

## ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА, УРАЛ и ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ:

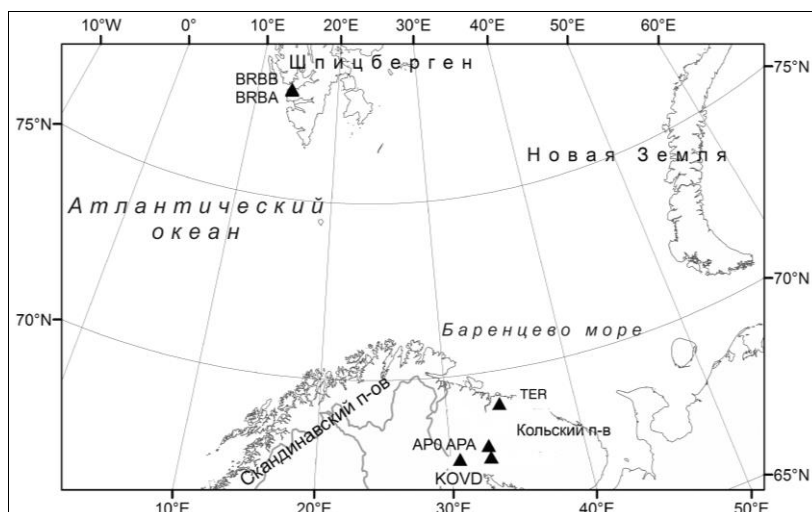
УДК 550.348. (470.21+481-922.1)

### БАРЕНЦ-ЕВРО/АРКТИКА

**С.В. Баранов, С.И. Петров**

Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты, [bars@krsc.ru](mailto:bars@krsc.ru), [serg@krsc.ru](mailto:serg@krsc.ru)

В 2011 г. конфигурация сети сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН осталась аналогичной таковой в 2010 г. и состояла из сейсмической станции «Апатиты» (АРА) в г. Апатиты, сейсмической группы Апатитский ARRAY (АРА0), расположенной в 17 км от г. Апатиты, станции в п. Териберка (ТЕР), установленной в 2010 г. сейсмической станции в г. Ковдор (КОВД), а также двух сейсмических станций «ВРВА» и «ВРВВ» в п. Баренцбург на архипелаге Шпицберген (рис. 1) [1]. С 26 мая 2011 г. наблюдения на аналоговой сейсмической станции «Апатиты» были прекращены в связи с полным переходом на цифровые системы сбора и обработки [2].



**Рис. 1.** Сеть сейсмического мониторинга в 2011 г.

По результатам сейсмического мониторинга в 2011 г. на Балтийском щите (за исключением территории рудников в Хибинском массиве) зарегистрировано 12 сейсмических событий, идентифицированных как тектонические землетрясения. Информация о них представлена в табл. 1 и на рис. 2, а также в каталоге [3], приложенном к настоящему обзору.

**Таблица 1.** Тектонические землетрясения, зарегистрированные на Балтийском щите в 2011 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$ML$	$K=$ $4+1.8 ML$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		
1	03.01	22 20 39	67.14	34.288	1.8	7.2
2	04.01	04 38 50	68.151	34.309	1.0	5.8
3	24.03	09.53.54	68.777	25.860	2.2	7.9
4	26.04	08 43 19	67.76	33.437	1.0	5.8
5	03.08	20 23 15	69.301	20.545	3.1	9.6
6	20.08	17 37 17	67.90	34.514	0.9	5.7
7	21.08	16 30 06	67.351	29.325	1.9	7.4
8	02.09	16 41 14	67.916	34.665	1.0	5.8
9	17.09	19 48 06	67.906	34.551	1.1	6.0
10	14.10	16 06 12	67.888	34.661	1.0	5.7
11	18.10	13 23 22	65.529	30.865	2.3	8.1
12	15.11	17 48 11	67.36	31.836	1.7	7.0

