

АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ

Г.Н. Антоновская¹, Я.В. Конечная^{2,1}, Н.В. Ваганова¹, А.Н. Морозов^{3,1}

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук,
г. Архангельск, essm.ras@gmail.com

²Сектор сейсмического мониторинга Севера Русской плиты ФИЦ ЕГС РАН,
г. Архангельск, arh-seismo@yandex.ru

³ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, morozovalexey@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен обзор сейсмичности арктического региона по данным Архангельской сейсмической сети за 2013 год. Приведен подробный анализ землетрясения 28 марта 2013 г. в 07^h02^m с $M_{\text{per}}=3.4$, произошедшего на территории Архангельской области: природа события определена как тектоническая, рассчитаны параметры эпицентра и механизм очага. Положение эпицентра землетрясения сопоставлено с тектоническими структурами региона.

Ключевые слова: Архангельская область, сейсмические станции, землетрясение, параметры очага.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.22

Для цитирования: Антоновская Г.Н., Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Морозов А.Н. Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 247–255. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.22

Территория ответственности. Согласно [1], «Архангельская область является самым крупным объектом Европейской части Российской Федерации. Площадь ее составляет 587.4 тыс. км². На территории области располагаются самые северные участки суши России: архипелаг Земля Франца-Иосифа, о-ва Новая Земля, Вайгач, Колгуев, Соловецкие и ряд более мелких островов. В состав Архангельской области входит Ненецкий автономный округ (площадь 176.7 тыс. км²)».

С другой стороны, по регионализации Северной Евразии [2] – это северная часть региона XIV, Восточно-Европейской платформы. Согласно [2], координаты угловых точек исследуемой территории следующие: 60.8°N–49.3°E, 60.8°N–38.5°E, 62.6°N–37.0°E, 63.6°N–35.9°E, 65.3°N–35.5°E, 65.8°N–35.7°E, 65.8°N–39.0°E, 66.7°N–42.0°E, 82.0°N–42.0°E, 82.0°N–70.0°E, 68.5°N–70.0°E, 67.0°N–62.0°E, 67.0°N–52.0°E, 65.1°N–49.1°E, 64.8°N–50.5°E, 60.8°N–49.3°E (рис. 1). Вся территория ответственности разделена на четыре района, показанных на рис. 1 цифрами: № 1 – Беломорско-Двинской, № 2 – Тимано-Печорский, № 3 – Новоземельско-Пайхойский и № 4 – Земля Франца-Иосифа.

Сеть станций. Архангельская региональная сеть начала формироваться с конца 2002 г. [3]. В 2013 г. в ее состав входило

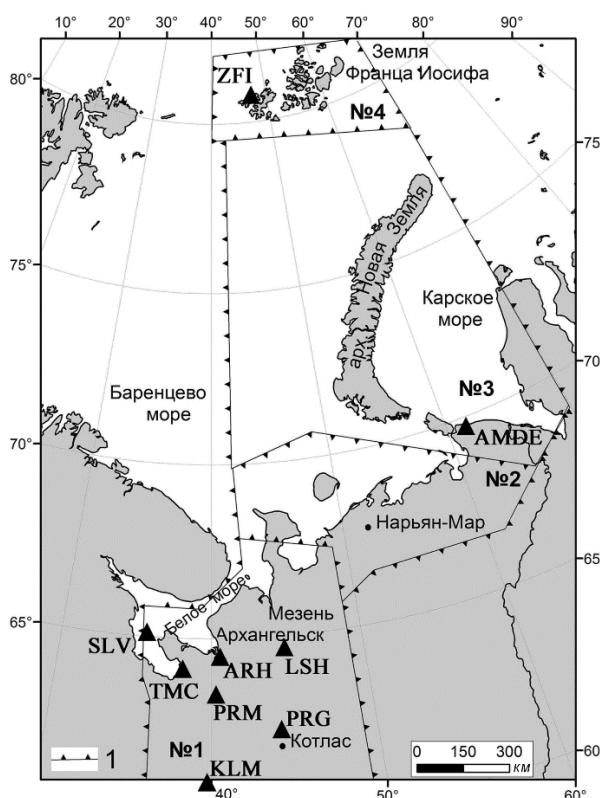


Рис. 1. Карта территории ответственности регистрации сейсмических событий (землетрясений, взрывов и др.) сейсмическими станциями Архангельской сети и ее деление на 4 района

1 – граница района; названия районов и их номера: Беломорско-Двинской (№ 1), Тимано-Печорский (№ 2), Новоземельско-Пайхойский (№ 3), Земля Франца-Иосифа (№ 4)

девять цифровых сейсмических станций – «Архангельск» (ARH), «Климовская» (KLMR), «Пермогорье» (PRGR), «Тамица» (TMCR), «Пермилово» (PRM), «Лешуконское» (LSH), «Соловки» (SLV), «Амдерма» (AMDE) и «Земля Франца-Иосифа» с разнесенными на 250 м приборами (ZFI) и (ZFI2) (рис. 1). Данные о сейсмических станциях и параметрах аппаратуры представлены в Приложении [4] к настоящему ежегоднику. Изменений в составе Архангельской сети в 2013 г. произведено не было.

