о</sup>	$\lambda$ , <sup>о</sup>	$h$ , км				Аз:Мажор, <sup>о</sup>	$R_{минор}$ , км	$R_{мажор}$ , км			
1	13.04.1912	02:39:45.9	85.05	94.93	5f	6/8	325	3127–4460	10	181.0	270.3	$M_S = 5.1$	[Mogozov et al., 2021]	Хребет Гаккеля
2	24.09.1922	12:25:57.0	81.03	129.34	5f	6/7	349	4333–4994	40	383.7	884.8	–	[Mogozov et al., 2021]	Хребет Гаккеля Неточно
3	11.11.1923	14:00:32.8	84.66	104.75	10f	2/3	–	3205–3240	40	266.0	393.0	$M(MOS) = 5.2$		Хребет Гаккеля Неточно
4	27.03.1928	17:46:14.1	85.18	141.00	(0) 0–50	4/4	283	3509–3874	80	134.4	565.1	–	[Mogozov et al., 2018]	Хребет Гаккеля
5	04.03.1956	03:18:16.4	83.83	112.14	(15) 0–50	14/15	231	2322–7222	140	34.3	81.0	–	[Mogozov et al., 2018]	Хребет Гаккеля
6	11.01.1962	12:32:30.5	79.64	23.40	(0) 0–50	5/8	344	1125–2118	80	61.7	242.3	–	[Mogozov et al., 2018]	Архипелаг Шпицберген
7	22.06.1962	07:47:05.5	79.94	23.98	(0) 0–50	8/14	334	1131–2146	80	44.0	96.3	–	[Mogozov et al., 2018]	Архипелаг Шпицберген
8	04.08.1963	18:42:28.2	69.18	23.97	(0) 0–50	4/4	284	197–947	10	14.5	213.4	–	[Mogozov et al., 2018]	Север Скандинавии
9	19.08.1967	16:27:53.7	77.77	19.01	(0) 0–50	7/14	333	909–1551	80	40.3	70.4	–	[Mogozov et al., 2018]	Архипелаг Шпицберген
10	20.08.1967	11:31:45.5	85.07	86.66	(5) 0–50	6/6	318	2037–6398	150	160.7	180.7	$M(LAO) = 3.7$	[Mogozov et al., 2018]	Хребет Гаккеля
11	31.03.1968	03:03:58.1	84.89	3.25	(0) 0–50	9/9	193	783–2733	50	15.6	82.8	$M(LAO) = 3.9$	[Mogozov et al., 2018]	Хребет Гаккеля
12	06.05.1970	07:10:32.8	75.76	25.36	(0) 0–50	9/14	312	674–1438	70	34.7	56.9	–	[Mogozov et al., 2018]	Западная часть шельфа Баренцева моря
13	16.05.1970	13:20:01.2	79.60	19.02	(0) 0–50	4/5	347	1353–2602	110	82.3	327.4	–	[Mogozov et al., 2018]	Архипелаг Шпицберген
14	27.02.1972	10:09:22.6	86.74	69.16	5f	6/6	224	2351–5154	120	40.5	471.6	–	[Mogozov et al., 2021]	Хребет Гаккеля
15	12.12.1974	21:19:39.7	70.83	53.76	(0) 0–40	16/23	220	790–7020	20	19.5	24.6	$mb(ISC) = 4.3$	[Mogozov et al., 2017, 2018]	Вероятно техногенное событие
16	03.03.1975	05:45:01.7	84.58	100.73	(0) 0–50	9/9	220	2015–6359	150	36.3	141.3	$mb(ISC) = 4.1$	[Mogozov et al., 2018]	Хребет Гаккеля
17	11.12.1975	05:32:15.0	72.00	45.00	–	–	–	–	–	–	–	–	ISC Bulletin	Вступления от телсейсмического землетрясения: 05:16:10.8; – 11.26/166.02; $mb(ISC) = 5.1$

Таблица 4. Окончание

№	Дата дд.мм.гггг	Время чч.мм.сс.0	Гипоцентр			$N_{сг}/N_{фаз}$	Сар.° (Зона тени)	Диапазон эпицентр. расст., км	Эллипс ошибок			Магнитуда	Источник	Примечание
			φ, °	λ, °	h, км				Az Major, °	R <sub>миног</sub> , км	R <sub>мајог</sub> , км			
18	27.05.1977	17:50:37.0	77.00	30.00	—	—	—	—	—	—	—	ISC Bulletin	Не обнаружены всгупления от этого события	
19	15.11.1978	08:30:01.7	73.44	54.69	(0) 0–50	6/10	336	980–2170	160	43.8	93.5	[Morozov et al., 2017, 2018]	Вероятно техногенное событие	
20	23.04.1986	04:29:53.0	74.50	111.50	3f	4/6	347	545–761	30	39.3	121.9	—	Район полуострова Таймыр	
21	29.10.1988	02:12:23.0	76.80	31.60	—	—	—	—	—	—	—	ISC Bulletin	Недостаточно данных для уточнения	
22	09.12.1989	12:55:55.3	69.32	30.30	(0) 0–50	6/11	312	283–1286	50	27.5	32.0	[Morozov et al., 2018]	Вероятно техногенное событие	
23	31.12.1992	09:29:24.0	73.61	55.18	0f	—	—	—	—	—	—	[Ringdal, 1997]	Недостаточно данных для уточнения	
24	10.06.1995	18:45:30.3	75.70	37.09	0	—	—	—	—	—	—	ISC Bulletin	Недостаточно данных для уточнения	
25	17.06.1995	12:51:50.2	76.12	30.35	0	—	—	—	—	—	—	ISC Bulletin	Недостаточно данных для уточнения	
26	13.01.1996	17:17:23.0	75.13	56.73	0f	—	—	—	—	—	—	[Ringdal, 1997]	Недостаточно данных для уточнения	
27	29.01.1998	02:38:56.8	80.70	28.87	5f	3/6	298	368–1237	30	25.3	44.9	—	Восточнее архипелага Шпицберген	
28	02.04.1998	10:46:06.9	81.85	27.18	5f	3/6	314	457–1373	20	34.5	44.7	—	Севернее архипелага Шпицберген	
29	15.08.2003	14:24:45.5	79.49	32.14	—	2/3	—	—	—	—	—	ISC Bulletin	Недостаточно данных для уточнения	
30	15.01.2005	21:14:08.0	78.59	30.73	15	2/4	—	—	—	—	—	ISC Bulletin	Недостаточно данных для уточнения	
31	11.06.2010	16:46:25.6	70.81	49.42	0	—	—	—	—	—	—	ISC Bulletin	Недостаточно данных для уточнения	
32	24.12.2016	08:24:46.6	83.54	114.33	5f	5/6	175	512–6928	110	33.6	61.6	—	Хребет Гаккеля	



**Рис. 4.** Распределение землетрясений из созданного сводного уточненного и унифицированного каталога землетрясений западного сектора Российской Арктики: (а) — по годам; (б) — по магнитудам  $mb$ ,  $MS$  и  $ML$ ; (в) — по унифицированной магнитуде  $mb$ ; (г) — по унифицированной магнитуде  $MS$ .

количества российских и зарубежных сейсмических станций в Евразийской Арктике, оснащенных современной высокочувствительной аппаратурой, что сказалось на уменьшении порога регистрации землетрясений для отдельных районов Арктики. В частности, с 2010 г. начинает разворачиваться арктическая часть Архангельской сейсмической сети (код сети АН, DOI: <https://doi.org/10.7914/SN/АН>), станции которой в настоящий момент функционируют на архипелагах Земля Франца-Иосифа, Северная Земля и побережье Карского моря. Ак-

тивно развивалась сеть арктических станций Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Сотрудниками Центрального отделения ФИЦ ЕГС РАН в 2017 г. установлены три сейсмические станции на полуострове Ямал: Бованенково (BVNN), Сабетта (SBTT) и Харасавэй (HRSV) [Виноградов, Пятунин, 2017]. Сотрудникам Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН удалось модернизировать существующие и установить новые станции на севере Якутии, доведя их количество до уровня конца 80-х г.

Распределение по типам магнитуд и их значениям в зависимости от времени показано на рис. 4б. Для первой половины XX века землетрясения в каталоге оценены магнитудами  $MLH$ , которые приравниваются к значениям  $MS(MOS)$ , вычисленным в ФИЦ ЕГС РАН [Расчет..., 2022], а значения  $MS(MOS)$ , в свою очередь, практически аналогичны значениям  $MS(ISC)$ , вычисленным в  $ISC$  [Petrova, Gabsatarova, 2020]. С конца 60-х годов землетрясения в каталоге оценены магнитудами  $mb(ISC)$ . А с середины 90-х годов в связи с развитием региональных сетей преобладают магнитудные оценки  $ML$ .

