

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА, УРАЛ и ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ:

УДК 550.348.098.64 (470.21)

БАРЕНЦ-ЕВРО/АРКТИЧЕСКИЙ РЕГИОН

С.В. Баранов, С.И. Петров

Кольский филиал ГС РАН,
г. Апатиты, bars@krsc.ru, serg@krsc.ru

На протяжении последнего десятилетия Кольский филиал последовательно расширял сеть сейсмических наблюдений (табл. 1) и тем самым увеличил площадь сейсмического мониторинга, в пределы которой в настоящее время входят не только Кольский полуостров, но и Европейский сектор Арктики, включающий архипелаг Шпицберген с прилегающими акваториями [1]. В этой связи существующей области наблюдений присвоено актуальное в настоящий момент название – «Баренц-Евро/Арктический регион». Прежнее название региона – «Северо-Восточная часть Балтийского щита» – является устаревшим и не соответствующим реальности с обзора за 2005 г. [1].

Сеть сейсмических станций Кольского филиала ГС РАН состояла в 2008 г. из аналоговой трехкомпонентной сейсмической станции «Апатиты» (АРА) с СКМ-3 (табл. 2 а) и цифровой трехкомпонентной широкополосной сеймостанции АРА в г. Апатиты, сейсмической группы Апатитский ARRAY (АР0), расположенной в 17 км от г. Апатиты (рис. 1), а также двух сейсмических станций в пос. Баренцбург на архипелаге Шпицберген – «Баренцбург А» (BRBA) и «Баренцбург В» (BRBB). Кроме того, при содействии ФГУП «Арктикуголь» была установлена станция «Пирамида» в одноименном пос. Пирамида в точке с координатами 78.656°N, 16.380°E (табл. 2 б), которая введена в опытную эксплуатацию с 21 ноября 2008 г. под кодовым индексом (PYR) [2]. Дополнительно для оценки сейсмичности архипелага использовались данные сейсмической группы SPI (NORSAR, Норвегия), размещенной на о. Западный Шпицберген вблизи пос. Лонгиербин, и трехкомпонентной станции KBS (IRIS) в пос. Нью-Олесунн (рис. 2).

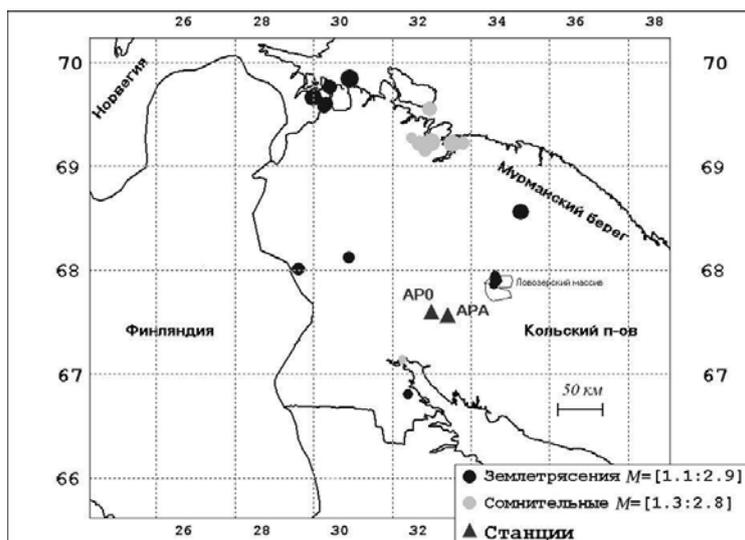


Рис. 1. Сейсмические станции КФ ГС РАН на Кольском полуострове в 2008 г.

Общие данные о сейсмических станциях Кольского филиала ГС РАН и сведения об оборудовании представлены в табл. 1, 2 а и 2 б.