За весь период наблюдений Архангельской сетью на севере ВЕП было зарегистрировано большое количество техногенных событий и всего два тектонических землетрясения – 22 октября 2005 г. в $17^{\text{h}}46^{\text{m}}$ с $ML_{\text{per}}=2.9$ [5, 6] и 28 марта 2013 г. в $07^{\text{h}}02^{\text{m}}$ с $ML_{\text{per}}=3.4$ [7]. Информация о тектонических землетрясениях на Восточно-Европейской платформе (ВЕП) всегда привлекает большое внимание исследователей. Во-первых, платформа характеризуется относительно слабой сейсмической активностью. Во-вторых, до недавнего времени основными источниками знаний о сейсмичности платформы были письменные свидетельства за исторический период. В-третьих, высокий уровень урбанизации, наличие ответственных и экологически опасных объектов, крупных промышленных центров вызывают необходимость более внимательно отслеживать любые проявления сейсмических процессов на платформенных территориях. Поэтому редкое проявление тектонической сейсмичности делает каждое зарегистрированное землетрясение уникальным событием и требует его тщательного изучения.

Тектоническое землетрясение на севере Русской плиты произошло 28 марта 2013 г. в $07^{\text{h}}02^{\text{m}}$. Оно было зарегистрировано большим количеством станций различных сейсмологических Центров. В табл. 1 сведены результаты вычисления параметров очага по данным различных источников. Авторами проведен расчет параметров гипоцентра землетрясения с использованием всех доступных в настоящее время исходных данных и бюллетеней российских и зарубежных сейсмических станций.

Таблица 1. Параметры гипоцентра землетрясения 28 марта 2013 г. в $07^{\text{h}}02^{\text{m}}$ по данным различных сейсмологических Центров

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
		φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
ISC	07 02 12.6	64.07		41.31		10f			[8]
ISCJB	07 02 11.4	64.03		41.05		10f			[8]
KOLA	07 02 15.1	63.94		41.09		0f			[8]
IEPN	07 02 16.0	63.99		41.20		15			[8]
NORSAR	07 02 18.4	64.18		40.67				$ML=3.1$	[9]
HEL	07 02 18.2	64.10		40.94		15		$ML=2.8$	[10]
IDC	07 02 16.4	64.01		41.18		–		$ML=2.9, m_b=3.1, M_s=3.5$	[11]

Помимо записей станций Архангельской сети, анализировалась информация следующих бюллетеней: ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск), сейсмологического Центра ISC (Великобритания) и Института сейсмологии Университета г. Хельсинки (Финляндия). Исходные данные (сейсмограммы) зарубежных сейсмических станций привлекались из Центра данных GEOFON [12]. Исходные данные отечественных станций были получены из архива ФИЦ ЕГС РАН (г. Обнинск), Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) и Горного института УрО РАН (г. Пермь).

Анализ исходных цифровых сейсмических записей землетрясения с целью выделения и уточнения времен вступлений сейсмических фаз проводился в программном комплексе WSG [13], разработки ФИЦ ЕГС РАН. Определение параметров гипоцентров производилось методом Generalized beamforming [14] в усовершенствованном виде, реализованном в программе NAS (New Association System). Программа NAS, в свою очередь, является подпрограммой системы NSDL (New System for Detection and Location), разработки к.ф.-м.н. В.Э. Асминга, предназначенной для организации автоматического мониторинга сейсмической активности какого-либо региона с помощью произвольной сети сейсмостанций или отдельных сейсмостанций [15].

В отличие от традиционного применения метода Generalized beamforming, когда сейсмические события ищутся за большой промежуток времени в большом районе Земли, NAS делает поиск по сетке в ограниченной области пространства-времени в окрестности этого события.

Как правило, в круге радиусом 250 км вокруг исходной локации события и для времен в очаге от $t_1=t_0-30^s$ до $t_2=t_0+30^s$, где t_0 – время в очаге события-прототипа. Выбрав исходные параметры сейсмического события, NAS генерирует в окружающей исходные координаты области (круге) сетку, состоящую из круговых ячеек, которые покрывают всю область. Для каждой ячейки сетки вычисляется рейтинг, являющийся комбинацией нескольких различных оценок, – некое число, являющееся оценкой того, что именно в этой ячейке произошло сейсмическое событие. Затем происходит уменьшение сетки. Из нее выбрасывается $\frac{3}{4}$ ячеек с меньшими рейтингами, а каждая оставшаяся ячейка разбивается на четыре меньших. Для них снова рассчитываются рейтинги. Такая процедура производится итеративным способом несколько раз. Если в результате наибольший рейтинг оставшейся ячейки превышает некий порог, считается, что в ней произошло сейсмическое событие. Координаты события оказываются известными с точностью до размеров ячейки, а время – с точностью до шага по времени, который использовался для максимизации рейтинга. Ассоциация фаз производится отдельно по каждой глубине с определенным шагом. В данном исследовании расчет глубины производился в диапазоне от 0 до 100 км с шагом 2 км.