Рисунок 4б хорошо иллюстрирует регистрационные возможности сейсмических станций, функционирующих в разные периоды времени. Практически до 90-х годов в пределах западного сектора Российской Арктики регистрировались только сильные землетрясения с магнитудами  $MS$  и  $mb$  не ниже 4.0. Начиная с 90-х г. регистрируются землетрясения с магнитудами  $ML$  не ниже 2.0. А после 2010 г., в связи со значительным увеличением количества стационарных сейсмических станций в регионе, землетрясения регистрируются с магнитудами  $ML$  не ниже 1.3.

В качестве унифицированной магнитуды в сводном каталоге выступают магнитуды  $mb(ISC)$  и  $MS(ISC)$  (рис. 4в, 4г). Значения унифицированной магнитуды  $mb(ISC)$  являются более предпочтительными для дальнейших использований, т.к. для значительной части землетрясений они уже были вычислены непосредственно по исходным данным, а при вычислении остальных значений использовалось меньшее количество соотношений с невысокими значениями коэффициента детерминации ( $R^2$ ). Однако, 45 определений унифицированной магнитуды  $mb(ISC)$  в итоговом каталоге были получены с использованием корреляционных соотношений с коэффициентом детерминации  $R^2$  ниже 0.3, либо значения исходных магнитуд находились за пределом диапазона магнитуд, при котором были получены данные соотношения. Для унифицированной магнитуды  $MS(ISC)$  таких соотношений 57. Эти определения относятся в основном к низкомagnitude землетрясениям, зарегистрированными в зоне перехода “континент–океан”. Эти определения отмечены звездочками в табл. 3 и рассматриваются как ненадежные.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В пределах западного сектора Российской Арктики наибольшая сейсмичность проявляется в пределах зоны перехода “континент–океан” и о. Белый, архипелагов Новая Земля и Северная Земля (рис. 5). Сам шельф Баренцева и Карского морей характеризуется редкой и рассеянной сей-

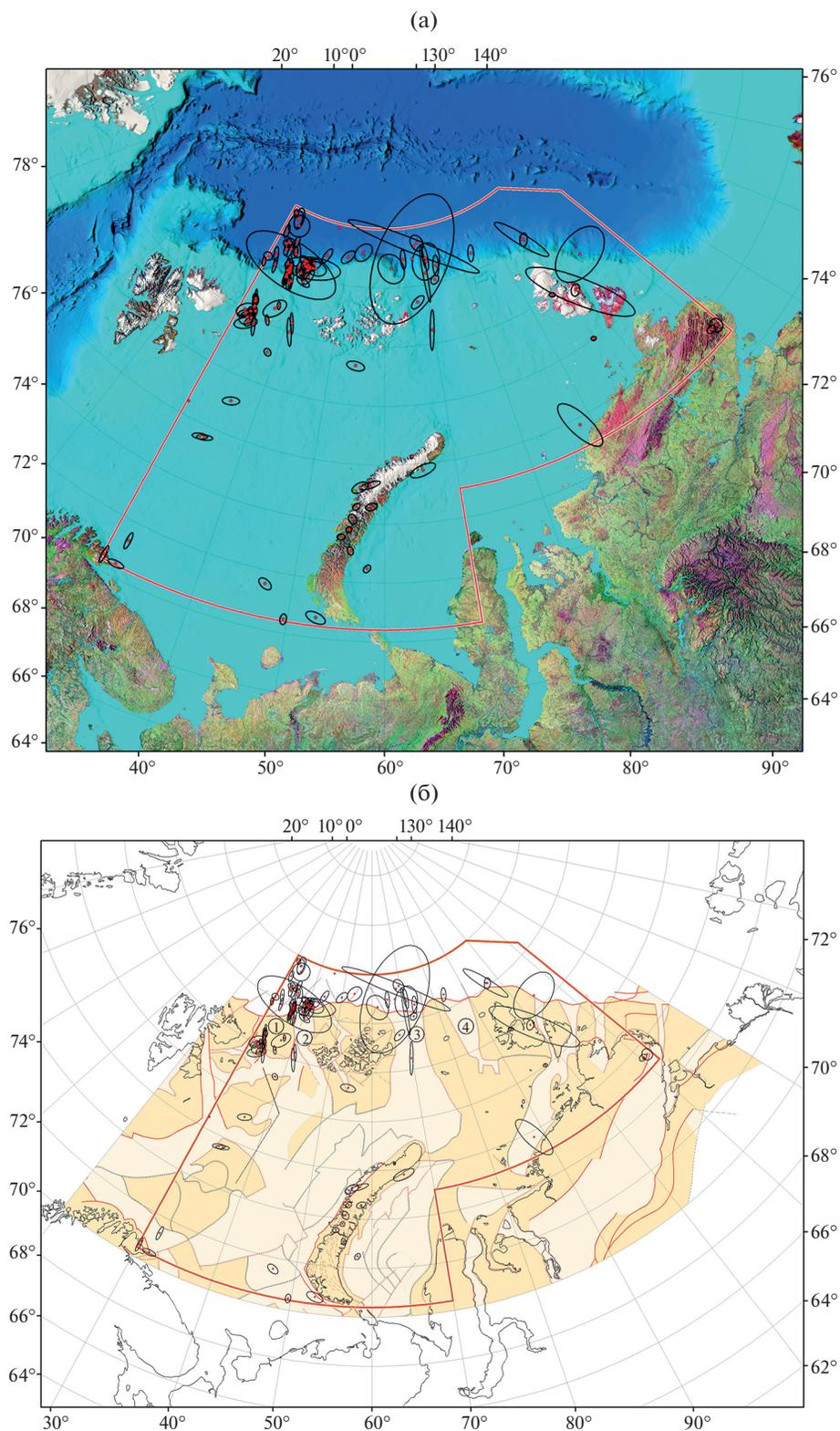
смичностью. Также в район исследования попадают фрагменты сейсмичности полуострова Таймыр и севера Фенноскандии. Ниже приведен анализ сейсмичности для конкретных сейсмоактивных районов.

### Зона перехода “континент–океан”

В пределах зоны перехода “континент–океан” зарегистрировано наибольшее количество землетрясений (более 70%) и самые сильные по магнитуде землетрясения. Землетрясение с магнитудой  $M_w(ISC) = 6.6$ , произошедшее 14 октября 1908 г., было сильнейшим в этом районе за весь период наблюдений. Эпицентр находился в устье грабена Франц-Виктория, западнее архипелага Земля Франца-Иосифа (рис 5б). 18 февраля 1948 г. в районе устья грабена Франц-Виктория произошло второе сильное землетрясение с магнитудой  $MLH = 6.3$ . В этом же году произошло еще два сильных землетрясения: 26 сентября с магнитудой  $MLH = 5.0$  и 22 ноября с  $MLH = 5.2$ . Следующая активизация произошла 13 и 14 марта 1967 г., когда произошли два землетрясения с магнитудами  $MLH = 4.4$  и  $4.7$ . В дальнейшем в этом районе происходили землетрясения с магнитудами значительно меньшими, чем в первой половине XX в. (табл. 3). При этом большая часть землетрясений в пределах зоны перехода “континент–океан” была зарегистрирована в период с 2012 по 2020 г., вследствие, как уже отмечалось, существенного увеличения количества российских и зарубежных сейсмических станций в Евразийской Арктике (рис. 6).

Главной особенностью распределения эпицентров землетрясений зоны перехода “континент–океан” является ее неравномерность в пространстве. Прослеживается четкая приуроченность эпицентров к отрицательным морфоструктурам континентального склона – желобам (грабенам) и положительным – поднятиям (рис. 5б). Большая часть зарегистрированных землетрясений приходится на желобы Франц-Виктория и Св. Анны. В районе самих желобов эпицентры землетрясений также расположены неравномерно. Желоб Франц-Виктория является одним из основных (после архипелага Шпицберген) сейсмически активных районов в Баренцево-Карского регионе.

В районе желоба Франц-Виктория эпицентры землетрясений тяготеют к нескольким его частям. Большинство эпицентров располагаются в устьевой части грабена, непосредственно у континентального склона, и на границе грабена с поднятием Белый и Виктория, в его северной и южной частях. Сейсмическая активность наблюдается также в пределах самого восточного о. Белый архипелага Шпицберген, который также относится к поднятию Белый и Виктория. В частности, в рай-



**Рис. 5.** Батиметрическая (а) и тектоническая (б) по [Атлас..., 2004] карты с обозначением эпицентров землетрясений из созданного сводного уточненного и унифицированного каталога землетрясений западного сектора Российской Арктики. Цифрами на тектонической карте обозначены: 1 – поднятие Белый и Виктория; 2 – желоб Франц Виктория; 3 – желоб Святой Анны; 4 – желоб Воронина.