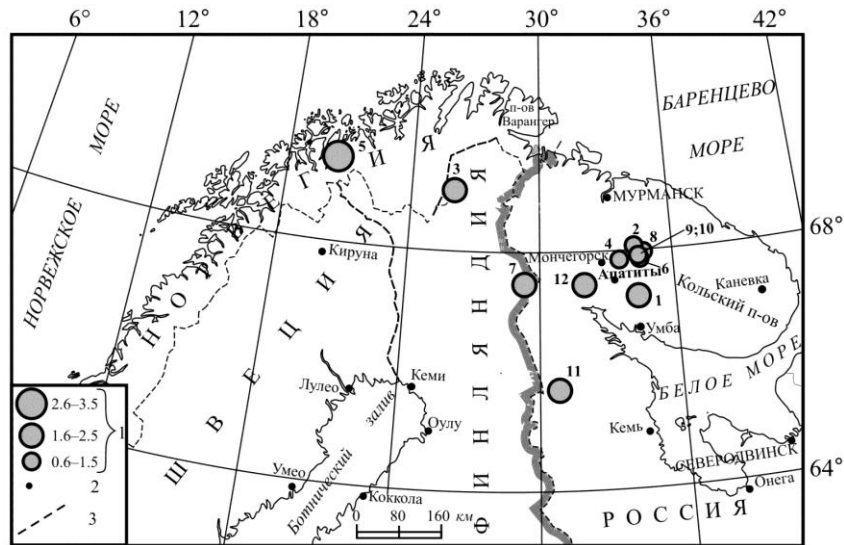


Рис. 2. Тектонические землетрясения 2011 г.

1 – магнитуда  $M_L$ ; 2 – населенный пункт; 3 – государственная граница.

Наблюдения за сейсмичностью территории рудников Хибинского массива проводились в 2011 г. с целью продолжения разработки критериев различия взрывов и тектонических землетрясений. Для этого была создана и функционировала «Объединенная система контроля состояния Хибинского горного массива» на базе сетей сейсмических станций Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН и ОАО «Апатит» (ОСКСМ). Обработка данных производилась сотрудниками ЦГМ ОАО «Апатит», которые отобрали сейсмические события, не связанные напрямую с взрывными работами (согласно принятой в ЦГМ терминологии – динамические проявления горного давления). В результате было отобрано 122 события техногенной природы с  $M_L$  от 0.6 до 2.1, произошедших в пределах территории рудников (рис. 3).



Рис. 3. Динамические проявления горного давления за 2011 г.

Предварительный анализ нескольких таких событий показал, что отношения амплитуд их записей в среднем больше, чем взрывов из примерно того же места. И после тщательной проверки [4] это могло бы послужить одним из критериев отбраковки взрывов (рис. 4).

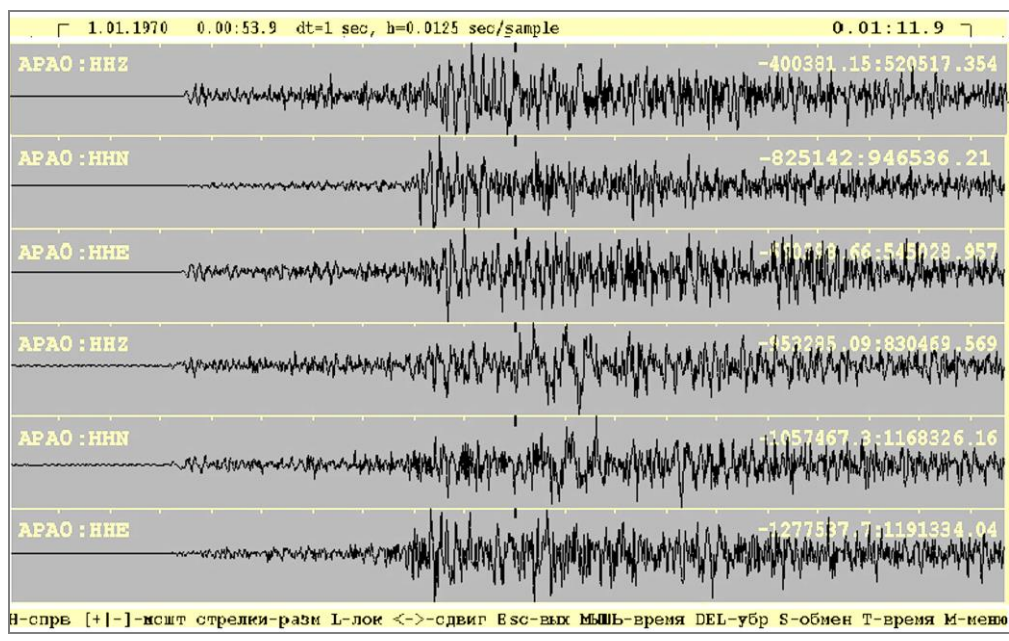


Рис. 4. Сравнение записи горного удара (верхние три канала) и взрыва (нижние три) на руднике Расвумчорр

**Результаты сейсмического мониторинга архипелага Шпицберген.** Сейсмический мониторинг на архипелаге Шпицберген проводился с помощью региональной сейсмической сети, состоящей из двух 3-х компонентных станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН «BRBA» и «BRBB», расположенных в районе п. Баренцбург, сейсмической группы SPI (NORSAR, Норвегия), расположенной в районе г. Лонгиер и 3-х компонентной станции «KBS» (IRIS, США), расположенной в п. Нью-Олесунд (рис. 5). Все работы, выполнявшиеся КоФ ФИЦ ЕГС РАН на архипелаге Шпицберген, проводились при технической поддержке треста «Арктикуголь».

