

## АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ

Г.Н. Антоновская<sup>1</sup>, Я.В. Конечная<sup>2,1</sup>, И.В. Федоренко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск, [essm.ras@gmail.com](mailto:essm.ras@gmail.com)

<sup>2</sup>Сектор сейсмического мониторинга Севера Русской плиты ФИЦ ЕГС РАН, г. Архангельск, [arh-seismo@yandex.ru](mailto:arh-seismo@yandex.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты сейсмического мониторинга и карта землетрясений, зарегистрированных по данным станций Архангельской сейсмической сети. Всего за 2012 г. лоцировано 211 землетрясений, выявлена роевая активность на хр. Гаккеля.

**Abstract.** The results of seismic monitoring and earthquakes map are presented which were recorded by Arkhangelsk seismic network. Total 211 earthquakes were located. Swarm activity was found out on the Gakkel Ridge.

**Территория ответственности.** Согласно [1], «Архангельская область является самым крупным объектом Федерации в Европейской части России. Площадь ее составляет 587.4 тыс. км<sup>2</sup>. 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 национальный округ (площадь 176.7 тыс. км<sup>2</sup>) (рис. 1)».

С другой стороны, по регионализации Северной Евразии [2] – это северная часть региона XIV, Восточно-Европейской платформы. Согласно [3], координаты угловых точек исследуемой территории в границах 16-угольника на рис. 2, 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. 2). Вся территория ответственности разделена на четыре района, а именно: № 1 – Беломорско-Двинской, № 2 – Тимано-Печорский, № 3 – Новоземельско-Пайхойский и № 4 – Земля Франца-Иосифа.

