

КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ
ЗА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ

Морозов А.Н.^{1,2}, Ваганова Н.В.², Перетокин С.А.¹

*¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва,
Россия*

*²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени
академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,
Архангельск, Россия*

morozovalexey@yandex.ru

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 века, функционирующая в Арктике сеть сейсмических станций, как отмечал Г.П. Аветисов [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 научного и прикладного аспектов узловых фрагментов сейсмоактивных зон. Значение представительной магнитуды, которая на раннем этапе инструментальных наблюдений, вплоть до 1957 года, оценивалась в 5.5–6.0, к концу 80-х г. снизилась до 3.9–4.0 для удаленных арктических территорий [Аветисов, 1996].

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 века 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 [Morozov 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. 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 низкомагнитудных землетрясений из районов 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, низкомагнитудные 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 низкомагнитудных 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 вычисленные 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 микрорайонирования (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 сеймотектонических и сейсмологических данных.
- наиболее часто используемые в РФ методы СМР не предназначены для мерзлых пород или обводненных грунтов дна акваторий.

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 обобщению и уточнению параметров очагов землетрясений, зарегистрированных за весь период инструментальных наблюдений, с использованием новых и апробированных скоростных моделей, уточненной шкалы локальной магнитуды, учитывающей региональные особенности, современного алгоритма локации и всех доступных в настоящее время исходных данных и бюллетеней функционировавших в регионе сейсмических станций.

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 [Уломов, Шумилина, 1999; Уломов и др., 2016].

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 зоны РФ». Понятия «Арктической зоны РФ» и «Российской Арктики» 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 [Геология и полезные ископаемые России, 2004].

Сводный и унифицированный каталог землетрясений западного сектора Российской Арктики за весь инструментальный период наблюдений создавался для района, представленного на рисунке 1. Район включает в себя российский сектор континентального шельфа Баренцева моря, шельф Карского моря и архипелаги Новая Земля, Северная Земля и Земля Франца-Иосифа.

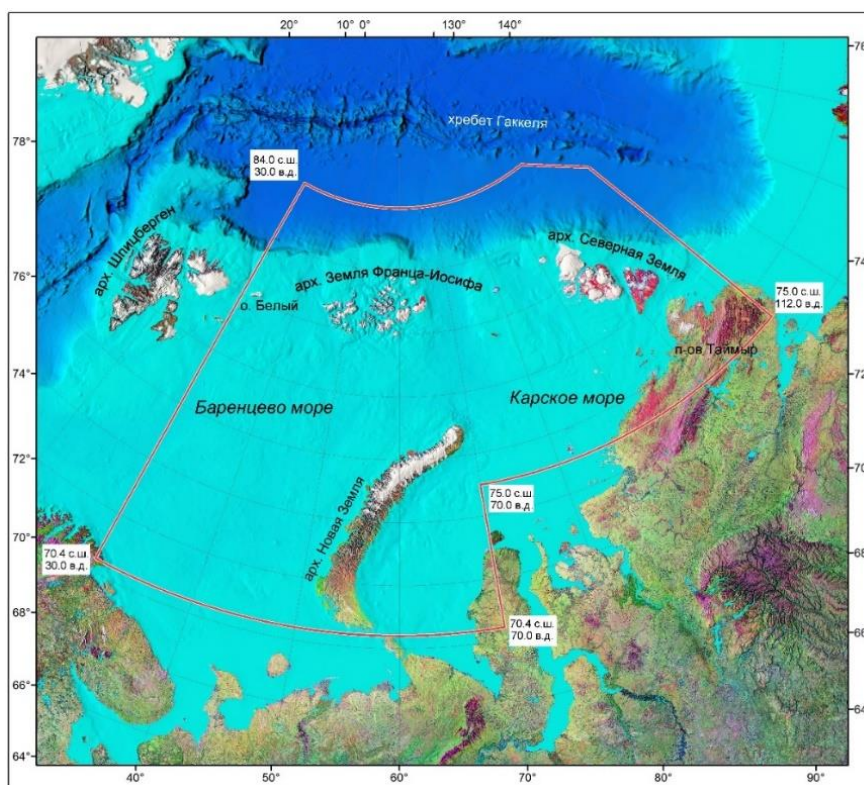


Рис. 1. Карта с обозначением района исследования.