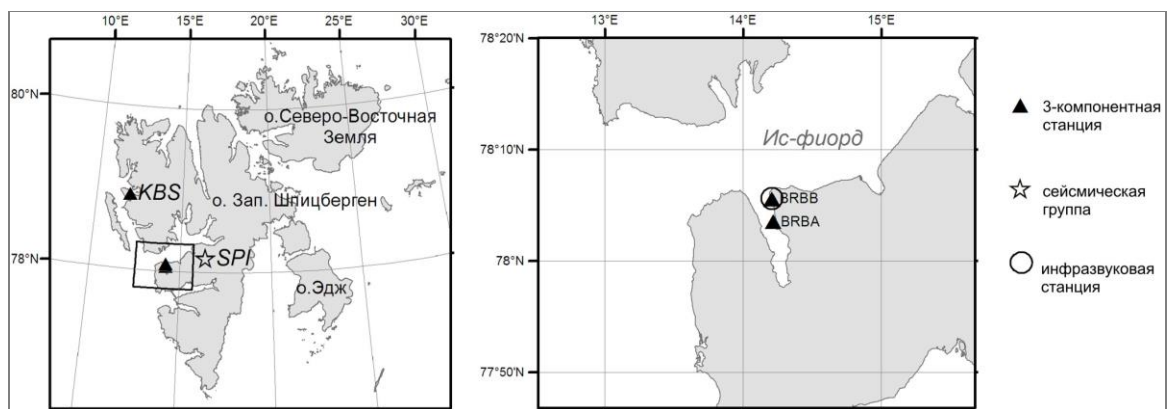
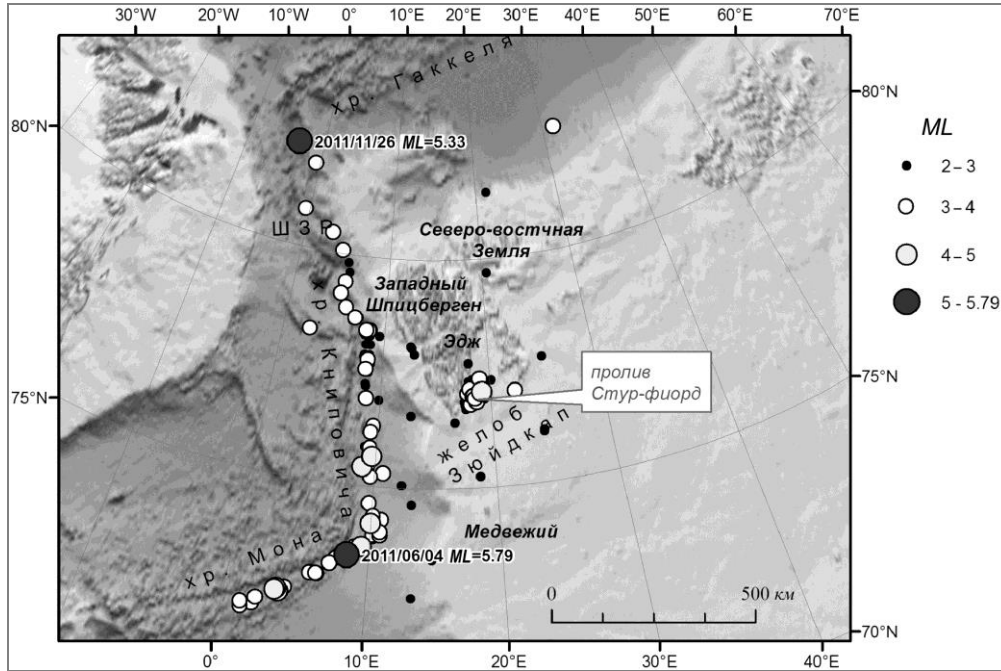