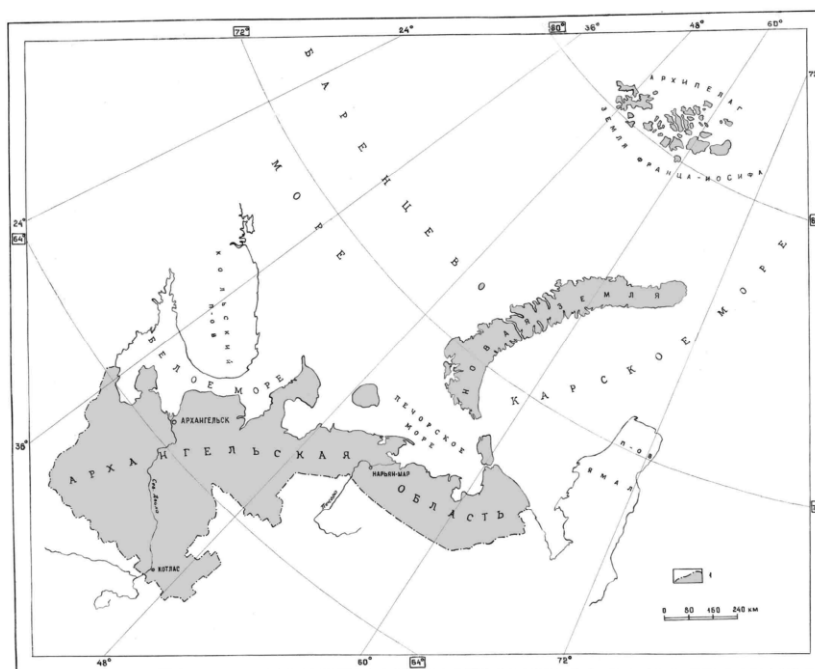


Рис. 1. Карта Архангельской области

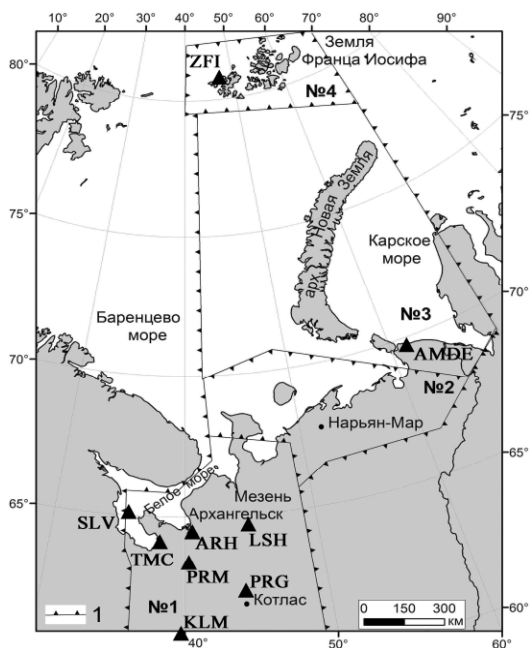


Рис. 2. Карта районов и сейсмических станций Архангельской области

Коды и названия станций: ZFI – «Земля Франца-Иосифа»; AMDE – «Амдерма»; SLV – «Соловки»; TMC – «Тамица»; ARH – «Архангельск»; LSH – «Лешуконское»; PRM – «Пермилово»; PRG – «Пермогорье»; KLM – «Климовская».

тень, где максимально полно отображаются зарегистрированные на станциях АСС события;

2) совокупная обработка зарегистрированных событий по набору станций, формирование окончательного сейсмического бюллетеня и построение карты сейсмичности.

На первом этапе проводится просмотр записей семи станций: KLM, LSH, AMD, PRG, SLV, TMC, ZFI–ZFI2. Составляются индивидуальные станционные бюллетени, которые объединяются в общий промежуточный бюллетень. Ежемесячно станциями Архангельской сети регистрируется от 100 до 170 региональных и локальных сейсмических событий различной природы, в их числе землетрясения, промышленные взрывы, техногенные катастрофы и пр. Бюллетень региональных и локальных сейсмических событий содержит следующую информацию: код станции; дата и время вступления фаз на записях станции, природа зарегистрированного сейсмического события (землетрясение, взрыв и т.д.); тип события (региональное или локальное) и наличие информации о нем в других сейсмических каталогах.

На втором этапе сейсмические события лоцируются с привлечением дополнительно к станциям Архангельской сети волновых форм станций соседних сейсмических сетей, расположенных на архипелаге Шпицберген и Скандинавском полуострове, принадлежащих международным сейсмологическим центрам Норвегии (<http://www.norsardata.no/>; <http://www.uib.no/en/rg/geodyn/55876/nnsn>), Финляндии (<http://www oulu.fi/sgo-oty/stats.html>) и Польши (<http://www.fdsn.org/networks/detail/PL/>). Эта вынужденная мера позволяет повысить точность локации.

Положение эпицентра, как правило, определяется методом засечек по разности фаз  $S-P$  или  $S_n-P_n$ ,  $S_g-P_g$ . Результатом совместной обработки является определение положения эпицентра и его локальной магнитуды  $M_L$ . Итоговый бюллетень содержит подробную информацию о каждом обработанном землетрясении или техногенном событии: дату и время в очаге; координаты эпицентра; количество станций, участвовавших в обработке; географическое местоположение эпицентра; эпицентральное расстояние до каждой станции; время вступления и четкость фаз; величину магнитуды и ее тип.

Просмотр записей и совместная обработка по данным нескольких станций производится в программном комплексе WSG [8]. При регистрации сейсмического события только пунктом

**Сеть станций.** Архангельская территориальная сеть начала формироваться с конца 2002 г. [4] с открытием 01.11.2002 г. цифровой станции «Архангельск». К концу 2003 г. были введены в опытную эксплуатацию еще три цифровые станции – «Климовская», «Пермогорье», «Тамица», а на конец 2012 г. в ее составе появились еще пять станций – «Пермилово», «Лешуконское», «Соловки», «Амдерма», «Земля Франца-Иосифа» (рис. 2). Последняя из них представляет особый интерес, т.к. расположена вне материковой части России и существенно дополнила возможность локации арктических землетрясений. Данные о сейсмических станциях и параметрах аппаратуры представлены в Приложении [5] к наст. ежегоднику. Изменений в составе Архангельской сети в 2012 г., относительно такого в 2011 г. [6], произведено не было.

**Методика наблюдений и обработки** в 2012 г. соответствовала новому регламенту, установленному в 2011 г., после открытия в составе Архангельской сейсмической сети новых арктических станций «Амдерма» AMD (2010 г.) и «Земля Франца-Иосифа» ZFI и ZFI2 (2011 г.). Согласно [7], анализ региональных сейсмических событий условно разбивается на два этапа:

1) просмотр записей каждой из сейсмических станций и формирование промежуточного бюллетеня;

2) совокупная обработка зарегистрированных событий по набору станций, формирование окончательного сейсмического бюллетеня и построение карты сейсмичности.