Из-за перечисленных выше условий, составление сводных уточненных и унифицированных каталогов для арктических территорий не является простой технической задачей. Поэтому авторами предложена совокупность технических решений, направленных на определение 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 (табл. 1).

Таблица 1. 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	– доступные исследователям бюллетени и исходные данные сейсмических станций; – Shide Circulars (1899–1912); – ISA bulletins (1895–1897, 1903–1908); – Бюллетени ПЦСК (1902–1907, 1911–1912); – BAAS (1913–1918); – International Seismological Summary (1918–1963); – Сводный квартальный бюллетень сети телесейсмических станций (1928–1939); – Копии записей Б. Гетенберга «Gutenberg Notepads» [Goodstein et al., 1980; Di Giacomo et al., 2015]; – BCIS bulletins (1930–1971); – Бюллетень сети сейсмических станций СССР/Сейсмологический	Для землетрясений, зарегистрированных в XX веке 1. Создан сводный электронный архив, содержащий: – бюллетени сейсмических станций из следующих источников: • Архивы проектов «Historical Seismogram Filming Project», «USGS WWFC Pilot Scanning Project», ISC-GEM, EuroSeismos и IASPEI; • Архив ФИЦ ЕГС РАН; • Архив ГЦ РАН • Фонд Российской государственной библиотеки; • Архив д-ра Й. Швейцера (J. Schweitzer, University of Oslo) [Schweitzer, Lee, 2003]; • Фрагменты бюллетеней из научных статей и монографий. – Сводные бюллетени: • Shide Circulars (1899–1912);	Для землетрясений, зарегистрированных в XXI веке 1. Объединение исходных цифровых данных сейсмических станций, функционирующих в регионе, из следующих источников: – Международные и национальные фонды, объединения и программы, такие как GEOFON, ORFEUS и IRIS. – Архив ФИЦКИА УрО РАН. – Архив ФИЦ ЕГС РАН. 2. Бюллетень International Seismological Centre; 3. Бюллетень ФИЦ ЕГС РАН. 4. Сводный бюллетень для Европейской Арктики за период с

	бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР (1940–1987); – Бюллетень International Seismological Centre (1964 – по настоящее время); – Бюллетень NEIC (1973 – по настоящее время); – Бюллетень ФИЦ ЕГС РАН (1994 – по настоящее время); – Международные и национальные фонды, объединения и программы, такие как GEOFON, ORFEUS и IRIS.	• ISA bulletins (1895–1897, 1903–1908); • Бюллетени ПЦСК (1902–1907, 1911–1912); • BAAS (1913–1918); • International Seismological Summary (1918–1963). – Сведения о сейсмических станциях начала XX века. 2. Привлекались данные: – Бюллетень сети сейсмических станций СССР/Сейсмологический бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР (1954–1970); – Bulletin of the International Seismological Centre (1964 – по настоящее время); – NEIC bulletin (1973 – по настоящее время); – Бюллетени ФИЦ ЕГС РАН (1994 – по настоящее время).	1990 по 2013 гг. [Schweitzer et al., 2021].
Скоростная модель	– модель Р. Олдхэма [Oldham, 1900]; – JB [Jeffreys, Bullen, 1940]; – PREM [Dziewonski, Anderson, 1981]; – iasp91 [Kennett, Engdahl, 1991]; – ak135 [Kennett et al., 1995; Kennett, 2005].	– ak135 [Kennett et al., 1995; Kennett, 2005]; – новые и апробированные региональные скоростные модели BARENTS [Kremenetskaya et al., 2001] и NOES [Морозов, Ваганов, 2007].	
Алгоритм локации	Различные методы локации, применяемые в сейсмологии описаны в работах [Havskov, Ottemöller 2010; Karasözen, Karasözen, 2020].	Алгоритм локации программы NAS (New Association System) [Asming, Prokudina, 2016, Fedorov et al., 2019], в усовершенствованном виде реализующий метод Generalized beamforming [Ringdal, Kværna, 1989].	
Оценка магнитуды	– <i>ML</i> [Richter, 1935]; – <i>mB/MS</i> по Б. Гутенбергу [Gutenberg, 1945]; – <i>MS</i> [Ванек и др., 1962]; – <i>MLH</i> [Новый каталог..., 1977]; – <i>Mw</i> [Kanamori, 1977]; – <i>MS_{BB}/m_{B, BB}</i> [Bormann, Saul, 2008].	При отсутствии значений магнитуд, вычисленных в ISC, вычислялись магнитуды: – <i>MS</i> по [Ванек и др., 1962]; – <i>ML</i> [Richter, 1935]. Для региональных землетрясений западной сектора Российской Арктики проведено уточнение шкалы локальной магнитуды <i>ML</i> [Морозов и др., 2020].	