Рис. 5. Региональная сейсмическая сеть на Шпицбергене

Сейсмическую активность района Шпицбергена и прилегающих акваторий в 2011 г. в целом можно охарактеризовать как более сильную, чем в 2010 г. [1]. При этом, несмотря на меньшее количество землетрясений ( $N_{\Sigma}=243$ ) с магнитудой  $ML \geq 2.0$  в 2011 г. [5], по сравнению с числом землетрясений ( $N_{\Sigma}=376$  в табл. 2) в 2010 г., выделение сейсмической энергии возросло в 13 раз (табл. 2). Основной вклад в энерговыделение внесли два землетрясения с  $ML > 5$ , произошедшие 4 июня в  $04^{\text{h}}23^{\text{m}}$  с  $ML=5.8$  на хребте Мона и 26 ноября в  $23^{\text{h}}59^{\text{m}}$  с  $ML=5.3$  в районе сочленения Шпицбергенской зоны разломов (ШЗР) и хребта Гаккеля (рис. 6). На долю этих событий в 2011 г. приходится около 90 % всей сейсмической энергии, выделившейся в районе Шпицбергена. По сравнению же с уровнем сейсмической активности с  $ML > 2$  в 2009 г., в 2011 г. наблюдается спад сейсмической активности: в 1.5 раза сократилось количество землетрясений и в 1.6 раза уменьшилась суммарная энергия (табл. 2).

**Таблица 2.** Землетрясения, ранжированные по магнитудам, и сейсмическая энергия в 2009–2011 гг. (по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН и NORSAR)

<i>ML</i>	2009 г.	2010 г.	2011 г.	<i>ML</i>	2009 г.	2010 г.	2011 г.
2–3	256	266	168	>5.0	2	0	2
3–4	86	84	62	Всего	356	376	243
4–5	12	26	11	$\Sigma E, Дж$	$5.15 \cdot 10^{14}$	$2.48 \cdot 10^{13}$	$3.23 \cdot 10^{14}$



**Рис. 6.** Землетрясения с  $ML \geq 2$  по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН и NORSAR, зарегистрированные в районе архипелага Шпицберген в 2011 г., с указанием даты и магнитуды событий с  $ML > 5$

В 2011 г. землетрясения с  $ML \geq 4$  происходили в районе спрединга океанического дна (хребты Мона, Книповича и ШЗР) и на континентальной окраине в районе залива Стур-фиорд.

Годовые вариации количества землетрясений и сейсмической энергии, выделившейся в сейсмогенных зонах района Шпицбергена за 2009–2011 гг., приведены в табл. 3; соответствующие графики показаны на рис. 7. Эти данные свидетельствуют о том, что шельфовая часть характеризуется большим количеством сейсмических событий и меньшим (иногда на 1–2 порядка) энерговыделением, чем океаническая часть.

**Таблица 3.** Вариации количества землетрясений с  $ML \geq 2$  и сейсмической энергии, выделившейся в сейсмогенных зонах в районе Шпицбергена за 2009–2011 гг. по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН и NORSAR

№	Сейсмогенная зона	2009 г.		2010 г.		2011 г.	
		$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$	$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$	$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$
1	Хр. Мона	30	$1.93 \cdot 10^{13}$	43	$5.30 \cdot 10^{12}$	28	$2.71 \cdot 10^{14}$
2	Хр. Книповича	75	$4.63 \cdot 10^{12}$	35	$5.00 \cdot 10^{12}$	54	$4.60 \cdot 10^{12}$
3	Моллой + ШЗР	35	$4.90 \cdot 10^{14}$	30	$8.92 \cdot 10^{12}$	11	$3.95 \cdot 10^{13}$
	Всего (Океаническая часть)	140	$5.14 \cdot 10^{16}$	108	$1.92 \cdot 10^{13}$	93	$3.16 \cdot 10^{14}$
4	Зап. Шпиц. + СВЗ	14	$4.22 \cdot 10^{10}$	13	$3.13 \cdot 10^{10}$	6	$3.27 \cdot 10^9$
5	Стур-фиорд + (4) Зюйдкапп	195	$7.90 \cdot 10^{11}$	250	$2.76 \cdot 10^{12}$	138	$7.54 \cdot 10^{12}$
6	Континент. склон	3	$5.17 \cdot 10^9$	4	$2.75 \cdot 10^{12}$	2	$5.03 \cdot 10^8$
	Всего (Шельфовая часть)	212	$8.38 \cdot 10^{11}$	267	$5.55 \cdot 10^{12}$	146	$7.54 \cdot 10^{12}$