На втором этапе локация уточняется с помощью минимизации невязки оценки времени в очаге по этим, найденным таким образом, временам и их весам, и строится доверительная область локации (эллипс ошибок). Доверительная область вместо точки истинной локации возникает из-за того, что важные для локации величины известны неточно. Во-первых, времена приходов волн на станции измеряются с погрешностью. Будем обозначать интервал этих погрешностей как $\delta t = [-\Delta t_{\text{прихода}}, +\Delta t_{\text{прихода}}]$. Другими словами, будем считать, что ошибки измерения времен прихода с некой большой вероятностью (скажем, 95 %) лежат в этом интервале. Во-вторых, скоростная модель, используемая для расчета времен пробега, также неточна. Будем считать, что, если кажущаяся скорость в некотором случае, согласно модели, равна v , то с той же большой вероятностью (95 %) истинная кажущаяся скорость лежит в интервале $[v-\Delta v, v+\Delta v]$. Таким образом, для расчета доверительной области, помимо знания известных фаз и координат датчиков, необходимы оценки погрешностей Δv скоростной модели и измерения вступлений Δt для разных типов волн. В данном исследовании значения погрешностей скоростной модели были приняты равными $\Delta v = 0.15$ км/с, а значения погрешностей измерения вступлений $\delta t = 0.3^s$.

При вычислении параметров гипоцентров землетрясений использовалась скоростная модель BARENTS [16]. Эффективность данной модели, в том числе для района севера Русской плиты, была показана в статье [17] на основе пересчета параметров гипоцентров подземных ядерных взрывов 18 июля 1985 г. в 21^h15^m и 6 сентября 1988 г. в 16^h20^m , произведенных на севере Европейской части России для гражданских целей [18].

Определение основных параметров очага землетрясения проводилось авторами с привлечением данных по 26 вступлениям сейсмических фаз P - и S -волн с 13 сейсмических станций. Диапазон значений эпицентральных расстояний составляет от 85 до 1800 км, а азимутальный створ от 45° до 342° . Итоговые параметры гипоцентра землетрясения приведены в табл. 2 и на рис. 2 (а–е). Эпицентр располагается в 80 км южнее г. Архангельска, в слабо населенном районе, чуть западнее р. Северная Двина. Диапазон возможных значений глубин очага варьируется от $h_1=2$ до $h_2=33$ км, а значение глубины с максимальным значением рейтинговой функции равно 19 км.

Таблица 2. Параметры гипоцентра землетрясения 28 марта 2013 г. в 07^h02^m

Дата д м	t_0 , ч мин с	Координаты гипоцентра			Эллипс ошибок			$M_{L_{\text{per}}}$	I_0
		φ° , N	λ° , E	h , км	$Az_{\text{major}},^\circ$	R_{minor} , км	R_{major} , км		
28.03	07 02 16.2	63.95	41.57	(19) 2–33	160	6.68	8.48	3.4	1

В программе FA2011 [19] был рассчитан механизм очага землетрясения по знакам первых вступлений продольных P -волн. Параметры первых вступлений были определены по 15 станциям, из них на 11 зарегистрированы волны сжатия, на четырех – волны разрежения (часть вступлений была определена И.П. Габсатаровой по данным сейсмических станций сети ФИЦ ЕГС РАН). Тип движения по обеим плоскостям – сдвиг. Параметры плоскостей (Strike, Dip, Slip) следующие: для 1-й плоскости 331° , 79° , 165° ; для 2-й плоскости 64° , 75° , 11° . Полученная по этим параметрам диаграмма механизма очага представлена на рис. 2 (б).