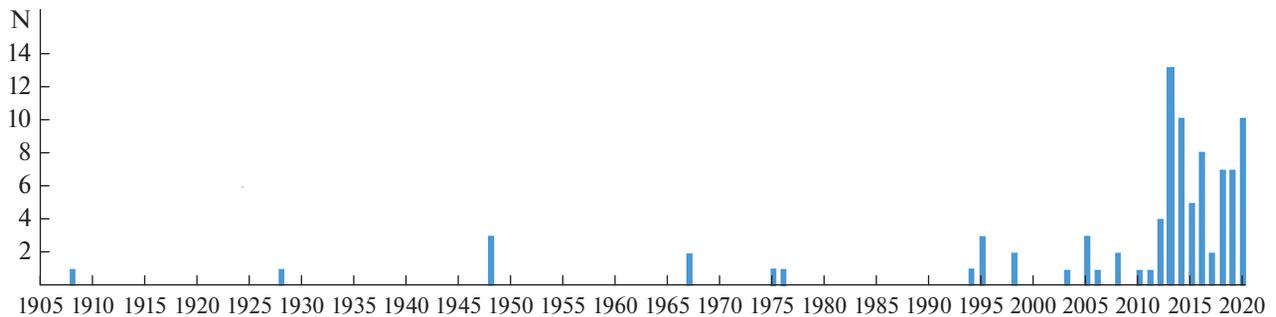


Рис. 6. Распределение землетрясений по годам из созданного сводного уточненного и унифицированного каталога землетрясений для зоны перехода “континент–океан”.

оне о. Белый 30 января 2013 г. произошло землетрясение магнитудой  $ML(АН) = 3.4$ . После этого землетрясения в течение пяти часов было зарегистрировано шесть землетрясений, которые вероятнее всего являются его афтершоками. В пределах района исследования это одно из двух землетрясений в течение всего инструментального периода, для которого были зарегистрированы афтершоки.

Эпицентры землетрясений, зарегистрированных в районе желоба Св. Анны, также тяготеют к его широкой устьевой части в районе континентального подножия. Часть эпицентров слабых землетрясений располагаются напротив устьевой части желоба Святой Анны. Эпицентры землетрясений также приурочены и к центральной части желоба. Количество и магнитуда зарегистрированных землетрясений также может свидетельствовать о сейсмической активности желоба.

Западнее архипелага Северная Земля расположен желоб Воронина. Желоб характеризуется полным отсутствием зарегистрированных землетрясений, что является одной из особенностей в распределении эпицентров в пределах района исследования.

Из-за удаленности сейсмических станций не удалось надежно вычислить глубины очагов землетрясений в пределах зоны перехода “континент–океан”. Только для землетрясения 14 марта 1967 г. с  $mb(ISC) = 4.7$  в пределах желоба Франц-Виктория вычислен диапазон возможных глубин от 0 до 36 км. Максимальное значение рейтинговой функции, реализованной в алгоритме NAS, приходится на глубину 4 км. Для остальных землетрясений принималось минимально возможное значение глубины в зависимости от магнитуды: от 3 до 12 км. Для низкомагнитудных землетрясений, зарегистрированных ближайшими станциями в период с 2011 по 2020 г., принималось значение фиксированной глубины 5 км. Исходя из тектонических условий, с уверенностью можно говорить, что имеют место коровые земле-

трясения преимущественно в верхнем его слое [Morozov et al., 2018].

В пределах района исследования только для четырех землетрясений вычислены параметры механизма очага [Аветисов, 1996]. Для двух землетрясений, произошедших в пределах желоба Франц-Виктория 18 февраля и 22 ноября 1948 г., имеющиеся решения у разных авторов [Мишарина, 1967; Ассиновская, 1994] дали сдвиговый механизм. Но при хорошем совпадении положения нодальных плоскостей азимуты соответствующих осей напряжений отличаются почти на  $90^\circ$ , что заставляет предположить ошибку у одного из авторов. Для землетрясения, произошедшего также в пределах желоба 14.03.1967 г., по трем определениям [Мишарина, 1967; Ассиновская, 1994; Аветисов, 1996] совпадение результатов достаточно удовлетворительное. Получен сдвиговый или сбросово-сдвиговый механизм с широтно ориентированной осью растяжения.

Рассмотренные особенности пространственного распределения землетрясений представляют определенный научный интерес. Во-первых, в силу географических и климатических условий, рассматриваемый регион до сих пор остается сейсмически слабо изученным. Во-вторых, полученные данные совместно с имеющейся геофизической информацией позволяют по-новому взглянуть на геодинамику региона. В работе [Morozov et al., 2018], обобщающей имеющиеся геофизические, геотектонические и полученные сейсмические данные, сделано предположение, что преваляющим геодинамическим фактором, отвечающим за возникновение низкомагнитудных землетрясений в зоне перехода “континент–океан”, является изостатическая компенсация лавинного осадко-накопления.

### Архипелаг Новая Земля

Архипелаг Новая Земля – крупнейший в Российской Арктике – расположен в восточной части Баренцева моря (рис. 5а). Он включает в себя

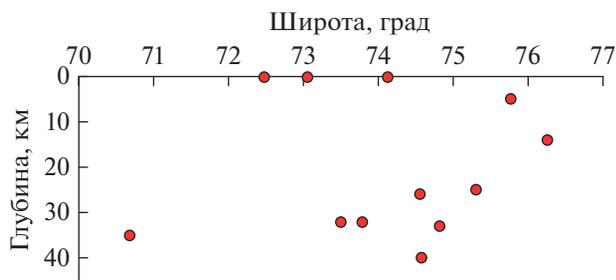


Рис. 7. Диаграмма распределения глубин землетрясений, зарегистрированных в пределах архипелага Новая Земля.

два крупных острова – Северный и Южный, которые разделены узким проливом Маточкин Шар (2–3 км) и множеством более мелких островов. До 1990 г. на архипелаге действовал ядерный полигон, поэтому большинство зарегистрированных сейсмических событий в регионе явились результатом функционирования полигона. На полигоне было проведено в общей сложности 130 ядерных испытаний в атмосфере, в воде и под землей [Халтурин и др., 2005].

Только одно сейсмическое событие, произошедшее 1 августа 1986 г. до прекращения функционирования полигона в 1990 г., относят к землетрясениям. В работе [Marshall et al., 1989] по наличию четких вступлений глубинных фаз и вычисленной глубине очага в 24 км делается предположение о тектонической природе данного события. Однако однозначного мнения у сейсмологического сообщества по поводу природы этого события нет.

После 1990 г. в пределах архипелага было зарегистрировано 14 землетрясений, для которых была проведена процедура уточнения (табл. 3). Три события, указанные в работе [Ringdal, 1997] и в бюллетене ISC, зарегистрированы и слочированы по данным одной или двух сейсмических групп. Нам не удалось обнаружить дополнительные вступления на ближайших от этих событий сейсмических станциях. Поэтому нами эти события не рассматривались и перенесены в табл. 4 с примечанием о недостаточности данных для уточнения.

Большинство эпицентров располагается в пределах о. Северный, преимущественно в южной его части и вдоль западного побережья, и могут быть приурочены к субмеридиональным разломам (рис. 5б). Непосредственно к территории о. Южный относится лишь эпицентр события 1986 г., приуроченный к области пересечения субмеридиональных и субширотных разломов, имеющих четкое выражение в рельефе с амплитудой до 700 м и переходом от низкогорья к прибрежно-морской равнине [Аветисов, 1996]. Часть

эпицентров располагается в акваториях Баренцева и Карского морей и приурочены к различным тектоническим структурам.

Значения магнитуд зарегистрированных землетрясений варьируют: для вычисленных  $mb$  от 3.1 до 4.7; для  $ML$  от 2.0 до 3.8. Унифицированная магнитуда  $mb(ISC)$  варьирует от 2.3 до 4.7. Самое сильное землетрясение с  $mb(ISC) = 4.7$  произошло 11 октября 2010 г. Землетрясение, произошедшее 1 августа 1986 г., имеет близкую оценку магнитуды –  $mb(ISC) = 4.6$ .

Для большинства землетрясений в пределах архипелага удалось вычислить диапазоны возможных глубин (рис. 7; табл. 3). Для землетрясений, произошедших в пределах о. Северный, характерны глубины в нижнем слое коры. Землетрясения, произошедшие в районе о. Южный и в акваториях Баренцева и Карского морей, имеют диапазон возможных глубин в верхней части коры.

Только для одного землетрясения, произошедшего 1 августа 1986 г., были вычислены параметры механизма очага в работе [Ассиновская, 1994]. Результаты характеризуются в работе как надежные. Был получен взбросовый механизм с субширотным горизонтальным сжатием.