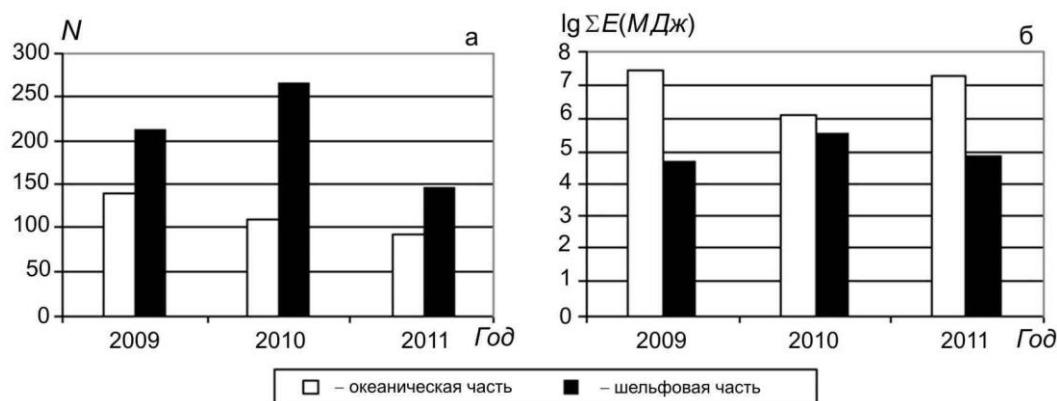


Рис. 7. Вариации количества землетрясений (а) и выделившейся сейсмической энергии (б) в океанической (зоны 1–3 в табл. 3) и шельфовой (зоны 4–6 в табл. 3) частях района архипелага Шпицберген за 2009–2011 гг. по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН и NORSAR

**Сейсмическая активность пролива Стур-фиорд.** Один из самых активных очаговых ареалов в районе Шпицбергена приурочен к проливу Стур-фиорд, разделяющему острова Западный Шпицберген и Эдж. Ширина пролива у южного края около 300 км, глубины моря варьируют от 50 до 200 м. Мощность осадочного чехла на северном борту впадины в проливе Стур-фиорд (на широте 78.5°N) составляет 2–3 км, а к югу быстро увеличивается, достигая 10–12 км в осевой части впадины (на широте 76°N) [6].

Первый инструментально зарегистрированный всплеск сейсмической активности в районе пролива Стур-фиорд отмечен в 18.01.1976 г., когда в районе Земли Геера (западное побережье Стур-фиорда) произошло землетрясение с  $m_b = 5.5$ . В ближайших окрестностях эпицентральной зоны (прямоугольник 40×15 км) с 1977 по 1984 г. было зарегистрировано более 2000 толчков с магнитудами до 3.5 [7]. С геофизической точки зрения это землетрясение представляло огромный интерес, так как на тот момент было самым сильным внутриплитовым землетрясением, зарегистрированным в Евро-Арктическом регионе.

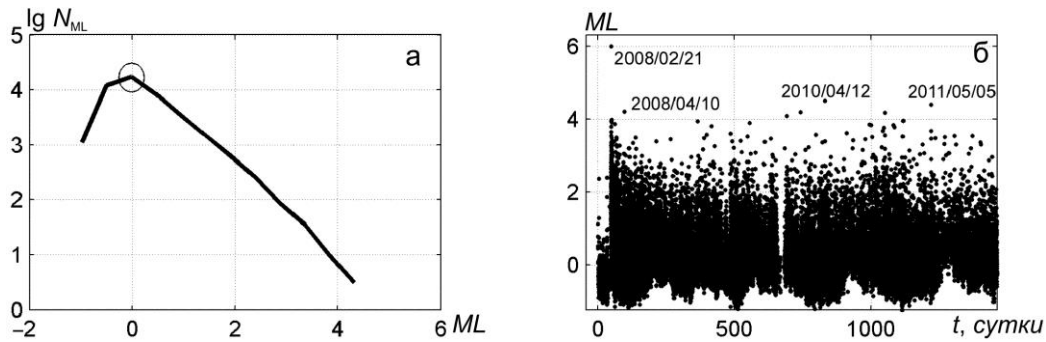
21 февраля 2008 г. в 02<sup>h</sup>46<sup>m</sup> в проливе Стур-фиорд архипелага Шпицберген произошло сильнейшее за всю историю инструментальных наблюдений на шельфе Баренцева моря землетрясение с моментной магнитудой  $M_w = 6.1$  ( $M_L = 6.0$ ). Макросейсмический эффект от землетрясения описан в [8]. Землетрясение инициировало афтершоковый процесс [9, 10], интенсивность которого в первые дни достигала более 950 событий в сутки. По состоянию на конец 2011 г. в районе Стур-фиорда наблюдалась повышенная сейсмическая активность.