«Земля Франца-Иосифа» его обработка проводится с привлечением программы КоФ ГС РАН Event Locator, разработанной В.Э. Асмингом [9].

Для обработки событий из Евро-Арктики преимущественно используется годограф Varents [10], разработанный в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН к.ф.-м.н. В.Э. Асмингом и к.ф.-м.н. Е.О. Кременецкой. Но бывают ситуации, когда приходится использовать мировой IASPEI [11] или региональный годограф NOES для района Земли Франца-Иосифа [12].

**Классификация землетрясений** по их величине проводится по локальной магнитуде  $ML$ , определяемой по осредненной калибровочной кривой для Северной Евразии, предложенной в программном комплексе WSG [8]. Станционные поправки для станций Архангельской сети принимаются равными нулю. В [7] получены предварительные варианты корреляционных соотношений магнитуды  $ML$  с моментной магнитудой  $M_{WGCMT}$ , магнитудой по поверхностным волнам  $M_{SISC}$  и локальной магнитудой  $ML_{NORSAR}$  в виде:

$$M_{WGCMT} = 2.96 + 0.41ML,$$

$$M_{SISC} = 3.71 + 0.28ML,$$

$$ML_{NORSAR} = -0.15 + 1.02ML.$$

**Каталог землетрясений.** Всего за 2012 г. лоцировано 211 землетрясений [13]. Многие из них под кодовым индексом «IEPN» (Institute of Environmental Problems of the North, Russian Academy of Sciences // Институт экологических проблем Севера Российской академии наук) [14] размещены на сайте международного бюллетеня ISC, хотя и с пометкой «Event not reviewed by the ISC». В 2012 г. представительный уровень магнитуды Евро-Арктики по данным Архангельской сети равен  $ML_{пред} = 3.0$ .

На рис. 3 представлена карта землетрясений, зарегистрированных по данным станций Архангельской сейсмической сети (АСС) и обработанных с привлечением волновых форм станций других сетей. Как видим, на этой карте внутри границ ответственности нет ни одного эпицентра, т.е. все четыре района № 1–4 асейсмичны. Следовательно, все обработанные землетрясения, представленные в каталоге [13], являются внешними.

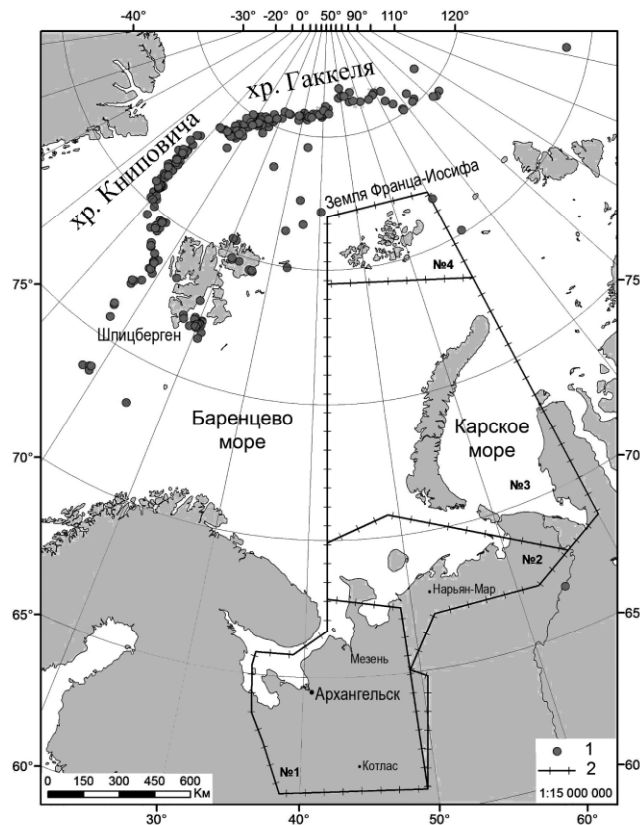


Рис. 3. Распределение эпицентров землетрясений за 2012 г. по данным обработки АСС и границы зон ответственности Архангельской сети

Несмотря на то, что эпицентры землетрясений, представленные на рис. 3, не расположены в зонах ответственности Архангельской сети, на них следует обратить особое внимание. Дело в том, что из 211 землетрясений, зарегистрированных АСС, лишь о 16 имеется информация в каталоге ISC, для которых в табл. 1 приведены кинематические параметры, рассчитанные по данным обработок АСС и ISC.