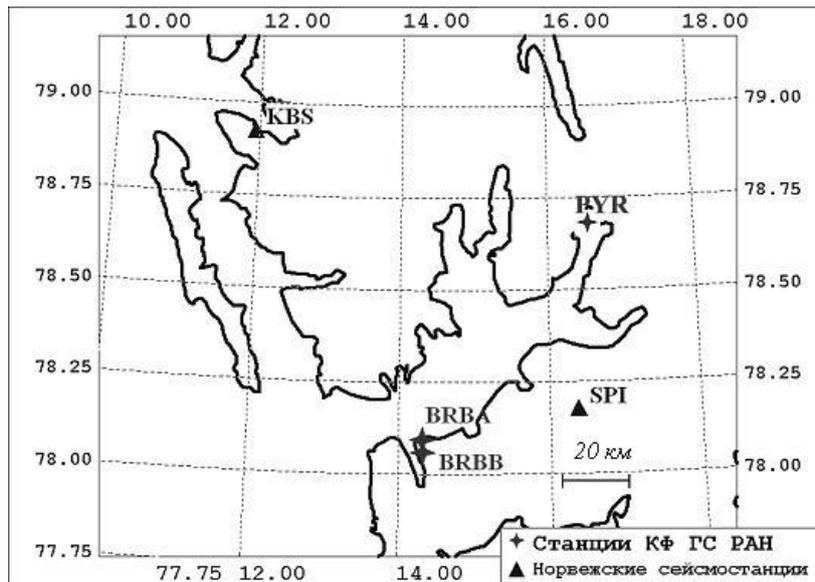


Рис. 2. Сейсмические станции на архипелаге Шпицберген в 2008 г.

Таблица 1. Сейсмические станции КФ ГС РАН, работавшие в 2008 г. (код сети – KORS)

№	Станция		Дата открытия (закрытия)	Координаты станции			Тип грунтов
	Название	Код		φ°, N	λ°, E	h, м	
1	Апатиты (Apatity)	APA	01.07.1956	67°34'08" 67.569	33°24'18" 33.405	182	Метагаббро-диабазы
2	Апатитская группа (Apatity Array)	АРАО	01.10.1992	67.606	32.992	240	Метагаббро
3	Баренцбург А (Barentsburg A)	BRBA	01.01.2001	78°03'32" 78.059	14°13'05" 14.217	58	Скальные метаосадочные породы
4	Баренцбург Б (Barentsburg B)	BRBB	01.01.2001	78°05'38" 78.094	14°12'29" 14.208	80	Скальные метаосадочные породы
5	Пирамида	PYR	21.11.2008	78°39'21" 78.66	16°22'48" 16.38	400	Метаосадочные породы

Таблица 2 а. Данные об аналоговой аппаратуре станции «Апатиты» КФ ГС РАН в 2008 г.

№	Станция		Дата открытия	Аппаратура			
	Название	Код		тип прибора	компо- нента	V _{max}	ΔT _{max} , с
1	Апатиты	APA	01.07.1956	СКМ-3	N, E, Z E	40000 4000	0.20–1.5 0.20–1.5

Таблица 2 б. Данные об аппаратуре цифровых станций КФ ГС РАН в 2008 г.

Название станции	Тип ЦСС и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разряд- ность АЦП	Чувствительность, велосиграф, отсчет/(м/с)
Апатиты	Guralp+CMG-3T	ВН (N, E, Z) v	0.01–16	40	16	3.28·10 ⁸
Апатитская группа	GEOTECH+S-500	9*S (Z) v	1–16	40	16	1.47·10 ¹⁰
		Н (N, E, Z) v	1–32	80	16	1.47·10 ¹⁰
Баренцбург А	GeoSIG+GBV-316B	Н (N, E, Z) v	1–20	50	16	3.57·10 ⁵
Баренцбург В	GeoSIG+GBV-316B	Н (N, E, Z) v	1–20	50	16	3.57·10 ⁵
Пирамида	GeoSIG+GBV-316B	Н (N, E, Z) v	1–20	50	16	3.57·10 ⁵

Методика обработки записей и локации сейсмических событий, по сравнению с таковой в [3], не изменилась. Регистрируются как телесеismicкие, так и региональные землетрясения, а также промышленные взрывы.