Для мониторинга сейсмичности в районе пролива Стур-фиорд в КоФ ФИЦ ЕГС РАН была создана программная система UDL, которая осуществляет автоматическое обнаружение, определение координат эпицентра и энергетических параметров сейсмических событий из Стур-фиорда по данным сейсмической группы SPI (NORSAR). Результаты работы системы и сводная статистика обнаруженных событий транслируются в Internet на сайте КоФ ФИЦ ЕГС РАН ([www.krsc.ru/STORFJORDEN/index.html](http://www.krsc.ru/STORFJORDEN/index.html)) в режиме времени, близком к реальному.

За период с 2008 по 2011 г. система UDL обнаружила 86269 сейсмических событий с магнитудами  $M_L$  от -1.2 до 6.0, магнитуды основного толчка. Представительная магнитуда которых  $M_{L_{min}} = 0$  (рис. 8 а). Обращает на себя внимание неравномерность обнаружения слабых событий в зависимости от времени (рис. 8 б). Возможной причиной этой неравномерности являются вариации сейсмического шума. При возрастании уровня шума слабые события с  $M_L < 0$  не обнаруживаются детектором из-за низкого отношения сигнал/шум.

В 2011 г. в районе пролива Стур-фиорд было зарегистрировано 5554 сейсмических события с  $M_L > 0$ , что в 1.4 раза меньше, чем в 2010 г., и в 1.7 раза меньше, чем в 2009 г. Согласно данным мониторинга, с 2008 г. в проливе Стур-фиорд наблюдается постоянное уменьшение годового количества сейсмических событий с  $M_L = 0.0–2.0$ . Вместе с тем, данная закономерность нарушается для сейсмических событий с  $M_L > 2.0$ , количество которых уменьшалось в период с 2008 по 2009 г., затем с 2009 по 2010 г. возрастало и в 2010–2011 гг. снова убывало (табл. 4). Аналогичную тенденцию демонстрирует и динамика сейсмической энергии, выделившейся в проливе Стур-фиорд за 2008–2011 гг.: в 2011 г. энерговыделение было в 2.2 раза меньше, чем в 2010 г., и в 1.7 раза больше, чем в 2009 г. (рис. 9).

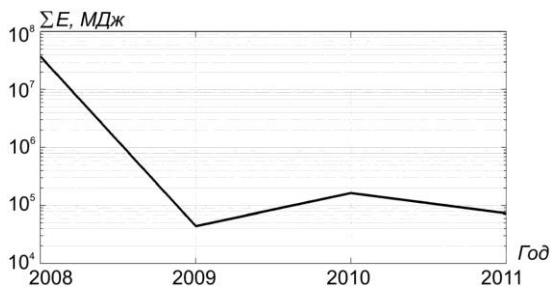




**Рис. 8.** Сейсмический процесс в проливе Стур-фиорд за период с 01.01.2008 г. по 31.12.2011 г. по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН: (а) – график повторяемости (магнитуда представительности  $ML_{min}=0$ ); (б) – зависимость магнитуды землетрясений от времени (у наиболее сильных событий подписаны даты)

**Таблица 4.** Количество сейсмических событий в различных диапазонах магнитуд, зарегистрированных в проливе Стур-фиорд за период с 2008 по 2011 г. по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН

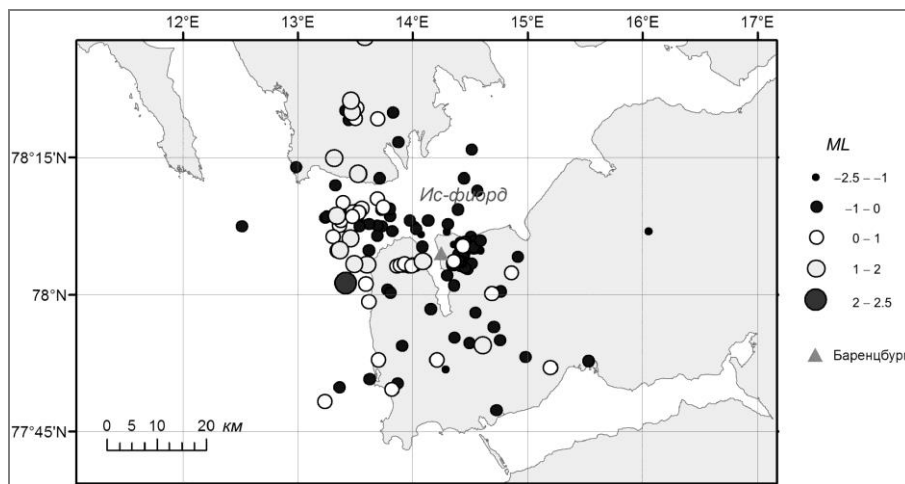
$ML$	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	$N_{\Sigma}(ML)$
2.0–3.0	430	154	213	109	906
3.1–4.0	44	20	24	20	108
4.1–5.0	1	1	3	1	6
5.1–6.0	1	0	0	0	1
Всего ( $ML \geq 2.0$ )	476	175	240	130	1021