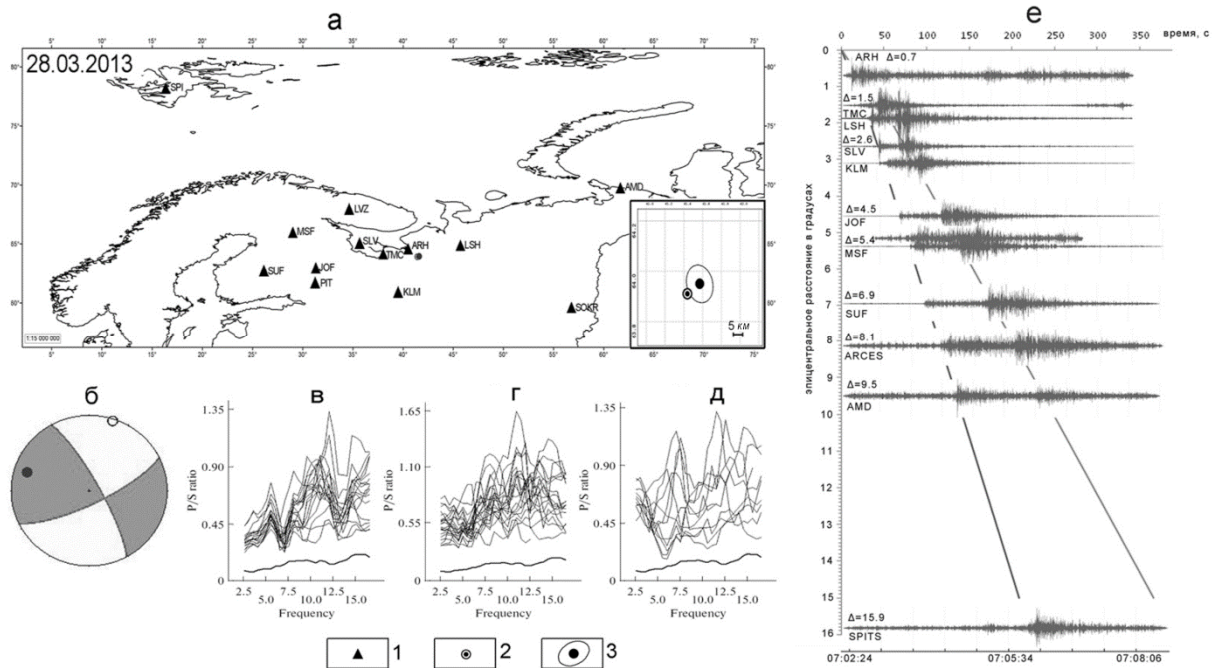


Рис. 2. Уточнение параметров гипоцентров землетрясений 28.03.2013 г.

а – карта расположения сейсмических станций, участвовавших в расчете; б – фокальный механизм (Double Couple) землетрясения. Сравнение отношений средних амплитуд волн P - и S -волн сейсмического события 28.03.13. (жирная линия) и промышленных взрывов (тонкие линии) из карьеров: в – на востоке Карелии; г – «СОБР» (Архангельская обл.); д – «Савинский ЦЗ» (Архангельская обл.); е – цифровые записи станций, удаленных на разные расстояния от эпицентра; 1 – сейсмическая станция; 2 – исходный эпицентр с координатами из табл. 1; 3 – уточненный эпицентр с координатами из табл. 3 и эллипс ошибок

Сотрудниками лаборатории сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА РАН было проведено исследование возможного макросейсмического эффекта от землетрясения. Для этого в ближайших к эпицентру населенных пунктах Холмогорского района Архангельской области был проведен опрос по телефону глав сельсоветов и местного населения. Однако каких-либо сведений о макросейсмических эффектах получено не было. Все это позволяет считать произошедшее землетрясение не ощутимым на поверхности и дает основание для присвоения землетрясению значения интенсивности 1 балл по шкале MSK-64 [20]. Следует отметить, что полноценных макросейсмических исследований с выездами экспедиционного отряда в ближайшие к эпицентру деревни не проводились. Поэтому не исключено, что макросейсмические эффекты были и интенсивность землетрясения может быть отличной от 1.

Природа землетрясения. Проверка тектонической природы зарегистрированного землетрясения осуществлялась с помощью совокупности критериев, выявленных ранее в работе [21] на основе опыта, накопленного сотрудниками Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН. В результате задача идентификации для Архангельской сейсмической сети решается путем анализа сейсмического события неизвестной природы по записям станции «Климовская» (KLM) по следующим критериям:

- отношение средних амплитуд волн P - и S -волн (если значение параметра меньше 0.3, то это может свидетельствовать в пользу того, что сейсмическое событие является землетрясением);
- характер изменения спектра во времени (высокие значения параметра линейной регрессии, вычисленные для средней корреляции спектров $A(t)$, свидетельствуют об искусственном происхождении сейсмического события);
- сравнение обобщенных огибающих записей промышленных взрывов и анализируемого события;
- значение магнитуды ML (значение ML для взрывов из карьеров Архангельской области не превышают 2.8);
- наличие или отсутствие карьера в районе, куда падает эпицентр события (события, произошедшие в пределах карьеров, с большей вероятностью могут быть квалифицированы как взрывы);

– время (UTC) и день недели (для каждого карьера Архангельской области были проанализированы времена и дни недели производства взрывных работ).

По результатам проверки природы землетрясения с помощью совокупности критериев можно однозначно говорить о его тектонической природе. Например, сравнение параметров P/S наглядно показывает, что для анализируемого сейсмического события значения P/S на рис. 2 (в–д) не попадают в диапазон возможных значений для промышленных взрывов. Более подробно анализ природы землетрясения рассматривается в работе [21].

Тектоническая позиция. Эпицентр землетрясения 2013 г. приурочен к разлому, ограничивающему Архангельский выступ и Онежско-Кандалакшский палеорифт. Примечательно, что активность этого разлома была показана ранее в работе [22] на основе регистрации эндогенного излучения. Вычисленный фокальный механизм очага землетрясения полностью соотносится с выводами работы Л.А. Сим [23] о характерном для севера Русской плиты региональном субмеридиональном сжатии и субширотном растяжении в горизонтальной плоскости. Меридиональное сжатие, как уже отмечалось, вызвано влиянием рифтогенеза в Атлантическом и Арктическом бассейнах (рис. 3). Землетрясения 2005 и 2013 г. можно рассматривать как подтверждение активности разломов СЗ-ЮВ простирания, подвижки по которым и породили их очаги в земной коре.