Согласно [4], из-за отсутствия региональной калибровочной кривой, с 1995 г. магнитуда близких землетрясений определялась по локальной магнитуде M_L Ч. Рихтера [5] – по максимальным амплитудам на сейсмограммах короткопериодных сейсмографов СКМ-3. При этом сначала по записям СКМ-3, с учетом их амплитудно-частотных характеристик, определялось истинное смещение грунта, а затем вычислялось, какой была бы соответствующая амплитуда на записи стандартного крутильного сейсмографа Вуда–Андерсона. Приведение к значению $\Delta=100$ км производилось также с помощью экспериментально полученной таблицы значений $\lg A$ от Δ [5]. Именно магнитуда M_L , приведенная в каталоге [6], является величиной, измеренной по сейсмограммам СКМ-3.

Энергетические классы K , включенные в каталог [6], все расчетные и вычислены на основе предварительного определения магнитуд M_L . Согласно [7], смысл величин энергетического класса землетрясения K определен как логарифм энергии, выраженной в Дж:

$$K = \lg E, \text{ Дж.} \quad (1)$$

Сейсмическая энергия вычислена в три перехода: от M_L к m_b , для чего использовалось уравнение Б. Гуттенберга из [8]:

$$m_b = 1.7 + 0.8 M_L - 0.01 M_L^2 \quad (2)$$

от m_b к M_s в соответствии с рекомендациями, принятыми на международном совещании по магнитуде, состоявшемся в Цюрихе в 1967 г., переход от магнитуды по объемным волнам m_b к магнитуде по поверхностным волнам осуществлялся по формуле из [9]:

$$m_b = 2.9 + 0.56 M_s, \quad (3)$$

и для перехода от значений магнитуд M_s к энергии E , Дж использовалось уравнение, предложенное М. Ботом [10]:

$$\lg E \text{ Дж} = 5.24 + 1.44 M_s, \quad (4)$$

которое, согласно [11], используют большинство сейсмологов. Поэтому можно полагать, что вычисляемые по (4) величины $\lg E$, Дж с учетом общепринятых зависимостей между магнитудой и энергией сопоставимы со значениями K по региональным номограммам и, следовательно, могут быть использованы для учета высвобожденной энергии [4].

Всего за 2008 г. обработано 1098 сейсмограмм. Ежедневно обрабатывались аналоговые и цифровые записи, по результатам которых составлялись оперативные сводки и направлялись в г. Обнинск в ГС РАН. За истекший год отправлено 366 оперативных сводок. Задержек в течение года не было. Кроме того, ежемесячно в Обнинск направлялись оперативные каталоги по региональным землетрясениям с $M_L > 3$. Карта эпицентров представлена на рис. 3. По результатам регистрации телесеismicких землетрясений в 2008 г. составлено 282 бюллетеня, включающие данные по 1847 событиям. В их числе 787 событий с $M_L > 5$, из которых 249 с $M_L > 6$. По результатам мониторинга региональных событий составлены 837 бюллетеней, куда вошли данные о 3327 сейсмических событиях, из которых 182 с $M_L > 3$. Большая их часть была идентифицирована как промышленные взрывы на рудниках Мурманской области, и лишь 40 событий, представленных в годовом каталоге [6], отнесены к землетрясениям.

Максимальным ($M_L=6.2$) в каталоге [6] явилось крупнейшее за всю 100-летнюю историю наблюдений в Арктике землетрясение, произошедшее 21 февраля в 02^h46^m к югу от Шпицбергена, в проливе Стур-фьорд, между островами Западный Шпицберген и Эдж (рис. 3 и 5). Глубина его гипоцентра по глубинной фазе pP составила $h_{pp}=14 \pm 1.1$ км. Моментная магнитуда M_w по данным GСMT составила $M_w=6.1$, сейсмический момент – $M_0=1.58 \cdot 10^{18}$ Н·м [12]. По данным NEIC оно ощущалось в пос. Лонггир на Шпицбергене и в пос. Тромсё – в Норвегии. К сожалению, интенсивность сотрясений в [12] не указана.