**Рис. 9.** Годовые вариации сейсмической энергии в логарифмическом масштабе, выделившейся в проливе Стур-фиорд за 2008–2011 гг., по данным КоФ ФИЦ ЕГС РАН

**Сейсмичность в районе поселка Баренцбург.** В 2011 г. в районе пос. Баренцбург сейсмическими станциями «BRBA» и «BRBB» было зарегистрировано 178 сейсмических событий с  $ML$

от  $-2.5$  до  $2.5$  (рис. 10). Землетрясения с магнитудой  $ML > 1.0$  в 2011 г. преимущественно происходили к западу и северу (на противоположном берегу залива Ис-фиорд) от Баренцбурга.



**Рис. 10.** Сейсмические события, произошедшие в районе пос. Баренцбург в 2011 г., по данным станций «BRBA» и «BRBB»

Зарегистрированные события можно разделить на два типа: 1) события, произошедшие вне шахтного поля; 2) события, произошедшие к востоку от поселка на территории шахтного поля рудника «Баренцбург». Вне шахт в 2011 г. было зарегистрировано 110 сейсмических событий с магнитудами  $ML$  от  $-2.5$  до  $2.25$ . На рис. 11 показано определение координат эпицентра и времени в очаге сейсмического события с магнитудой  $ML=2.5$ , произошедшего 26 ноября 2011 г. в  $10^h12^m$  в точке с координатами  $78.021^\circ N$  и  $13.418^\circ E$  на расстоянии  $20$  км к западу от Баренцбурга.

На территории шахтного поля в 2011 г. было зарегистрировано 68 сейсмических событий с магнитудами  $ML$  от  $-1.91$  до  $0.34$ . Самое сильное ( $ML=0.34$ ) событие в районе шахтного поля произошло 15 февраля 2011 г. в  $15^h55^m$  в точке с координатами  $78.061^\circ N$  и  $14.357^\circ E$  на расстоянии  $3.2$  км от пос. Баренцбург (рис. 12). В целом по результатам мониторинга на территории поселка Баренцбург в 2011 г. заметна активизация сейсмичности.

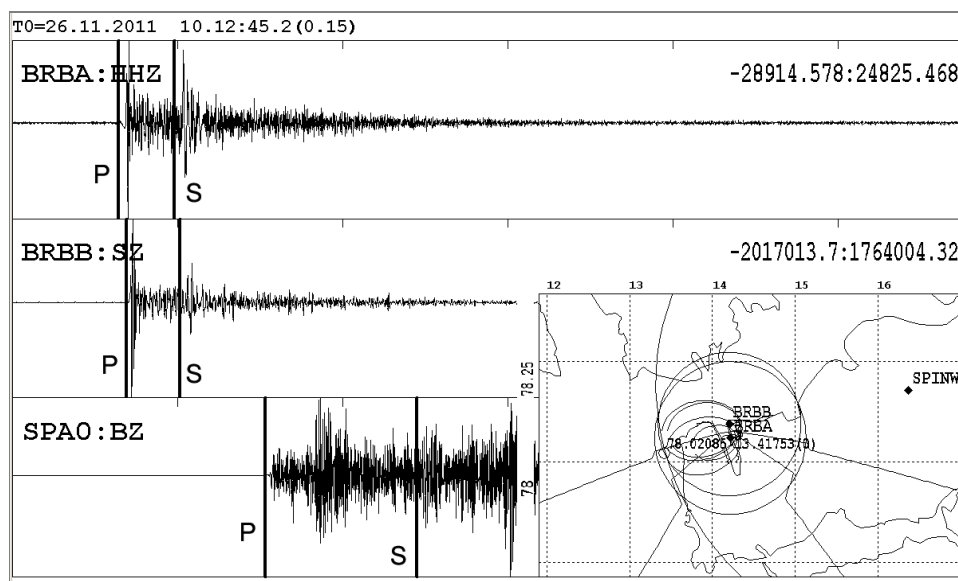


Рис. 11. Определение координат эпицентра и времени в очаге сейсмического события с  $ML=2.5$ , произошедшего 26 ноября 2011 г. в  $23^h59^m$ , по данным станций «BRBA», «BRBB», «SPI» региональной сети