Итоговыми результатами исследования являются два каталога. 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. 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 включены и сейсмические события, которые с большой вероятностью имеют техногенную природу.

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 архипелага Шпицберген. Для девяти землетрясений не обнаружено достаточного количества вступлений на сейсмических станциях. Для трех сейсмических событий 1974, 1978 и 1989 гг. в каталоге 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 рисунке 2. Отчетливо видно, что с начала XX века 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 [Старовойт, 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.

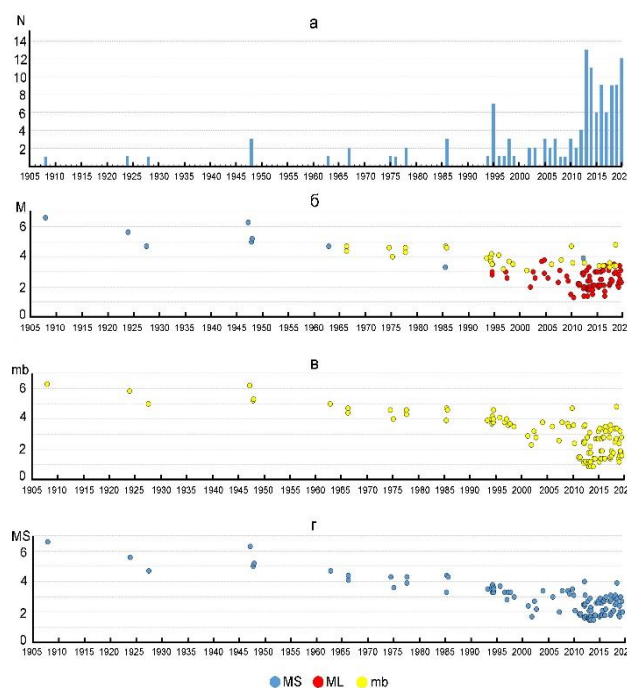


Рис. 2. Распределение землетрясений из созданного сводного уточненного и унифицированного каталога землетрясений западного сектора Российской Арктики: а – по годам; б – по магнитудам mb , MS и ML ; в – по унифицированной магнитуде mb ; г – по унифицированной магнитуде MS .

Однако более 60% всех землетрясений из каталога было зарегистрировано в период начиная с 2012 по 2020 гг. Как уже отмечалось, в конце XX и в начале XXI века произошло существенное увеличение количества российских и зарубежных сейсмических станций в Евразийской Арктике, оснащенных современной высокочувствительной аппаратурой, что сказалось на уменьшении порога регистрации землетрясений для отдельных районов Арктики.

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 пределах западного сектора Российской Арктики наибольшая сейсмичность проявляется в пределах зоны перехода «континент-океан» и о. Белый, архипелагов Новая Земля и Северная Земля (Рис. 3). Сам шельф Баренцева и Карского морей характеризуется редкой и рассеянной сейсмичностью. Также в район исследования

попадают фрагменты сейсмичности, характерной для полуострова Таймыр и севера Фенноскандии.