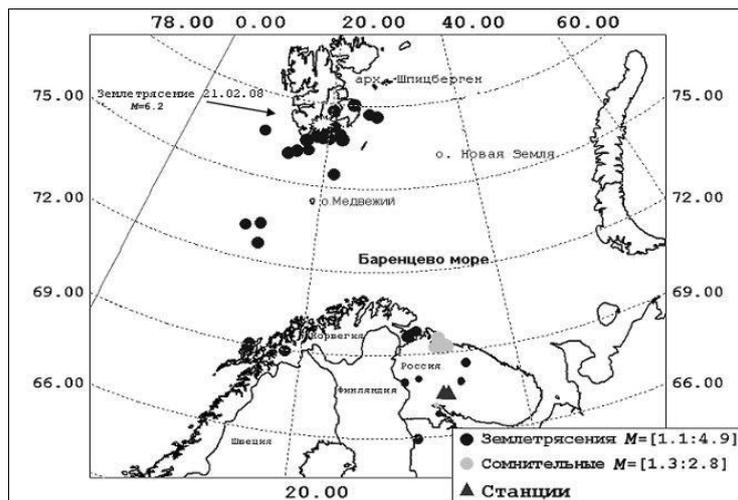


Рис. 3. Карта эпицентров зарегистрированных землетрясений Баренц-Евро/Арктического региона в 2008 г.

По свидетельству очевидцев в пос. Баренцбург в 03^h46^m по местному времени землетрясение ощущалось как дрожание здания, сопровождалось звоном посуды в серванте, падением отдельных бокалов. Появились незначительные трещины в стенах кирпичных жилых зданий Консульства (постройка 1983 г.) и отеля «Хилтон», в шахте отмечено шелушение и осыпание кровли выработок, но существенных технических повреждений не зафиксировано. В пос. Пирамида появилась большая трещина в основании здания гаража, вылетели плохо вставленные стекла в домах. О сильной тряске были сообщения из Хорнсунда. Такое описание соответствует по шкале MSK-64 [13] землетрясению с интенсивностью $I=6-7$ баллов. По данным Кольского филиала ГС РАН [14, 15], интенсивность сотрясений в районах угледобычи на Шпицбергене достигала $I=7$ баллов в норвежском пос. Свеагрува и 6 баллов – в российском пос. Баренцбург, т.е. в эпицентре интенсивность сотрясений $I_0 \geq 7$ баллов.

Для этого землетрясения в [12] имеется три варианта решения механизма очага: GCMT, NEIC (P), NEIC (BB) (табл. 3). Данные первой строки табл. 3 интересны *ред.* для оценки качества региональной классификации землетрясений в [6], согласно которой магнитуда равна $M_L=6.2$, энергетический класс $K=13.9$. Из сравнения с другими магнитудами следует, что M_L хорошо согласуется с ними, хотя и несколько выше их. Однако энергетический класс, если исходить из уравнения Т.Г. Раутиан [16],

$$K_p = 4 + 1.8 M_L = 4 + 1.8 \times 6.2 = 15.2,$$

занижен более чем на порядок. Стереогаммы в трех вариантах, построенные *ред.* по программе [17], изображены на рис. 4.

Таблица 3. Параметры механизма очага землетрясения 21 февраля 2008 г. в 02^h46^m с $M_w=6.1$ по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды		Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
			M_w	M_s	T		N		P		NP1			NP2			
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
GCMT	02 46 17.9	13	6.1		11	177	48	75	40	276	308	54	-24	53	71	-141	[12]
NEIC	02 46 18.2	12	5.9	5.9	5	181	50	85	38	275	312	60	-26	55	68	-147	[12]
NEIC (BB)			6.0		19	195	0	0	36	299	332	51	-13	70	80	-140	[12]

Примечание. Знаком * отмечена глубина по фазе pP .