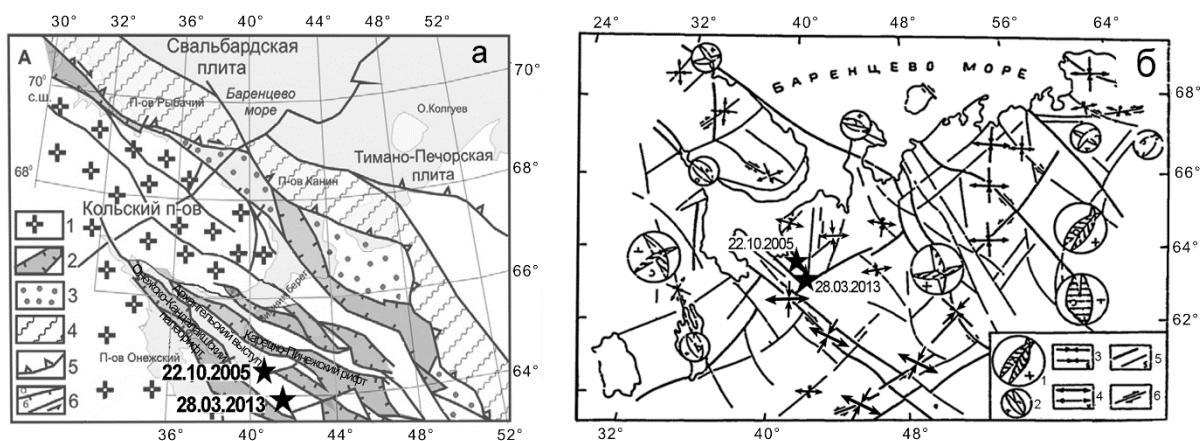


Рис. 3. Тектоника палеорифтовой системы Белого моря (а) [24] и Карта неотектонических напряжений европейского севера России (б) [23] с обозначением эпицентров землетрясений (звездочка) 22 октября 2005 г. в $17^{\circ}46^{\prime}$ с $ML_{\text{рег}}=2.9$ и 28 марта 2013 г. в $07^{\circ}02^{\prime}$ с $ML_{\text{рег}}=3.4$

а: 1 – Балтийский щит; 2 – рифейские палеорифты; 3 – Притиманский прогиб; 4 – Тимано-Варангельский пояс байкалитид; 5 – конвергентный шов; 6 – сбросы (а) и сдвиги (б)

б: 1, 2 — тектонические напряжения первого (1) и второго (2) порядка, восстановленные кинематическим методом по зеркалам скольжения (стереографические проекции, верхняя полусфера, оси сжатия показаны крестиками, оси растяжения – кружками; стрелки на плоскостях максимальных касательных напряжений указывают перемещение висячего крыла); 3, 4 – субгоризонтальные оси сжатия (3) и растяжения (4) первого (а) и второго (б) ранга, восстановленные методом вторичных нарушений; 5 – неотектонические разломы первого (а) и второго (б) ранга; 6 – прогнозируемые сдвиговые смещения.

Карта землетрясений Арктического региона, зарегистрированных по данным станций Архангельской сейсмической сети (АСС) и обработанных с привлечением волновых форм станций других сетей, представлена на рис. 4. В сводную обработку привлекались дополнительно исходные данные сейсмической группы SPITS (NORSAR, Норвегия, код сети NO), станций KBS, HOPEN и BJO1 (The University of Bergen, Норвегия, код сети BER) и станции HSPB (Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences, Польша, код сети PL). Методика наблюдений и обработки данных подробно описана в [25]. Результаты обработки для всех событий приведены в каталоге настоящего ежегодника [7]. Распределение землетрясений (рис. 4) соотносится с сейсмоактивными зонами Арктики – подводными хребтами Книповича и Гаккеля, арх. Шпицберген. Как и в 2012 г. [26], вблизи района № 4 наблюдаются слабые землетрясения на шельфовой части Баренцева моря. Они приурочены к желобу Франц-Виктории, границе континентального склона и о. Белый. Всего за 2013 г. определены координаты эпицентров 290 землетрясений [7]. Представительный уровень магнитуды Евро-Арктического региона по данным Архангельской сети в 2013 г. составляет $ML_{\text{пред}}=2.9$.