### Архипелаг Северная Земля

Самым ранним инструментально зарегистрированным землетрясением в пределах архипелага Северная Земля является землетрясение 13 апреля 1912 г. Это землетрясение упоминается в работах [Tams, 1922; Gutenberg, Richter, 1954; Линден, 1959; Новый каталог..., 1977]. При этом по работам [Gutenberg, Richter, 1954; Линден, 1959; Новый каталог..., 1977] эпицентр располагается в пределах архипелага Северная Земля, а согласно работе [Tams, 1922] в пределах хребта Гаккеля. Было проведено уточнение основных параметров землетрясения по данным шести европейских сейсмических станций. Уточненный эпицентр землетрясения располагается в пределах хребта Гаккеля. Была пересчитана его магнитуда  $MS$  по данным из бюллетеней станций, согласно (1), которая равна 5.1. Соответственно, это землетрясение не имеет отношения к району архипелага Северная Земля. Это очень важный результат для оценки в будущем сейсмической опасности данной территории.

Землетрясение 24 сентября 1922 г. также изучалось в работе [Morozov et al., 2018]. Из-за малого количества сейсмических станций, их удаленности от эпицентра и широкого азимутального створа уточненный эпицентр имел большой эллипс ошибок и само решение не считалось надежным. В этом исследовании удалось обнаружить дополнительные времена вступлений на сейсмических станциях, которые в предыдущей

работе не учитывались. После уточнения эпицентр сместился в район хребта Гаккеля. Но решение все равно остается ненадежным по причинам, которые были перечислены выше. Большой эллипс ошибок не дает нам возможности отнести это землетрясение в определенном районе.

Только землетрясение 19 октября 1924 г. из всех землетрясений первой половины XX века можно отнести к району архипелага, а именно к континентальному склону. В каталоге [Новый каталог..., 1977] указана магнитуда этого землетрясения, равная  $MLH = 4.5$ . Нами было вычислено значение магнитуды  $MS = 5.6$  по формуле (1) по значениям амплитуд и периодов, указанных в бюллетенях четырех сейсмических станций.

В районе архипелага Северная Земля 7 августа 1978 г. с разницей в 40 минут было зарегистрировано два сильных землетрясения с магнитудами  $mb(ISC)$  равными 4.6 и 4.3, которые являются, вероятнее всего, основным толчком и афтершоком. В пределах района исследования это второе землетрясение в течение всего инструментального периода, для которого были зарегистрированы афтершоки.

Всего в пределах архипелага было зарегистрировано пять землетрясений. Одно в 1924 г. с магнитудой  $MS = 5.6$  и четыре с магнитудами  $mb(ISC)$  от 3.4 до 4.6. Только для афтершока 7 августа 1967 г. с  $mb(ISC) = 4.3$  был вычислен диапазон возможных глубин с максимальным значением рейтинговой функцией на глубине 10 км. Для остальных землетрясений принималось минимально возможное значение глубины в зависимости от магнитуды.

### ЛДФ-модели и зоны ВОЗ

Было выполнено сравнение параметров ЛДФ-моделей карт ОСР-97 и ОСР-2016 [Уломов и др., 1999; 2016] и зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ) из работ [Ассиновская, 1994; Аветисов и др., 2002] с инструментальными данными из созданного уточненного и унифицированного каталога.

### ОСР-97

На рис. 8а представлена ЛДФ-модель фрагмента карты ОСР-97 с наложенными эпицентрами землетрясений и их эллипсами ошибок из созданного каталога (табл. 3). ЛДФ-модель для западного сектора Российской Арктики представлена большим количеством доменов разной площади и с максимально возможными магнитудами ( $MLH$ ) землетрясений от 4.0 до 6.5. Модель ограничивается с севера в районе бровки континентального шельфа. Наибольшие значения максимальных магнитуд характерны для доменов на севере Баренцева и Карского морей, ар-

хипелагов Новая Земля и Северная Земля, и полуострова Таймыр. Сравнение параметров модели с инструментальными данными представлено в табл. 5. Можно сделать следующие выводы:

- т.к. ЛДФ-модель ограничивается бровкой континентального шельфа, то большое количество землетрясений, происходящих непосредственно в устьевых зонах желобов, у основания континентального склона и абиссальной равнины, не учитываются моделью;

- для землетрясений первой половины XX века характерно наличие больших по площади эллипсов ошибок. В результате эллипс может перекрывать участки нескольких доменов с разными значениями  $M_{max}$ ;

- эпицентр самого сильного землетрясения 14 октября 1908 г. с  $MLH = 6.6$ , после процедуры уточнения его основных параметров [Morozov et al., 2019] сместился на запад в район устья желоба Франц-Виктория ближе к эпицентру другого сильного землетрясения 18 февраля 1948 г. с  $MLH = 6.3$ . Поэтому эпицентр, который ранее был приурочен к домену №7RUD0065 с максимальной магнитудой 6.5, в настоящее время находится в районе домена №7RUD0006 с максимальной магнитудой 5.0;

- эпицентр землетрясения 2 июня 1928 г. с  $MLH = 4.7$  после процедуры уточнения сместился к устью желоба Святой Анны. Значение магнитуды землетрясения незначительно превышает значение максимальной магнитуды домена №7RUD0229  $MLH = 4.5$ , располагающегося в районе желоба;

- магнитуды землетрясений в районе архипелага Новая Земля не превышают значений  $M_{max}$  доменов, но их глубины располагаются ниже глубин сейсмогенных слоев у соответствующих доменов;

- после процедуры уточнения эпицентр землетрясения 13 апреля 1912 г. с  $MLH = 5.2$  из района архипелага Северная Земля был смещен к хребту Гаккеля. В результате значения магнитуд оставшихся землетрясений, зарегистрированных в пределах архипелага, значительно ниже  $M_{max}$  домена;

- для домена № 7RUD0245, располагающегося на шельфе Карского моря у побережья полуострова Таймыр, также выявлено незначительное превышение магнитуды единственного землетрясения  $MLH = 4.7$  по сравнению с  $M_{max} = 4.5$ .

Можно предложить следующие рекомендации:

- Расширить ЛДФ-модель за пределы бровки континентального склона для учета сейсмичности, происходящей в устьевых зонах желобов, у

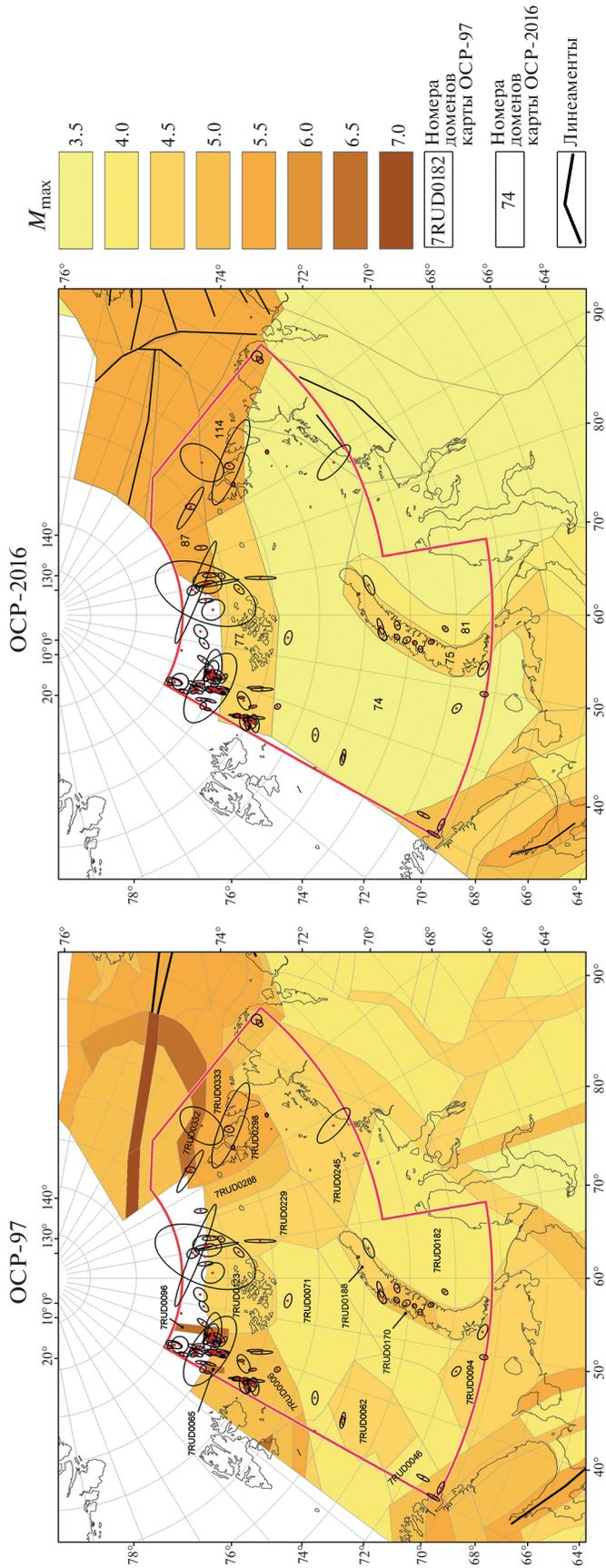


Рис. 8. Фрагмент ЛДФ-модели карты ОСР-97 (а) и ОСР-2016(б).