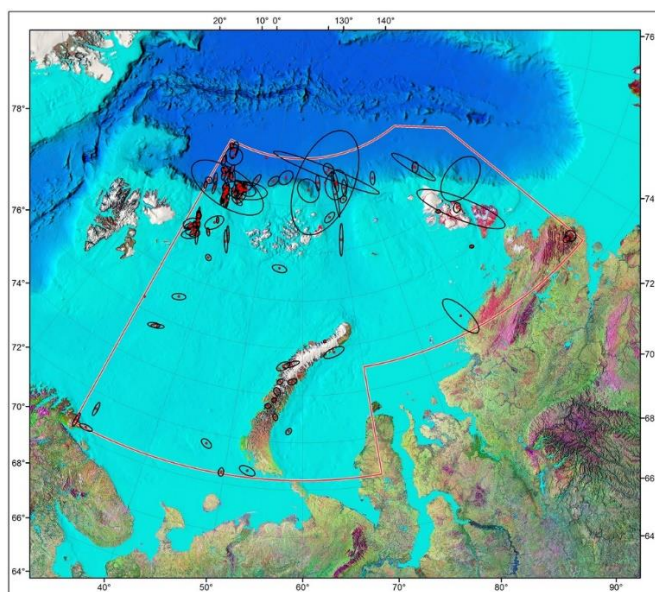


Рис. 3. Карт с обозначением эпицентров землетрясений из созданного сводного уточненного и унифицированного каталога землетрясений западного сектора Российской Арктики.

Было выполнено сравнение параметров ЛДФ-моделей карт ОСР-97 и ОСР-2016 с инструментальными данными из итогового каталога. Конфигурация, значения максимально возможных магнитуд и глубина сейсмогенных слоев доменов ЛДФ-моделей карт ОСР не всегда соответствует инструментальным данным и требуется их корректировка.

На рисунке 4 представлена ЛДФ-модель фрагмента карты ОСР-97 с наложенными эпицентрами землетрясений и их эллипсами ошибок из созданного каталога. 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 и ограничивается с севера в районе бровки 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 представлено в таблице 2. Можно выделить 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 равнине, 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 смесился 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.

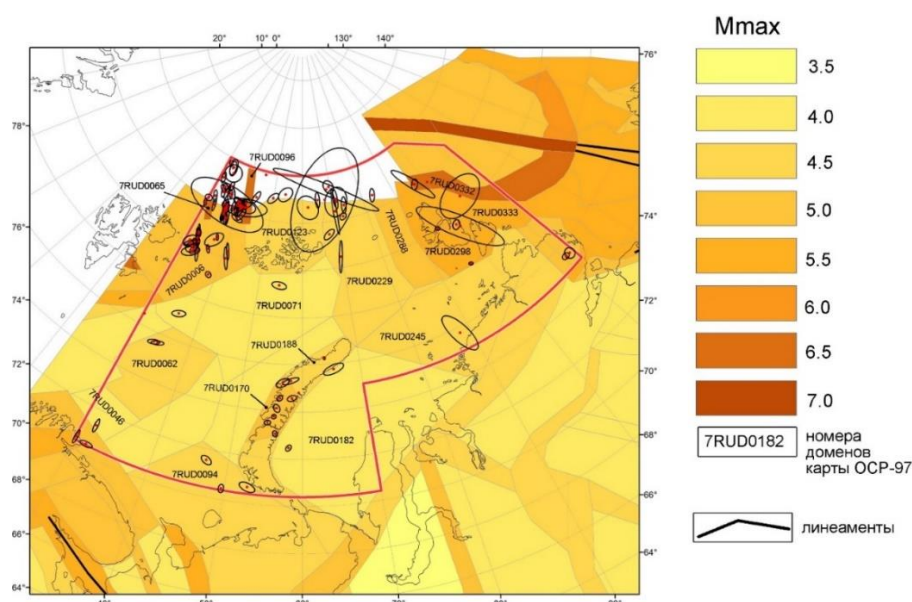


Рис. 4. Фрагмент ЛДФ-модели карты ОСР-97.

– 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 $M_{\max}=4.5$.

На основе выявленных выводов можно предложить следующие рекомендации:

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

На рисунке 5 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 линеamentом 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 представлено в таблице 2. Можно выделить 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 этого землетрясения пересекает линеамент с магнитудой $M_{\max}=6.0$.

На основе выявленных выводов 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.