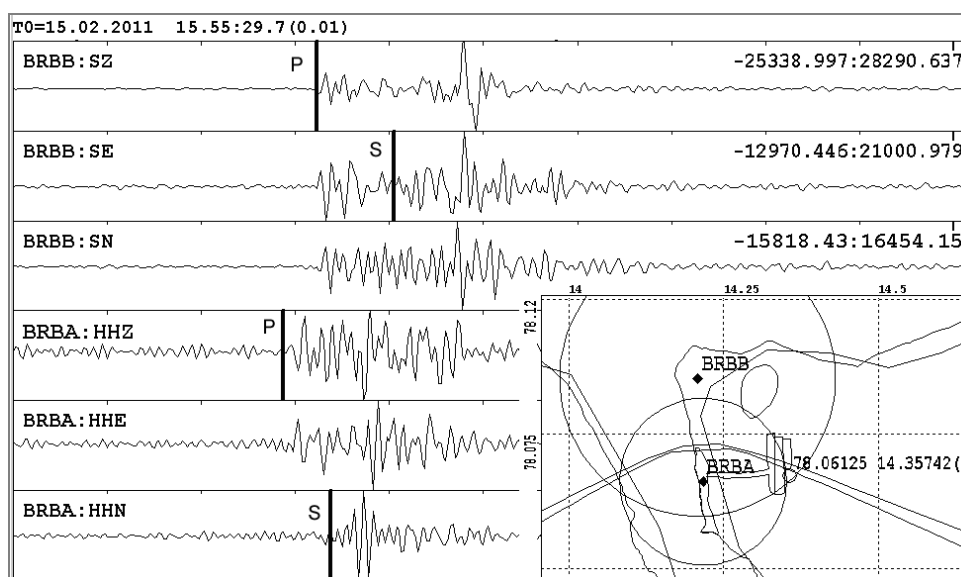


Рис. 12. Определение координат эпицентра и времени в очаге сейсмического события с  $ML=0.34$ , произошедшего 15 февраля 2011 г. в  $15^h55^m$  в районе шахтного поля рудника «Баренцбург», по данным станций «BRBA» и «BRBB»

Таким образом, в 2011 г. в районе Шпицбергена было зарегистрировано 243 землетрясения с  $ML > 2.0$ . По результатам обработки и анализа полученной информации было установлено, что уровень сейсмичности архипелага, по сравнению с таковым в 2010 г., вырос и снизился по сравнению с уровнем сейсмичности в 2009 г. В районе пос. Баренцбург сейсмические станции КФ ГС РАН регистрировали 178 сейсмических событий, 68 из которых приурочены к шахтному полю рудника.

### Л и т е р а т у р а

1. **Баранов С.В., Петров С.И.** Баренц-Евро/Арктика // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016 – С. 239–248.
2. **Баранов С.В., Петров С.И. (сост.)**. Сейсмические станции Кольского филиала ГС РАН, работавшие на территории Баренц-Евро/Арктики в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
3. **Баранов С.В., Петров С.И., Нахшина Л.П. (отв. сост.)**. Каталог землетрясений Баренц-Евро/Арктики (Балтийский щит) в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
4. **Отчет Кольского филиала ГС РАН** о результатах сейсмомониторинга и научно-исследовательской деятельности за 2011 год. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 2011. – 72 с.
5. **Баранов С.В., Петров С.И., Нахшина Л.П. (отв. сост.)**. Каталог землетрясений Баренц-Евро/Арктики (архипелаг Шпицберген) в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
6. **Шипилов Э.В.** Тектоника осадочного чехла и фундамента северо-запада Баренцевоморской континентальной окраины (шельф архипелага Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. – Апатиты: КНЦ РАН, 2002. – С. 86–100.
7. **Панасенко Г.Д., Кременецкая Е.О., Аранович З.И.** Землетрясения Шпицбергена. – М.: ВИНТИ, 1987. – 83 с.
8. **Баранов С.В., Петров С.И.** Баренц-Евро/Арктический регион // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 224–230.
9. **Баранов С.В. (отв. сост.)**. Афтершоки землетрясения 21.02.2008 г. с  $M_L=6.2$ ,  $M_w=6.1$  в проливе Стур-фиорд, арх. Шпицберген по данным КоФ ГС РАН ( $N=475$ ). // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014 – (На CD).
10. **Баранов С.В.** Афтершоковый процесс землетрясения 21.02.2008 г. в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 3. – С. 1–15.