**Таблица 5.** Сравнения параметров ЛДФ-моделей карт ОСР-97, -2016 с инструментальными данными из итогового каталога

ОСР-97				
Параметры домена			Данные каталога	
№	$M_{\max}$ (MLH, MS)	$H_{\min}-H_{\max}$ , км	$M_{\max}$ (MLH, MS)	$H_{\min}-H_{\max}$
Зона перехода “континент–океан”				
7RUD0006	5.0	5–10	6.6	Соответствуют
7RUD0065	6.5	4–19	3.3	Соответствуют
7RUD0096	6.5	5–20	6.3	Соответствуют
7RUD0123	4.5	5–10	2.7	Соответствуют
7RUD0229	4.5	4–9	4.7	Соответствуют
7RUD0288	5.0	4–9	2.8	Соответствуют
7RUD0332	6.5	4–19	5.6	Соответствуют
Архипелаг Новая Земля				
7RUD0188	4.5	1–6	3.5	Очаги глубже
7RUD0170	5.0	1–6	4.3	Очаги глубже
7RUD0094	4.5	9–14	3.4	Очаги глубже
7RUD0182	4.0	6–11	3.3	Соответствуют
Архипелаг Северная Земля				
7RUD0298	5.5	1–6	3.5	Соответствуют
7RUD0333	5.5	2.5–7.5	4.3	Соответствуют
Шельф Баренцева и Карского морей				
7RUD0071	4.0	13–18	2.7	–
7RUD0062	4.5	8–13	3.4	–
7RUD0046	4.0	5–10	2.8	–
7RUD0245	4.5	4–9	4.6	–
ОСР-2016				
Параметры домена			Данные каталога	
№	$M_{\max}$ (MLH, MS)	$H_{\min}-H_{\max}$ , км	$M_{\max}$ (MLH, MS)	$H_{\min}-H_{\max}$
Зона перехода “континент–океан”				
77	4.5	2–33	4.0	Соответствуют
87	5.5	2.2–7.5	5.6	Соответствуют
Архипелаг Новая Земля				
75	4.5	1–9	4.3	Очаги глубже
81	4.0	2–10	3.3	Соответствуют
Архипелаг Северная Земля				
114	5.5	2.2–9.5	4.3	Соответствуют
Шельф Баренцева и Карского морей				
74	3.5	2–10	4.7	–

Примечания: Зеленым цветом указаны домены, для которых не выявлены превышения значений  $M_{\max}$  магнитудами зарегистрированных землетрясений. Соответственно, красным выделены домены, для которых такие превышения выявлены.

основания континентального склона и абиссальной равнины.

– В районе устья желоба Франц-Виктория произошло два землетрясения с магнитудами 6.3 и 6.5. Поэтому необходимо изменить конфигурацию и увеличить площадь домена в районе устья желоба Франц-Виктория, характеризующегося  $M_{\max} = 6.5$ .

– Необходимо изменить глубину сейсмогенного слоя для доменов, располагающихся в районе архипелага Новая Земля.

– Возможно необходимо понизить значения  $M_{\max}$  для доменов архипелага Северная Земля и шельфа Баренцева и Карского морей.

### ОСР-2016

На рис. 86 представлена ЛДФ-модель фрагмента карты ОСР-2016 с наложенными эпицентрами землетрясений и их эллипсами ошибок из созданного каталога. ЛДФ-модель для западного сектора Российской Арктики, в отличие от модели ОСР-97, представлена всего несколькими крупными доменами с максимально возможными магнитудами ( $MLH$ ) землетрясений от 3.5 до 5.5 и одним линеаментом на севере полуострова Таймыр с максимально возможной магнитудой 6.0. Домены в районе шельфа Баренцева моря также ограничиваются с севера бровкой континентального шельфа. Наибольшие значения максимальных магнитуд характерны для доменов на севере Баренцева и Карского морей, архипелагов Новая Земля и Северная Земля, и полуострова Таймыр. Сравнения параметров модели с инструментальными данными представлены в табл. 5. Можно сделать следующие выводы:

– т.к. ЛДФ-модель в районе шельфа Баренцева моря ограничивается бровкой континентального шельфа, то большое количество землетрясений в устьевых зонах желоба Франц-Виктория, у основания континентального склона и абиссальной равнине не учитываются моделью;

– район устья желоба Франц-Виктория, в котором произошло два самых сильных землетрясения во всем западном секторе Российской Арктики 14 октября 1908 г. с  $MLH = 6.6$  и 18 февраля 1948 г. с  $MLH = 6.3$ , не попадает в ЛДФ-модель;

– магнитуды землетрясений в районе архипелага Новая Земля не превышают значений  $M_{\max}$  доменов, но их глубины располагаются ниже глубин сейсмогенных слоев у соответствующих доменов;

– после процедуры уточнения эпицентр землетрясения 13 апреля 1912 г. с  $MLH = 5.2$  из района архипелага Северная Земля был смещен к хребту Гаккеля. В результате значения магнитуд

оставшихся землетрясений в пределах архипелага значительно ниже  $M_{\max}$  домена;

– для домена № 74, располагающегося на шельфе Баренцева и Карского морей, выявлено превышение магнитуды произошедшего в районе полуострова Таймыр землетрясения с  $MLH = 4.7$  по сравнению с  $M_{\max} = 3.5$ . Однако эллипс ошибок этого землетрясения пересекает линеамент с магнитудой  $M_{\max} = 6.0$ .

Можно предложить следующие рекомендации:

– Расширить ЛДФ-модель за пределы бровки континентального склона в районе шельфа Баренцева моря для учета сейсмичности, происходящей в устьевых зонах желобов, у основания континентального склона и абиссальной равнине.

– В районе устья желоба Франц-Виктория произошло два землетрясения с магнитудами 6.3 и 6.5. Поэтому необходимо изменить конфигурацию и параметры домена в районе устья желоба Франц-Виктория для учета этих землетрясений. Необходимо разделить единый домен № 77 на несколько, т.к. уровень сейсмичности для разных районов домена заметно отличается.

– Необходимо изменить глубину сейсмогенного слоя для доменов, располагающихся в районе архипелага Новая Земля.

– Возможно, необходимо понизить значения  $M_{\max}$  для доменов архипелага Северная Земля и шельфа Баренцева и Карского морей.

### Зоны ВОЗ [Аветисов и др., 2002]

На рис. 9 представлены зоны ВОЗ [Аветисов и др., 2002] с наложенными эпицентрами землетрясений и их эллипсами ошибок из созданного каталога. На карте представлены дизъюнктивные узлы, линеаменты и зоны-домены вне узлов и линеаментов. Зоны ВОЗ для западного сектора Российской Арктики представлены небольшими по площади участками с максимально возможными магнитудами ( $mb$ ) землетрясений от 3.4 до 5.3. Сравнение параметров зон ВОЗ с инструментальными данными представлено в табл. 6. Можно сделать следующие выводы:

– карта зон ВОЗ не учитывает сейсмичности в районе о. Белый, желоба Святой Анны и континентального склона севернее и восточнее архипелага Земля Франца-Иосифа, а также на шельфе Баренцева и Карского морей;

– значения максимальных магнитуд для зон ВОЗ зоны перехода “континент–океан” и архипелага Северная Земля занижены по сравнению с магнитудами произошедших землетрясений;

– конфигурация зон ВОЗ в районе архипелага Новая Земля не соответствует распределению зарегистрированных землетрясений;