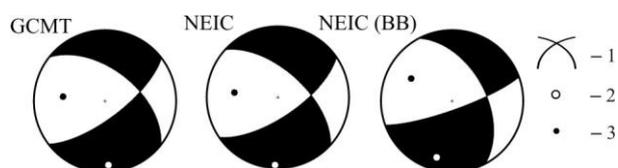


Рис. 4. Три варианта решения механизма очага 21 февраля 2008 г. с $M_w=6.1$

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

Все решения близки: преваляющими (более горизонтальными PL_T ($11^\circ, 5^\circ, 19^\circ$) $< PL_P$ ($40^\circ, 38^\circ, 36^\circ$)) являются напряжения растяжения субмеридиональной ориентации с AZM ($177^\circ, 181^\circ, 195^\circ$) и движение по менее крутым ($DP=54^\circ, 60^\circ, 51^\circ$) плоскостям $NP1$ северо-западной ($STK=308^\circ, 312^\circ, 332^\circ$) ориентации – левосторонний сдвиг с компонентами сброса, по более крутым плоскостям $NP2$ восток–северо-восточной ($STK=53^\circ, 55^\circ, 70^\circ$) ориентации – сброс с элементами правостороннего сдвига.

Землетрясение сопровождалось длительной афтершоковой активностью [14, 15]. Интенсивность афтершокового процесса в первые дни после основного толчка достигала 120 событий в сутки с $M_L \geq 2$. За 2008 г. было зарегистрировано 23607 афтершоков с $M_L \geq -0.2$ (магнитуда представительности), в том числе 474 афтершока с $M_L \geq 2.0$; их эпицентры показаны на рис. 5 и даны в Приложении к наст. сб. [19]. Для обнаружения и локализации землетрясений была применена система автоматического детектирования и локализации сейсмических событий (UDL) по данным норвежской сейсмической группы SPI [20].

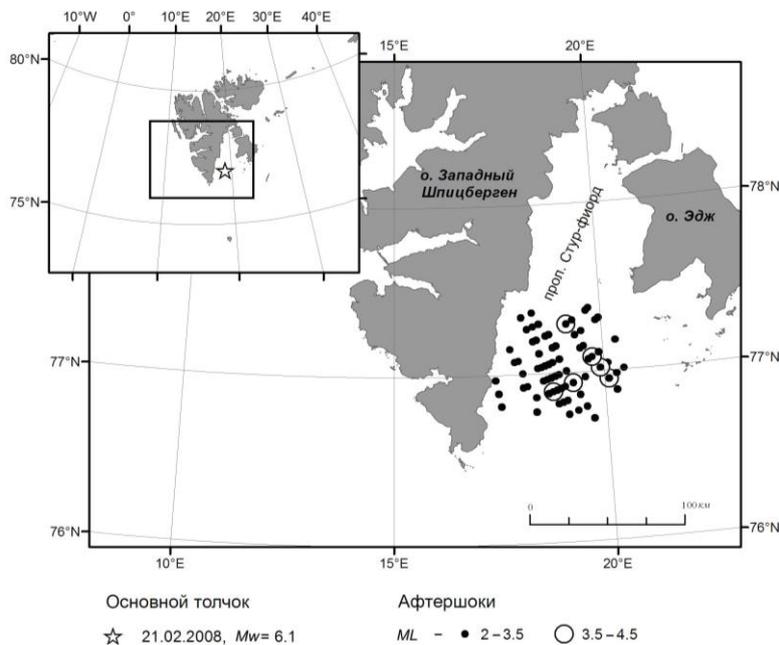


Рис. 5. Землетрясение 21 февраля 2008 г. с $M_w = 6.1$ в проливе Стур-фьорд и его афтершоки с $M_L \geq 2.0$ за 2008 г.

Проведенный в Кольском филиале анализ записей афтершоков с аномалиями волновых форм землетрясения, путей распространения волн и различных вариантов локализации этих событий позволил выдвинуть следующую гипотезу. Аномалии волновых форм одного и того же события на более удаленной станции KBS обусловлены неоднородностью среды на границе Коррада. Указанная неоднородность демпфирует первые вступления P -волны на станции SPI полностью, а на станции KBS – частично, поскольку до станции KBS первое вступление распространяется на большей глубине по границе Мохоровичича. Таким образом, истинное первое вступление P -волны на станции SPI неразлично на уровне шума, видимое первое вступление распространяется по осадкам и верхней части кристаллического фундамента. Выдвинутая гипотеза привела к необходимости модификации скоростной модели распространения волн, ограничив ее двумя слоями. Такая модель игнорирует демпфированные первые вступления и позволяет точнее определять координаты и время в очаге указанных событий. На основе предложенной двухслойной модели распространения сейсмических волн были определены координаты афтершоков этого землетрясения.