**Таблица 1.** Параметры эпицентров землетрясений по данным Архангельской сети станций (АСС) и бюллетеней ISC

Дата д м год	АСС				ISC				$\delta t$ , с	$\delta \Delta$ , км
	$t_0$ , ч мин с	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$ML$	$t_0$ , ч мин с	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$m_b$		
05.01.2012	06 09 40.0	73.70	7.87		06 09 37.2	73.70	8.34	3.9	2.8	15
20.01.2012	16 24 30.0	86.46	52.16	3.3	16 24 25.1	86.73	46.45	3.7	4.9	49
21.01.2012	04 59 16.0	78.61	7.34	3.4	04 59 14.1	78.42	7.58	3.4	1.9	22
15.03.2012	15 45 20.0	82.20	-2.2	3.7	15 45 18.4	82.05	-6.31	4.7	1.6	65
24.03.2012	15 34 20.0	84.80	11.99	3.3	15 34 14.4	84.62	7.02	3.5	5.6	55
26.03.2012	00 53 18.0	81.06	-1.13	2.9	00 53 15.3	80.88	-3.32	3.6	2.7	42
12.04.2012	20 19 01.0	73.80	8.66		20 18 59.7	73.91	8.68	3.2	1.3	12
12.04.2012	20 45 16.0	73.66	8.94		20 45 15.8	73.83	9.03	4.1	0.2	19
20.04.2012	15 18 23.0	73.83	8.88		15 18 22.6	73.89	9.55	3.2	0.4	21
20.04.2012	21 03 29.0	85.86	42.86	2.9	21 03 28.6	86.15	35.54	3.8	0.4	87
19.10.2012	05 09 15.0	85.31	84.02	3.2	05 09 11.8	85.52	84.42	4.1	3.2	24
02.11.2012	04 18 04.0	85.12	83.24	3.4	04 18 00.8	85.45	82.52	4.1	3.2	37
06.12.2012	11 53 13.0	84.10	9.34	3.5	11 53 09.9	84.13	6.78	3.6	3.1	28
13.12.2012	23 03 38.0	80.86	121.67	3.9	23 03 39.0	80.80	121.75	5.7	1.0	8
25.12.2012	03 44 40.0	73.31	15.21		03 44 33.5	72.97	15.58	3.5	6.5	38
31.12.2012	17 11 34.0	84.67	10.56	3.2	17 11 28.5	84.75	8.18	3.8	5.5	26

К обработке по версии АСС привлекались волновые формы минимум трех сейсмических станций – «Земля Франца Иосифа» (ZFI, ZFI2), Россия; «Kingsbay» (KBS) и «Spitsbergen array A0» (SPA0), Норвегия, расположенных в изучаемом арктическом регионе, при обработке ISC – десятки станций. Следует отметить, что для локаций региональных землетрясений нецелесообразно привлекать данные со станций, расположенных на телесеismicких расстояниях, к тому же используемый локальный годограф Varents рассчитан для расстояний до  $30^\circ$ . При подборе региональных станций, волновые формы которых привлекаются к обработке арктических землетрясений, учитывались ресурсы лаборатории сейсмологии, особенности аппаратного оснащения и регламента ведения регионального мониторинга. В итоге был сформирован определенный набор сейсмических станций, а с учетом редкой сети наблюдений в Арктике, их число зачастую уменьшается до минимально допустимого значения – трех станций.

Разница в локациях эпицентров между АСС и ISC составляет: по времени в очаге  $\bar{\delta t}_0=2.8$  с, в расстоянии между определенными эпицентрами –  $\bar{\delta \Delta}=34$  км. Данные расхождения в параметрах эпицентров являются приемлемыми для региона с редкой сетью сейсмических станций.