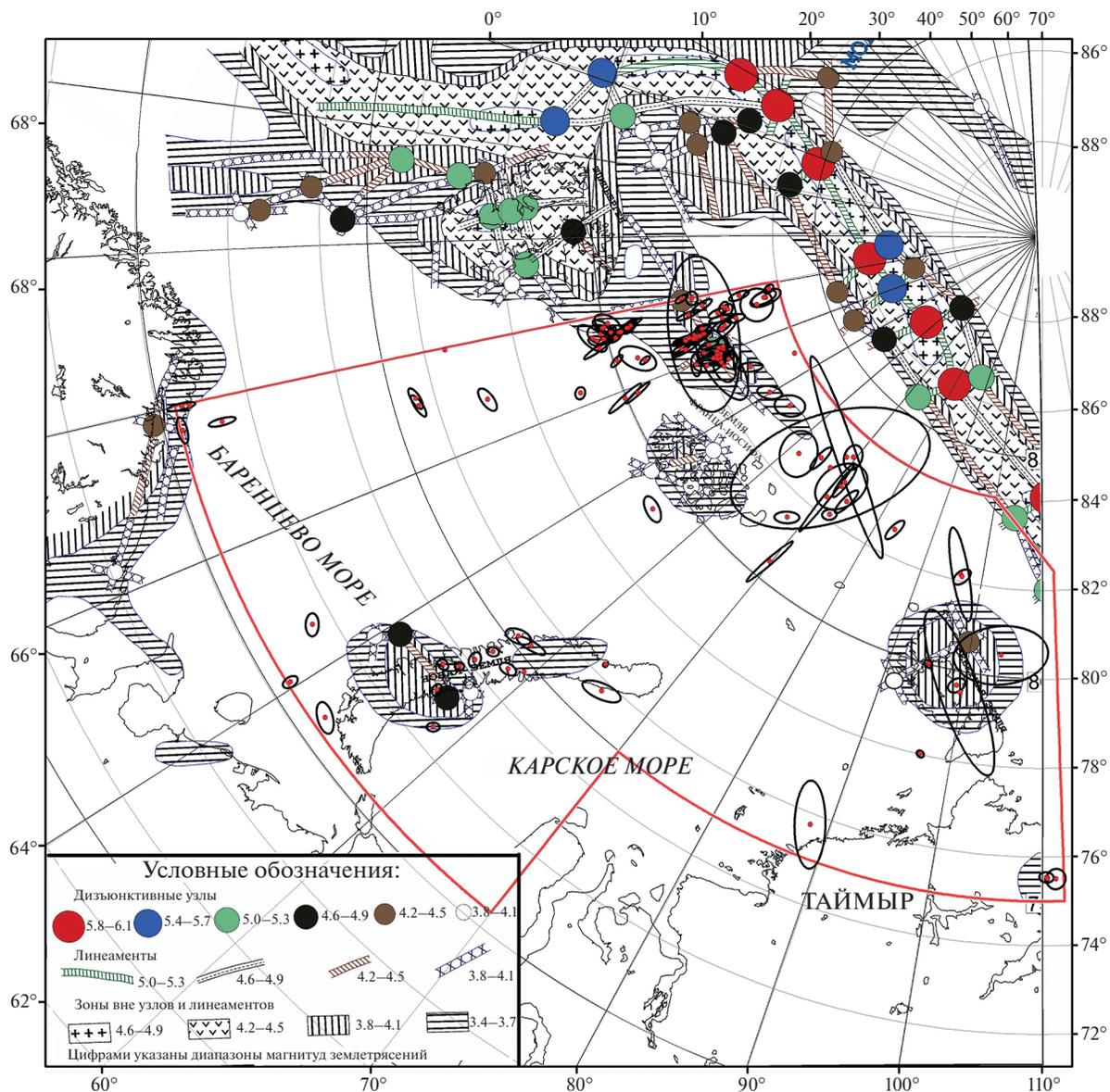


Рис. 9. Фрагмент карты зон ВОЗ по работе [Аветисов и др., 2002].

– в пределах зоны ВОЗ в районе архипелага Северная Земля не было зарегистрировано ни одного землетрясения. Здесь наблюдается только большое количество низкомagnitude землетрясений, регистрируемых одной-двумя станциями и связываемых с деструкцией ледников [Антоновская и др., 2018].

Можно предложить следующие рекомендации:

– изменить конфигурацию и параметры зон ВОЗ в пределах континентального склона, архипелагов Новая Земля, Северная Земля и Земля Франца-Иосифа;

– добавить зоны ВОЗ в районе шельфа Баренцева и Карского морей.

### Зоны ВОЗ [Ассиновская, 1994]

На рис. 10 представлены зоны ВОЗ [Ассиновская, 1994] с наложенными эпицентрами землетрясений и их эллипсами ошибок из итогового каталога. На карте представлены дизъюнктивные узлы, линеаменты и зоны-домены вне узлов и линеаментов. Зоны ВОЗ для западного сектора Российской Арктики ограничены только акваторией Баренцева моря и представлены большими по площади участками с максимально возможными magnitudами (*mb*) землетрясений до 5.7–5.9. Сравнения параметров зон ВОЗ с инструментальными данными представлено в табл. 6. Можно сделать следующие выводы:

**Таблица 6.** Сравнения параметров зон ВОЗ по работам [Ассиновская, 1993; Аветисов и др., 2002] с инструментальными данными из итогового каталога

Зоны ВОЗ по работе [Аветисов и др., 2002]		
Параметры зон ВОЗ		Данные каталога
Зона ВОЗ	$mb_{\max}$	$mb_{\max}$
Зона перехода “континент–океан”		
Дизъюнктивные узлы	5.0–5.3	6.2
	4.2–4.5	6.3
Линеаменты	4.2–4.5	5.2
Зоны вне узлов и линеаментов	3.8–4.1	2.7
	3.4–3.7	3.4
Архипелаг Новая Земля		
Дизъюнктивные узлы	4.6–4.9	4.6
Зоны вне узлов и линеаментов	3.4–3.7	2.8
	3.4–3.7	3.2
Архипелаг Северная Земля		
Линеаменты	3.8–4.1	4.6
Зоны вне узлов и линеаментов	3.8–4.1	4.6
	3.4–3.7	5.8
Зоны ВОЗ по работе [Ассиновская, 1993]		
Параметры зон ВОЗ		Данные каталога
Зона ВОЗ	$mb_{\max}$	$mb_{\max}$
Зона перехода “континент–океан”		
Зоны, охватывающие узлы и линеаменты	5.7–5.9	6.2
	4.5–4.7	6.3
Линеаменты	4.0–4.8 (неуверенные)	3.5
Зоны вне узлов и линеаментов	4.3–4.4	3.9
	3.9–4.2	4.7
	3.9–4.2 (неуверенные)	4.0
Архипелаг Новая Земля		
Линеаменты	4.0–4.4	4.6
	4.0–4.4 (неуверенные)	4.7
Зоны вне узлов и линеаментов	3.9–4.2	3.3
	3.9–4.2 (неуверенные)	3.3
Шельф Баренцева моря		
Линеаменты	4.0–4.4 (неуверенные)	3.8
Зоны вне узлов и линеаментов	3.9–4.2 (неуверенно)	3.5

Примечания: Зеленым цветом указаны зоны ВОЗ, для которых не выявлены превышения значений  $M_{\max}$  магнитудами зарегистрированных землетрясений. Соответственно, красным выделены зоны ВОЗ, для которых такие превышения выявлены.