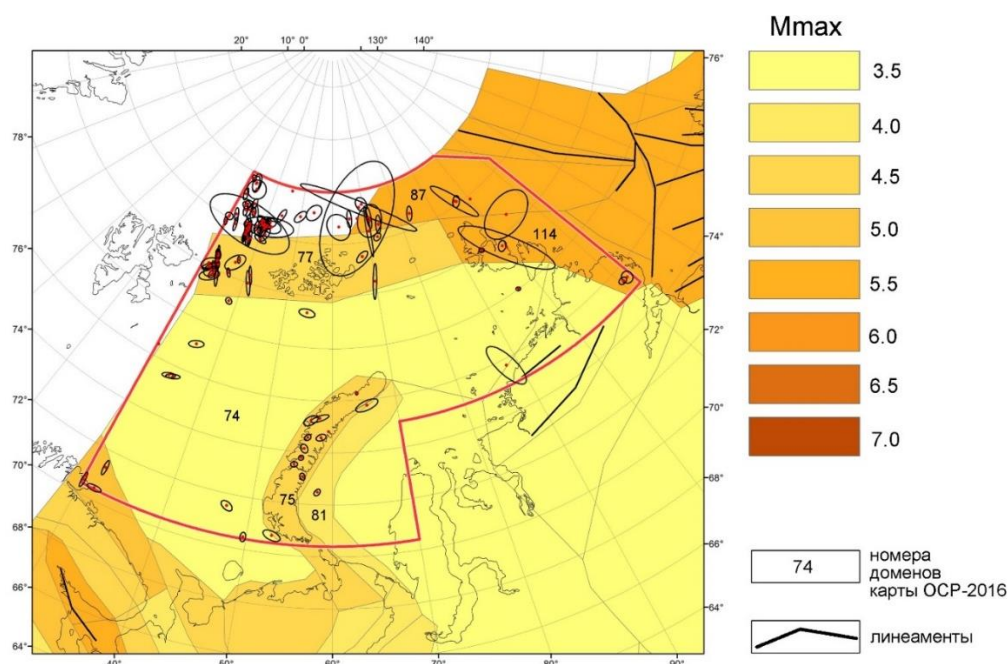


Рис. 5. Фрагмент ЛДФ-модели карты ОСР-2016.

- 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.

Таким образом, 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 влияло 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 полуостров Таймыр. Большой пласт исследований характерен для западной части Баренцево-Карского региона, которая имела хорошую инструментальную представительность практически в течение всего инструментального 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.

Таблица 2. Сравнения параметров ЛДФ-моделей карт ОСР-97, -2016 с инструментальными данными из итогового каталога. Зеленым цветом указаны домены, для которых не выявлены превышения значений $M_{\max}$ магнитудами зарегистрированных землетрясений. Соответственно, красным выделены домены, для которые такие превышения выявлены.

ОСР-97				
Параметры домена			Данные каталога	
№	$M_{\max}$ (MLH, MS)	Hmin-Hmax, км	$M_{\max}$ (MLH, MS)	Hmin-Hmax, км
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)	Hmin-Hmax, км	$M_{\max}$ (MLH, MS)	Hmin-Hmax, км
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	-

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. Исследования выполнены при финансовой поддержке тем НИР, включенных в государственное задание ИФЗ РАН и ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб: ВНИИОкеангеология, 1996. 186 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 // Известия АН СССР. Серия 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.

Завьялов А.Д., Перетокин С.А. Сейсмическая опасность Арктики: состояние и проблемы // Сборник тезисов научно-практической конференции «Инженерная сейсморазведка и сейсмология – 2022». 23-25 марта 2022 г., Москва, Россия. – (в печати).

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 / под ред. НВ Шарова, АА Маловичко, ЮК Щукина. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2007. С. 14–66.

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.

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.

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., Перетокин 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.

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. – ESC2016-373.

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.

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.

Kennett B. L. N., Engdahl E. R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes // Geophysical Journal International. 1995. V. 122. № 1. P. 108–124.

Kennett B.L.N. Seismological tables: ak135 // Research School of Earth Sciences, Australian National University Canberra, Australia. 2005. С. 1–289.

Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic location calibration of the European Arctic // Pure Appl. Geophys. 2001. V. 158(1). P. 117–128.

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., Evtyugina Z.A. Seismicity in the far Arctic areas: Severnaya Zemlya and the Taimyr Peninsula // *Journal of Seismology*. 2021. V. 25. 1171–1188.

Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Asming, V.E., Konechnaya Y.V., Evtyugina Z.A. The instrumental seismicity of the Barents and Kara sea region: relocated event catalog from early twentieth century to 1989 // *Journal of Seismology*. 2018. V. 22. № 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.

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