**Анализ карты внешних землетрясений.** Некоторые из внешних землетрясений из-за их близости к границам ответственности заслуживают краткого описания. Это, прежде всего, землетрясение 24 декабря в  $06^h22^m$  с  $ML=3.2$ ,  $\varphi=66.63^\circ N$ ,  $\lambda=64.20^\circ E$ , т.е. у южных границ района № 2. Оно возникло в соседней Республике Коми. Обратим также внимание на локальные события вокруг района № 4. Слабые землетрясения ( $ML$  от 1.7 до 2.7) вблизи арх. Земля Франца-Иосифа локализованы в районе желобов Франц-Виктории и Св. Анны. Причем эпицентры приурочены не только к устьевой части желобов, но и к границе поднятия Белый и Виктория.

Распределение всех остальных внешних землетрясений на рис. 3 соотносится с сейсмоактивными зонами Арктики – подводными хребтами Книповича и Гаккеля, арх. Шпицберген.

Согласно полученному распределению землетрясений по данным АСС, наиболее сильные события (магнитуда  $ML$  по данным АСС до 4.2 (26 мая в  $03^h27^m$  с  $\varphi=85.69^\circ N$ ,  $\lambda=34.08^\circ E$ ,  $h=20$  км [13]);  $m_b$  по данным ISC до 5.7 (13 декабря в  $23^h03^m$  с  $\varphi=80.86^\circ N$ ,  $\lambda=121.67^\circ E$ ,  $h=20$  км [14])) были зарегистрированы в западной части хр. Гаккеля. Менее сильные события характер-

ны для района хр. Книповича ( $ML=2.4-3.8$ ;  $m_b$  по данным ISC  $\sim 3.2-4.1$ ). В 2012 г. в районе арх. Шпицберген (пролив Стур-Фьорд и о. Северо-Восточная Земля) зафиксированы только слабые сейсмические события ( $ML$  от 1.8 до 3.5). В центральной части Баренцева и Карского морей в 2012 г. землетрясений зарегистрировано не было.

В 2012 г. была выявлена роевая активность на хр. Гаккеля, среди которой выделяется группа из 11 землетрясений, зафиксированных во втором квартале 2012 г. в западной вулканической зоне (ЗВЗ). Первое событие произошло 19 апреля 2012 г. и имело наибольшую среди всех магнитуду  $ML=4.0$ . Все последующие события имели магнитуды  $ML$  от 2.7 до 3.3. Активизация закончилась 1 мая 2012 г. и более не фиксировалась. Дополнительно для этой группы землетрясений был проведен иерархический кластерный анализ, а именно, метод одиночной связи [15], который показал, что в роевую группу входит не 11 землетрясений, а девять (рис. 4) и расположены они между двумя активными вулканическими центрами. По спектральному составу, как показывают спектрально-временные диаграммы, наблюдаются события с наибольшей энергией в диапазоне от 1.5 Гц до 7.0–14.0 Гц. Этот частотный диапазон в целом характерен для землетрясений ЗВЗ. Вероятно, эти девять событий являются роем, вызванным подъемом магмы.

В остальных зонах явных всплесков сейсмической активности в 2012 г. не наблюдалось. Стоит отметить, что роевые последовательности на хребте Гаккеля фиксировались ранее по телесеismicким данным и описаны в [16].