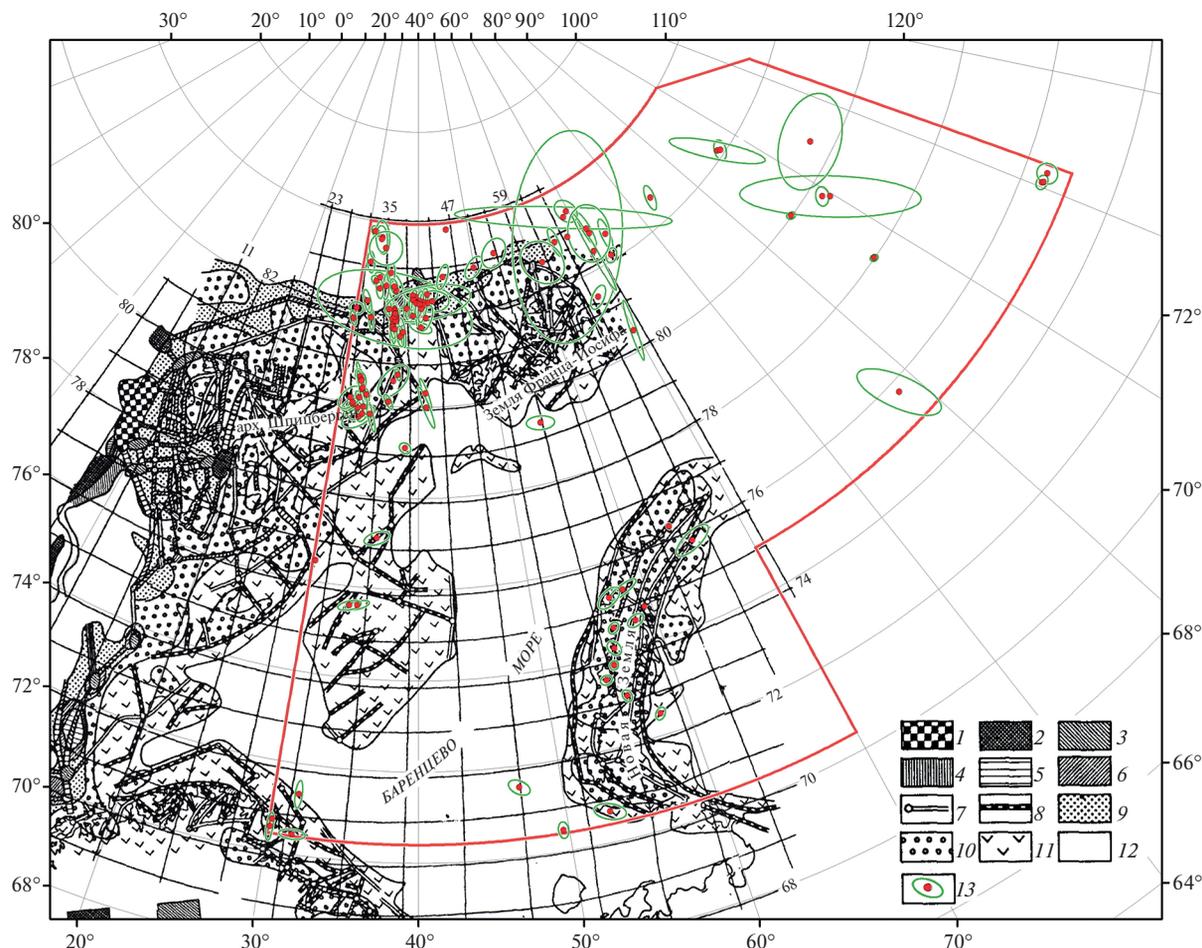


Рис. 10. Фрагмент карты зон ВОЗ по работе [Ассиновская, 1994].

– зоны ВОЗ ограничиваются бровкой континентального шельфа, поэтому большое количество землетрясений, происходящих севернее устья желоба Франц-Виктория, у основания континентального склона и абиссальной равнине, не учитывается;

– зоны ВОЗ района устья желоба Франц-Виктория, в котором произошло два самых сильных землетрясения 14 октября 1908 г. с  $m_b = 6.3$  и 18 февраля 1948 г. с  $m_b = 6.2$ , имеют заниженные значения максимальной магнитуды;

– эпицентры зарегистрированных землетрясений в пределах архипелага Новая Земля располагаются в пределах субмеридиональных линеаментов. Однако некоторые линеаменты имеют заниженные оценки максимальных магнитуд по сравнению с магнитудами зарегистрированных землетрясений.

На основе описанных выше особенностей можно предложить следующие *рекомендации*:

– изменить параметры зон ВОЗ в пределах континентального склона, архипелагов Новая Земля и шельфа Баренцева моря;

– охватить зонами ВОЗ желоб Святой Анны восточнее архипелага Земля Франца-Иосифа, т.к. сейсмичность в районе желоба вносит свой вклад в сейсмическую опасность территории архипелага.

### ВЫВОДЫ

В течение всего XX и начала XXI веков развитие инструментальных наблюдений в Евразийской Арктике, частью которого является западный сектор Российской Арктики, проходило медленно и неравномерно как во времени, так и в пространстве. Особенности развития инструментальных наблюдений напрямую влияли на сейсмологическую изученность арктических территорий. В Евразийской Арктике, в основном, объектом исследования становились сейсмоактивные районы, такие как срединно-океанические хребты, архипелаг Шпицберген, шельф моря Лаптевых и полуост-

ров Таймыр. Большой пласт исследований характерен для западной части Баренцево-Карского региона, которая имела хорошую инструментальную представительность практически в течение всего периода. Центральная и восточная части Баренцево-Карского региона, которые входят в западный сектор Российской Арктики, напротив, всегда имели слабую инструментальную представительность. Поэтому эти районы редко становились объектом исследования сейсмичности, за исключением архипелага Новая Земля с функционирующим до 1990 г. ядерным полигоном.

Малое количество стационарных сейсмических станций и их удаленность в пределах западного сектора Российской Арктики в течение практически всего XX в. не позволяло регистрировать низкомagnitude 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 ходе многолетних исследований по сведению, уточнению и унификации основных параметров зарегистрированных в пределах западного сектора Российской Арктики землетрясений, создан единый уточненный и унифицированный каталог землетрясений за период с 1908 по 2020 гг. Созданный каталог включает в себя данные о современной сейсмичности районов, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга, что позволило уточнить пространственное распределение землетрясений в регионе. В пределах западного сектора Российской Арктики наибольшая сейсмичность проявляется в пределах зоны перехода “континент–океан” и о. Белый, архипелагов Новая Земля и Северная Земля. Сам шельф Баренцева и Карского морей характеризуется редкой и рассеянной сейсмичностью. Также в район исследования попадают фрагменты сейсмичности полуострова Таймыр и севера Фенноскандии.

Было выполнено сравнение параметров ЛДФ-моделей, карт ОСР-97 и ОСР-2016 и зон ВОЗ из работ [Ассиновская, 1994; Аветисов и др., 2002] с инструментальными данными из итогового каталога. Конфигурация, значения максимально возможных магнитуд и глубина сейсмогенных слоев доменов ЛДФ-моделей и карт ОСР не всегда соответствует инструментальным данным, что требует их корректировки. Зоны ВОЗ, выявленные в работах [Ассиновская, 1993; Аветисов и др., 2002], также требуют уточнения их конфигурации и параметров.

Созданный сводный уточненный каталог землетрясений за весь инструментальный период для западного сектора Российской Арктики может

служить основой для последующих исследований, связанных с оценкой сейсмической опасности территории, построением геодинамических моделей, исследованием напряженно-деформированного состояния земной коры.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнены при финансовой поддержке тем НИР, включенных в государственное задание ИФЗ РАН и ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (FUUW-2022-0036), а также в рамках государственного задания ФИЦ ЕГС РАН (№ 075-01471-22) 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”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аветисов Г.П.* Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб: ВНИИОкеангеология. 1996. 186 с.
- Аветисов Г.П., Зинченко А.Г., Мусатов Е.Е., Пискарев А.Л.* Сейсмическое районирование Арктического региона. Российская Арктика: геологическая история, минералогия, геоэкология. СПб.: ВНИИОГ. 2002. С. 162–175.
- Антоновская Г.Н., Ковалев С.М., Конечная Я.В., Смирнов В.Н., Данилов А.В.* Новые сведения о сейсмичности Российской Арктики по данным пункта сейсмических наблюдений “Северная Земля” // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 2. С. 170–181.
- Ассиновская Б.А.* Сейсмичность Баренцева моря. М: РАН. 1994. 128 с.
- Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России.* М.: Научный мир. 2004. 108 с.
- Ванек И., Затопек А., Карник В., Кондорская Н.В., Ризниченко Ю.В., Саваренский Е.Ф., ... Шебалин Н.В.* Стандартизация шкал магнитуд // Изв. АН СССР. Сер. Геофизическая. 1962. № 2. С. 108–111.
- Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А., Кременецкая Е.О., Петров С.И.* Формирование системы сейсмологического и инфразвукового мониторинга в западной Арктике в XX веке и перспективы ее дальнейшего развития // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 4. С. 140–156.
- Виноградов Ю.А., Пятунин М.С.* Сейсмологический мониторинг на Северном Ямале. Первые результаты. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы. А.А. Маловичко (ред.). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. 2017. С. 92–95.
- Геология и полезные ископаемые России. В шести томах.* Т. 5. Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря / И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребницкий (ред.). СПб.: ВСЕГЕИ. 2004. 468 с.
- Завьялов А.Д., Перетокин С.А.* Сейсмическая опасность Арктики: состояние и проблемы. Сборник тезисов научно-практической конференции “Инженерная сейсмозащита и сейсмология – 2022”. 23–25 марта 2022 г. Москва, Россия. 2022. С. 17–20.