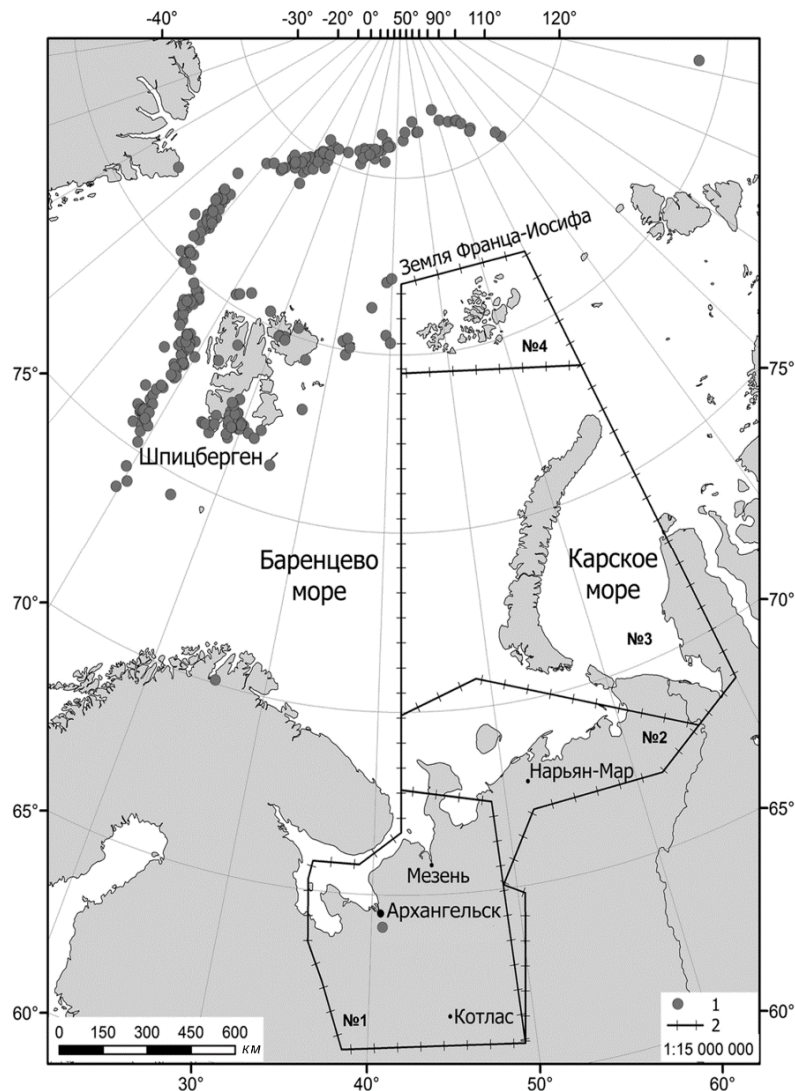


Рис. 4. Распределение эпицентров землетрясений за 2013 г. в Арктике по данным обработки АСС и границы зон ответственности Архангельской сети

Таким образом, в статье приведен подробный анализ землетрясения 28 марта 2013 г. в 07^h02^m с $ML_{\text{рег}}=3.4$ [7], произошедшего на севере ВЕП. Природа события определена как тектоническая, рассчитаны параметры эпицентра и механизм очага. Эпицентр землетрясения 2013 г. приурочен к разлому, ограничивающему Архангельский выступ и Онежско-Кандалакшский палеорифт. Представлен обзор сейсмичности Арктического региона в 2013 году. Архангельской сейсмической сетью было зарегистрировано 290 землетрясений с магнитудами ML от 1.4 до 4.7 [7], с представительным уровнем магнитуды по Евро-Арктическому региону $ML_{\text{пред}}=2.9$.

Л и т е р а т у р а

1. Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ГС РАН, 2002. – С. 152–154.
2. Введение // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 7–12.
3. Юдахин Ф.Н., Французова В.И., Мехрюшев Д.Ю. Север Русской плиты // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 220–227.
4. Французова В.И. (сост.). Цифровые станции Архангельской сейсмической сети в 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.