Моделирование афтершокового процесса землетрясения 21 февраля 2008 г. в проливе Стур-фьорд при помощи релаксационных моделей и модели триггерной сейсмичности показало [21, 22], что последовательность афтершоков с $-0.2 \leq M_L < 2.0$ не укладывается в рамки релаксационных и имеет триггерную природу. По результатам моделирования была высказана гипотеза, что причиной нерелаксационной природы является разрушение слоя газовых гидратов, повсеместно залегающих на баренцевоморском шельфе, вызванное основным толчком и

сильными афтершоками [23]. Несмотря на то, что непосредственных замеров выделения газа в поверхностном слое дна и морской воде не проводилось, были получены независимые подтверждения данной гипотезы. Во-первых, в фьордах Шпицбергена были обнаружены многочисленные покмарки [24], свидетельствующие об активной дегазации морского дна. Во-вторых, было зафиксировано смещение ареала обитания трески от зоны афтершоков, предположительно вызванное высвобождением метана при разрушении газовых гидратов [25]. Афтершоковая последовательность с $M_L \geq 2.0$ является релаксационным процессом, обусловленным восстановлением поля напряжений в зоне разрыва после основного толчка.

Максимальное землетрясение на Кольском полуострове имело магнитуду $M_L=2.6$. Оно зарегистрировано 12 июля в 17^h17^m и локализовано на северо-востоке полуострова ($\varphi=68.56^\circ\text{N}$, $\lambda=35.27^\circ\text{E}$). Слабая сейсмическая активность с $M_L=1-1.5$, как и в прошедшие годы [1, 3, 26], зафиксирована в Ловозерском массиве в районе рудника «Карнасурт» (10 мая в 18^h08^m с $M_L=1.7$, 29 мая в 19^h30^m с $M_L=1.1$, 25 августа в 19^h29^m с $M_L=1.2$, 2 ноября в 00^h15^m с $M_L=1.5$ [6]). Одиночные события на рис. 3 локализованы в Кандалакшском заливе Белого моря (10 мая в 15^h05^m с $M_L=1.4$), на границе Карелии и Финляндии (27 сентября в 02^h20^m с $M_L=2.7$), в Баренцевом море (4 ноября в 02^h13^m с $M_L=3.1$).

Заслуживают внимания еще две группы землетрясений одинакового объема $N_{\Sigma}=3$, локализованные вне описанных выше двух территорий. Первая из них зарегистрирована в Баренцевом море к юго-западу от о. Медвежий (22 января в 05^h10^m с $M_L=3.03$, 31 июля в 01^h28^m с $M_L=3.0$, 4 ноября в 02^h13^m с $M_L=3.1$), вторая – в Норвежском море в районе побережья Норвегии (12 февраля в 06^h35^m с $M_L=2.7$, 11 апреля в 06^h02^m с $M_L=3.3$, 24 апреля в 04^h53^m с $M_L=3.2$) [6].

Есть также пять событий на рис. 3 неподалеку от пос. Заполярный в районе г. Киркенес, Северная Норвегия (17 июня в 09^h11^m с $M_L=2.3$, 4 октября в 14^h53^m с $M_L=1.9$, 14 октября в 16^h47^m и в 20^h13^m с $M_L=2.9$ и 2.8, соответственно, 12 декабря в 06^h23^m с $M_L=2.2$). По формальным признакам они были идентифицированы как землетрясения (высокое отношение S/P , отсутствие спектральных и инфразвуковых признаков взрывов, достаточно разбросанное время в очаге t_0 от 6^h до 20^h). Однако взрывное происхождение этих событий исключить нельзя, поскольку события произошли в компактной области, и обращает на себя внимание схожесть их записей. Поэтому в каталоге [6] они отмечены как «возможно взрыв». К такой же категории, только с добавкой «взрыв в шахте», отнесено событие за 24 февраля в 03^h23^m с $M_L=3.35$ в бюллетене [12, агентство UPP].