- Линден Н.А. О карте сейсмичности Арктики // Сейсмические и гляциологические исследования в период МГГ. М.: АН СССР. 1959. № 2. С. 7–17.
- Лукин Ю.Ф. Концептуальные подходы к определению внутренних границ и развитию Российской Арктики в изменяющемся мире // Арктика и Север. 2012. № 6. С. 1–16.
- Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Старовойт О.Е. Инструментальные и сейсмологические наблюдения на Восточно-Европейской платформе. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Н.В. Шаров, А.А. Маловичко, Ю.К. Шукин (ред.). Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2007. С. 14–66.
- Мишарина Л.А. Напряжения в земной коре в рифтовых зонах. М.: Наука. 1967. 133 с.
- 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.
- 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.
- Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Михайлова Я.А., Старков И.В. Унификация магнитуд современных землетрясений Евразийской Арктики // Сейсмические приборы. 2022. Т. 58. № 1. С. 67–80.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975г. / Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. (ред.). М.: Наука. 1977. 536 с.
- Панасенко Г.Д. Проблемы сейсмического районирования Западного сектора советской Арктики // Природа и хозяйство Севера. 1986. № 14. С. 4–6.
- Расчет магнитуды  $M$  (MLN, MS) [Электронный ресурс]. База данных “Землетрясения России”. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. 2022. URL: [http://eqru.gsgas.ru/files/Calc-magnitude\\_S\\_2003-2020.pdf](http://eqru.gsgas.ru/files/Calc-magnitude_S_2003-2020.pdf).
- Ризниченко Ю.В. (ред.). Сейсмическая сотрясаемость территории СССР. М.: Наука. 1979. 192 с.
- Старовойт О.Е. Инструментальные сейсмические наблюдения в России // Вестник Владикавказского НЦ РАН. 2005. Т. 5. № 1. С. 8–12.
- Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ.
- Уломов В.И., Богданов М.И., Трифонов В.Г., Гусев А.А., Гусев Г.С., Акатова К.Н., Антикаев Ф.Ф., Данилова Т.И., Кожурин А.И., Медведева Н.С., Никонов А.А., Перетоккин С.А., Пустовитенко Б.Г., Стром А.Л. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016 и список населенных пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах // Инженерные изыскания. 2016. № 7. С. 49–121.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1 : 8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ. 1999. 57 с.
- Халтурин В., Раутиан Т., Ричардс П., Лейт У. Обзор советских ядерных испытаний на Новой Земле в 1955–1990 годах // Наука и всеобщая безопасность. 2005. Т. 13. № 1–2. С. 1–42.
- Alejandro A.C.B., Hutt C.R., Ringler A.T., Moore S.V., Anthony R.E., Wilson D.C. The Albuquerque Seismological Lab WWSSN film chip preservation project // Seismological Research Letters. 2019. V. 90. № 1. P. 401–408.
- 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.
- Asming V., Prokudina A. System for automatic detection and location of seismic events for arbitrary seismic station configuration NSDL // European Seismological Commission. 2016. ESC. 2016. P. 373.
- Di Giacomo D., Bondár I., Storchak D.A., Engdahl E.R., Bormann P., Harris J. ISC-GEM: Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900–2009), III. Re-computed MS and mb, proxy MW, final magnitude composition and completeness assessment // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2015. V. 239. P. 33–47.
- 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. № 1. P. 17–23.
- GEOFON. URL: <https://geofon.gfz-potsdam.de/> (дата обращения 12.05.2022 г.).
- Gutenberg B. Amplitudes of surface waves and magnitudes of shallow earthquakes // Bulletin of the Seismological Society of America. 1945. V. 35. № 1. P. 3–12.
- Gutenberg B., Richter C. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena (2rid edition). Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 1954. 310 p.
- International Seismological Centre. URL: <http://www.isc.ac.uk/> (дата обращения 06.12.2022 г.).
- IRIS. Incorporated Research Institutions for Seismology. URL: <https://www.iris.edu/hq/> (дата обращения 12.05.2022 г.).
- Kennett B.L.N. Seismological tables: ak135. Research School of Earth Sciences. Australian National University Canberra, Australia. 2005. P. 1–289.
- Kennett B. L. N., Engdahl E. R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes // Geophysical J. International. 1995. V. 122. № 1. P. 108–124.
- Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic location calibration of the European Arctic // Pure Appl. Geophys. 2001. V. 158(1). P. 117–128.
- Lee W.H.K., Meyers H., Shimazaki K. Introduction to the Symposium on Historical Seismograms and Earthquakes. Historical seismograms and earthquakes of the world. San Diego CA: Academic Press. 1988. P. 3–15.
- Marshall P.D., Stewart R.C., Lilwall R.C. The seismic disturbance on 1986 August 1 near Novaya Zemlya: a source of concern? // Geophysical Journal International. 1989. V. 98. № 3. P. 565–573.
- Michellini A., De Simoni B., Amato A., Boschi E. Collecting, digitizing, and distributing historical seismological data // Eos, Transactions American Geophysical Union. 2005. V. 86. № 28. P. 261–266.
- Morozov A.N., Asming V.E., Vaganova N.V., Konechnaya Y.V., Mikhaylova Y.A., Evtuyugina Z.A. Seismicity of the Novaya Zemlya archipelago: relocated event catalog from 1974 to

2014 // *J. Seismology*. 2017. V. 21. № 6. P. 1439–1466.  
<https://doi.org/10.1007/s10950-017-9676-y>

*Morozov A.N., Vaganova N.V., Konechnaya Y.V.* The October 14, 1908 MW 6.6 earthquake in the Barents and Kara sea region of the Arctic: Relocation based on instrumental data // *Polar Science*. 2019. V. 20. P. 160–166.

*Morozov A.N., Vaganova N.V., Konechnaya Y.V., Asming V.E., Dulentsova L.G., Evtuygina Z.A.* Seismicity in the far Arctic areas: Severnaya Zemlya and the Taimyr Peninsula // *J. Seismology*. 2021. V. 25. P. 1171–1188.

*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 // *J. Seismology*. 2018. V. 22. № 5. P. 1171–1209.

*Oldham R.D.* On the propagation of earthquake motion to great distances // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*. 1900. V. 194. № 252–261. P. 135–174.

ORFEUS. URL: <https://orfeus-eu.org/> (дата обращения 12.05.2022 г.).

*Petrova N.V., Gabsatarova I.P.* Depth corrections to surface-wave magnitudes for intermediate and deep earthquakes in the regions of North Eurasia // *J. Seismology*. 2020. V. 24. № 1. P. 203–219.

*Richter C.F.* An instrumental earthquake scale // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1935. V. 25. P. 1–32.

*Ringdal F.* Study of low-magnitude seismic events near the Novaya Zemlya nuclear test site // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1997. V. 87. № 6. P. 1563–1575.

*Ringdal F., Kværna T.* A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1989. V. 79(6). P. 1927–1940.

*Schweitzer J., Paulsen B., Antonovskaya G.N., Fedorov A.V., Konechnaya Y.V., Asming V.E., Pirli M.* A 24-Yr-Long Seismic Bulletin for the European Arctic // *Seismological Research Letters*. 2021. V. 92. № 5. P. 2758–2767.

*Storchak D. A., Di Giacomo D., Engdahl E. R., Harris J., Bondár I., Lee W. H., ... & Villaseñor A.* The ISC-GEM global instrumental earthquake catalogue (1900–2009): Introduction // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 2015. V. 239. P. 48–63.

*Tams E.* Die seismischen Verhältnisse des europäischen Nordmeer, zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Jahrg // *Number*. 1922. V. 13. P. 385–397.

*Yang X., North R., Romney C., Richards P.G.* Worldwide nuclear explosions // *International geophysics series*. 2003. V. 81. №. B. P. 1595–1600.

## Seismicity of the Western Sector of the Russian Arctic

**A. N. Morozov<sup>a, b, \*</sup>, N. V. Vaganova<sup>b</sup>, V. E. Asming<sup>c</sup>, S. A. Peretokin<sup>a</sup>, and I. M. Aleshin<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia*

<sup>b</sup>*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, 163000 Russia*

<sup>c</sup>*Kola Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Apatity, 184209 Russia*

\*E-mail: morozovalexey@yandex.ru

The paper presents the results of many years of research on the compilation of a consolidated, refined, unified earthquake catalog for the western sector of the Russian Arctic for the entire instrumental observation period, in particular for the period from 1908 to 2020. The catalog includes data on recent seismicity in areas previously unavailable for detailed seismic monitoring. Based on the results of the study, we were able to more accurately determine the spatial distribution of seismicity in the region and compare the instrumental data with parameters of lineament-domain-focal (LDF, or, alternatively, lineament-domain-source (LDS)) models of the General Seismic Zoning maps (GSZ, from Russian term abbreviated as OSR)—OSR-97 and OSR-2016. In the western sector of the Russian Arctic, the highest seismicity is observed in the continent-ocean transition zone, in the Belyi Island, Novaya Zemlya and Severnaya Zemlya archipelagos. The very shelf of the Barents and Kara Seas is characterized by rare and scattered seismicity. The configuration, the maximum possible magnitudes, and the depths of the seismogenic layers in the LDF models of OSR-97 and OSR-2016 maps are not always consistent with the instrumental data and need a correction. The consolidated refined earthquake catalog can be used as a basis for the further research aimed at seismic hazard assessment of the territory, construction of geodynamic models, and study of the stress-strain state of the Earth's crust.

**Keywords:** western sector of the Russian Arctic, earthquake catalog, seismic hazard, seismicity of the Arctic