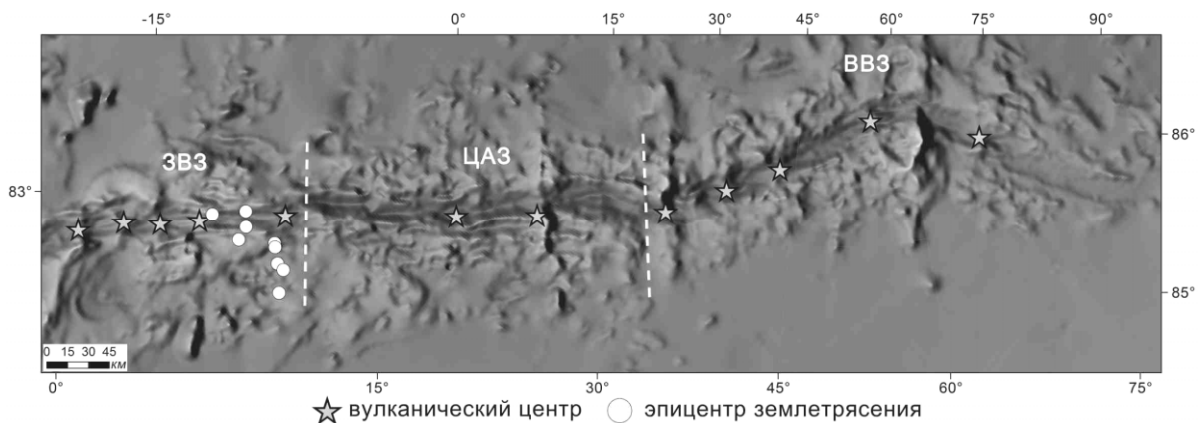


Рис. 4. Распределение роевых землетрясений в апреле 2012 г. и вулканические зоны хр. Гаккеля

ЗВЗ – западная вулканическая (7°W–3°E), ЦАЗ – центральная амагматическая (3°E–30°E), ВВЗ – восточная вулканическая (30°E–95°E) по данным [17, 18]

Несмотря на полученные новые данные о сейсмичности, функционирование единичного островного пункта «Земля Франца-Иосифа» (ZFI, ZFI2) на территории Западного арктического региона РФ не позволяет полноценно вести сейсмический мониторинг. Из анализа «выпадают» слабые сейсмические события, зарегистрированные восточнее 60°E, т.к. их волновых форм нет в базах зарубежных сейсмических сетей.

#### Л и т е р а т у р а

1. Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 128–139.
2. Введение // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 8–13.
3. Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ГС РАН, 2002. – С. 152–154.
4. Юдахин Ф.Н., Французова В.И., Мехрюшев Д.Ю. Север Русской плиты // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 220–227.
5. Французова В.И. (сост.). Цифровые станции Архангельской сейсмической сети в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.

6. **Французова В.И. (сост.)**. Цифровые сейсмические станции Архангельской сейсмической сети в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
7. **Французова В.И., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В.** Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017 – С. 222–228.
8. **Акимов А.П., Красилов С.А., Пойгина С.Г.** Система обработки сейсмических данных WSG. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG\\_adm.doc](ftp://ftp.gsras.ru/pub/wsg/WSG/DOC/WSG_adm.doc).
9. **Асминг В.Э.** Программный комплекс EL (ELRESS). [Электронный ресурс] – URL: <http://www.krsc.ru/EL>.
10. **Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F.** Seismic location calibration of the European Arctic // Pure and Applied Geophysics. – 2001. – **158**. – № 1–2. – С. 117–128.
11. **Kennet B.L.N. (editor)**. IASPEI 1991 Seismological Tables. Sydney: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.
12. **Morozov A.N., Vaganova N.V., Ivanova E.V., Konechnaya Y.V., Fedorenko I.V., Mikhaylova Y.A.** New data about small-magnitude earthquakes of the ultraslow-spreading Gakkel Ridge, Arctic Ocean // Journal of Geodynamics. – 2016. – **93**. – С. – P. 31–41.
13. **Конечная Я.В. (отв. сост.)**. Каталог землетрясений Архангельской области за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.
14. **International Seismological Centre**, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
15. **Федоренко И.В.** Пространственно-временное распределение землетрясений из района хребта Гаккеля // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Матер. XI Международной сейсмологической школы / Отв. редактор А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 346–349.
16. **Schindwein V.** Teleseismic earthquake swarms at ultraslow spreading ridges: indicator for dyke intrusions? // Geophys. J. Int. – 2012. – **190**. – P. 442–456.
17. **Cochran J.R., Kurras G.J., Edwards M.H. and Coakley B.** The Gakkel Ridge: Bathymetry, Gravity Anomalies and Crustal Accretion at Extremely Slow Spreading Rates // J. Geophys. Res. – 2003. – **108**. – P. 2116–2137.
18. **Dubinina E.P., Kokhan A.V. and Sushchevskaya N.M.** Tectonics and magmatism of ultraslow spreading ridges // Geotectonics. – 2013. – **47**. – N 3. – P. 131–155.