5. **Юдахин Ф.Н., Французова В.И.** Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 251–258.
6. **Французова В.И. (отв. сост.).** Каталог землетрясений Архангельской области за 2005 год // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – Приложение на CD.
7. **Конечная Я.В. (отв. сост.).** Каталог землетрясений Архангельской области за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD_ROM.
8. **International Seismological Centre**, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
9. **Norwegian National Data Center NORSAR** [Сайт]. – URL: <http://www.norsardata.no/>
10. **Institute of Seismology (University of Helsinki)** [Сайт]. – URL: <http://www.helsinki.fi/geo/seismo/english/bulletins/index.html>
11. **International Data Centre, CTBTO (IDC)** [Сайт]. – URL: <https://www.ctbto.org/>
12. **Hanka, W., & Kind, R.** The GEOFON program. – Annals of Geophysics. – 1994. – Т. 37. – № 5.
13. **Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П.** Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
14. **Ringdal F., Kverna T.** A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1989. – **79**. – № 6. – С. 1927–1940.
15. **Asming, V. & Prokudina, A.** (2016) System for automatic detection and location of seismic events for arbitrary seismic station configuration NSDL. – ESC: 2016-373, 35th General Assembly of the European Seismological Commission.
16. **Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F.** Seismic location calibration of the European Arctic // Pure and Applied Geophysics. – 2001. – **158**. – № 1–2. – С. 117–128.
17. **Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Михайлова Я.А.** Сейсмичность севера Русской плиты: уточнение параметров гипоцентров современных землетрясений // Физика Земли. – № 2. 2018. – С. 104–123.
18. **Yang X. Robert North, and Carl Romney** Worldwide nuclear explosions // International geophysics series. – 2003. – **81**. – № B. – С. 1595–1600.
19. **Ландер А.В.** Комплекс программ определения механизмов очагов землетрясений и их графического представления // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (01.01.2003–31.12.2003) / Отчет КОМСП ГС РАН. – Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2004.
20. **Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
21. **Морозов А.Н., Иванова Е.В., Асминг В.Э.** О природе сейсмического события, зарегистрированного в Архангельской области 28 марта 2013 года // Восьмая Международная сейсмологическая Школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 214–218.
22. **Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Шахова Е.В.** Исследования активности платформенных территорий с использованием микросейсм. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 129 с.
23. **Сим Л.А., Жиров Д.В., Маринин А.В.** Реконструкция напряженно-деформированного состояния восточной части Балтийского щита // Геодинамика и тектонофизика. 2011. № 3. С. 219–243.
24. **Балуев А.С.** Континентальный рифтогенез севера Восточно-Европейской платформы в неогее: геология, история развития, сравнительный анализ / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Москва, 2013. – 49 с.
25. **Французова В.И., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В.** Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 222–228.
26. **Антоновская Г.Н., Конечная Я.В., Федоренко И.В.** Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 228–233.

METADATA IN ENGLISH

ARKHANGELSK REGION

G.N. Antonovskaya¹, Ya.V. Konechnaya^{2,1}, N.V. Vaganova¹, A.N. Morozov^{3,1}¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of RAS,Arkhangelsk, Russia, essm.ras@gmail.com²Geophysical Survey of RAS, Arkhangelsk, Russia, arh-seismo@yandex.ru³Geophysical Survey of RAS, Obninsk, Russia, morozovalexey@yandex.ru

Abstract. An overview of regional seismicity registered by Arkhangelsk seismic network is presented. In 2013 the Arkhangelsk seismic network included 9 digital seismic stations (ARH, KRR, PRG, TMC, PRO, LASH, SLV, AMD and ZFI/ZFI2). A large number of technogenic events were recorded by the Arkhangelsk network in the north of the East European Platform (Arkhangelsk Region). Only 2 earthquakes were registered during the entire observation period: on October 22, 2005 at 17^h46^m with $ML=2.9$, and on March 28, 2013 at 07^h02^m with $ML=3.4$. The parameters of the hypocenter of the March 28, 2013 earthquake were evaluated using all currently available source data and bulletins of Russian and foreign seismic stations. The evaluation was done using the method of Generalized beamforming, in an improved form, implemented in the program NAS (New Association System). This earthquake is reprocessed using the same initial data (26 arrivals of seismic P- and S-phases from 13 seismic stations) by the NAS program. The epicentral distances ranged from 85 to 1800 km. The final parameters of the epicenter are as follows: 28.03.2013, $t_0=07:02:16.2$, $\varphi=63.95^\circ\text{N}$, $\lambda=41.57^\circ\text{E}$. The epicenter is located 80 km south of Arkhangelsk in a sparsely populated area slightly west of the Severnaya Dvina River. The probable source depths lie in the interval from 2 to 33 km and the depth with the maximal value of the rating function is 19 km. A map of earthquakes in the Arctic region is provided. Earthquakes were registered by stations of the Arkhangelsk seismic network and processed together with the waveforms from other networks. The distribution of earthquakes correlates with the seismic zones of the Arctic – the Knipovich and Gakkel ridges, Spitsbergen. There are weak earthquakes on the shelf of the Barents Sea near the Frantz Josef land archipelago, as in 2012. They relate to the trench of Franz Victoria, the border of the continental slope and the island of Bely. The coordinates of the epicenters of 290 earthquakes were determined in 2013. The representative level of the Euro-Arctic region's magnitude for 2013 according to the Arkhangelsk network was 2.9.

Keywords: Arkhangelsk region, seismic station, earthquake, parameters of epicenter.

DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.22

For citation: Antonovskaya, G.N., Konechnaya, Ya.V., Vaganova, N.V., & Morozov, A.N. (2019). Arkhangelsk region. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), 247–255. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.22

References

1. Yudahin, F.N., & Francuzova, V.I. (2002). [Arkhangelsk region]. In *Zemletryaseniia severnoi Evrazii v 1996 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 1996] (pp. 152–154). Moscow: GS RAN Publ. (In Russ.).
2. [Introduction]. (2010). In *Zemletryaseniia severnoi Evrazii, 2004 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 7–12). Obninsk: GS RAN Publ. (In Russ.).
3. Yudahin, F.N., Francuzova, V.I., & Mehryushev, D.Yu. (2010). [North of the Russian Plate]. In *Zemletryaseniia severnoi Evrazii, 2004 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 220–227). Obninsk: GS RAN Publ. (In Russ.).
4. Francuzova, V.I. (2019). Digital stations of the Arkhangelsk seismic network in 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).
5. Yudahin, F.N., & Francuzova, V.I. (2011). [Arkhangelsk region]. In *Zemletryaseniia severnoi Evrazii, 2005 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 251–258). Obninsk: GS RAN Publ. (In Russ.).
6. Francuzova, V.I. (2011). [Catalogue of earthquakes in Arkhangelsk region for 2005]. In *Zemletriaseniia severnoi Evrazii, 2005 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (Appendix on CD). Obninsk: GS RAN Publ. (In Russ.).
7. Konechnaya, Ya.V. (2019). Catalog of earthquakes of the Arkhangelsk region for 2013. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22 (2013), Appendix on CD. (In Russ.).

8. International Seismological Centre. (2019). On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
9. NORSAR. (2019). Retrieved from <http://www.norsardata.no/>
10. Institute of Seismology (University of Helsinki). (2019). Retrieved from <http://www.helsinki.fi/geo/seismo/english/bulletins/index.html>
11. International Data Centre (IDC). (2019). Retrieved from <https://www.ctbto.org/>
12. Hanka, W., & Kind, R. (1994). The GEOFON program. *Annals of Geophysics*, 37 (5).
13. Krasilov, S.A., Kolomiets, M.V., & Akimov, A.P. (2006). [Organization of digital seismic data processing using the WSG software]. In *Materialy I Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh"*. [Proceedings of the I International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 77–83). Obninsk: GS RAS Publ. (in Russ).
14. Ringdal F., & Kväerna T. (1989). A multi-channel processing approach to real time network detection, phase association, and threshold monitoring. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79(6), 1927–1940.
15. Asming, V., & Prokudina, A. (2016). System for automatic detection and location of seismic events for arbitrary seismic station configuration NSDL. *ESC*, 373, 2016.
16. Kremenetskaya, E., Asming, V., & Ringdal, F. (2001). Seismic location calibration of the European Arctic. *Pure and Applied Geophysics*, 158 (1–2), 117–128.
17. Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Asming, V.E., & Mikhailova, Ya.A. (2008). [Seismicity of the North of the Russian Plate: Relocation of Recent Earthquakes]. *Fizika Zemli*. [Izvestiya. Physics of the solid Earth], 2, 104–123.
18. Yang, X., North, R., Romney, C., & Richards, P.G. (2003). Worldwide nuclear explosions. *International geophysics series*, 81(B), 1595–1600.
19. Lander, A.V. (2004) [A set of programs for determining the mechanisms of earthquake foci and their graphical representation]. In *Kompleksnye seysmologicheskie i geofizicheskie issledovaniya Kamchatki i Komandorskih ostrovov (01.01.2003–31.12.2003), otchet KOMSP GS RAN*. [Complex seismological and geophysical studies of Kamchatka and the Commander Islands (01.01.2003–31.12.2003), report of KOMSP GS RAS]. *Petropavlovsk-Kamchatskij, Fondy KF GS RAN*. (in Russ).
20. Medvedev, S.V. Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 seismic intensity scale]. Moscow: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p.
21. Morozov, A.N., Ivanova, E.V., & Asming, V.E. (2013). [About the nature of the seismic event registered in the Arkhangelsk region on March 28, 2013]. In *Materialy VIII Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh"*. [Proceedings of the VIII International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 214–218). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ.).
22. Yudahin, F.N., Kapustyan, N.K., & Shahova, E.V. (2008). *Issledovaniya aktivnosti platformennykh territorij s ispol'zovaniem mikrosejsm* [Research of activity of platform territories using microseisms]. *Ekaterinburg: UrO RAN*, 129 p. (in Russ).
23. Sim, L.A., Zhironov, D.V., & Marinin, A.V. (2011). [Stress-and-strain reconstruction for the eastern segment of the baltic shield]. *Geodinamika i tektonofizika*. [Geodynamics&Tectonophysics], 3, 219–243. (in Russ).
24. Baluev, A.S. (2013). *Kontinental'nyi riftogenez severa Vostochno-Evropeiskoi platformy v neogee: geologiya, istoriya razvitiia, sravnitel'nyi analiz. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk* [Continental rifting of the Northern East European platform in NeoGeo: Geology, history of development, comparative analysis. Dr. geol. and min. sci. thesis]. Moscow: GI RAS, 43 p. (In Russ).
25. Francuzova, V.I., Antonovskaya, G.N., & Konechnaya, Ya.V. (2017). [Arkhangelsk region]. In *Zemletryaseniia severnoi Evrazii, 2011 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2011] (pp. 222–228). Obninsk: GS RAS Publ. (In Russ).
26. Antonovskaya, G.N., Konechnaya, Ya.V., & Fedorenko, I.V. (2012) Arkhangelsk region. *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21 (2012), 228–233.(In Russ).