В заключение считаем необходимым отметить, что специфической особенностью сейсмических процессов на архипелаге Шпицберген являются вариации сейсмичности, зависящие от изменений температуры воздуха. Для изучения этого явления в 2008 г. в КФ ГС РАН был проведен ретроспективный анализ сейсмологических данных по архипелагу Шпицберген [2, 27], в результате которого был выявлен сезонный характер сейсмичности, и доказана ее связь с годовыми вариациями температуры воздуха, и, как следствие, с активизацией пульсирующих ледников на Шпицбергене, а также вариациями гидрологических режимов в области взаимодействия атлантических и арктических вод и развитием обвально-оползневых процессов на континентальном склоне.

В целом по результатам мониторинга 2008 г. сейсмичность Кольского полуострова характеризуется как незначительная. Низкий уровень сейсмичности отмечается также и для всех сейсмогенных зон архипелага Шпицберген, за исключением зоны Стур-фьорд. Для районов хр. Книповича, хр. Мона и Северо-Восточной Земли, например, 2008 г. был годом минимальной сейсмической активности, по сравнению с данными 1999–2007 гг., тогда как зона Стур-фьорд характеризуется максимальной, превышающей на два порядка сейсмичностью относительно того же периода.

Л и т е р а т у р а

1. Баранов С.В., Петров С.И. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 241–245.
2. Отчет о результатах сейсмомониторинга и научно-исследовательской деятельности Кольского филиала ГС РАН за 2008 год. – Обнинск: фонды ГС РАН, 2008.
3. Баранов С.В., Петров С.И. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 231–236.

4. Коломиец А.С., Петров С.И. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 140–142.
5. Рихтер К.Ф. Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 13–44.
6. Баранов С.В., Петров С.И., Нахшина Л.П. Каталог землетрясений Мурманской области ($N=14$), Норвегии, Финляндии ($N=6$) и на архипелаге Шпицберген ($N=20$) в 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
8. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. – М.: ИЛ, 1963. – 670 с.
9. Рекомендации по вопросам определения магнитуды и энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 217.
10. Båth M. Introduction to seismology. – Basel and Stuttgart: Birkhauser Verlag, 1973. – 395 p.
11. Эйби Дж.А. Землетрясения. – М.: Недра, 1982. – 264 с.
12. Bulletin of the International Seismological Centre for 2008. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
13. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
14. Баранов С.В., Асминг В.Э., Виноградов А.Н. Землетрясение 21.02.2008 в Стур-фьорде, архипелаг Шпицберген // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Северные территории России: проблемы и перспективы развития» 23–26 июня 2008 г. – Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2008. – С. 77–80.
15. Varanov S.V., Vinogradov A.N. Aftershock process in the channel of Stur-Fiord (Spitsbergen) and hypothesis of seismicity // Proceedings of the 8th International Conference Problems of Geocosmos. Saint-Petersburg State University. St. Petersburg, Petrodvorets (20–24 September, 2010). – СПб: ЛГУ, 2010. – P. 369–374.
16. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
17. 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 г.–31.12.2003 г.) // Отчет КОМСП ГС РАН. – Петропавловск-Камчатский: Фонды КОМСП ГС РАН, 2004. – С. 359–380.
18. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2008 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – URL: ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2008/
19. Баранов С.В. (отв. сост.). Афтершоки землетрясения 21.02.2008 г. с $M_L=6.2$, $M_w=6.1$ в проливе Стур-фиорд, архипелаг Шпицберген по данным КоФ ГС РАН ($N=475$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
20. Баранов С.В., Петров С.И. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 228–232.
21. Асминг В.Е., Баранов С.В., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А. Сезонный характер сейсмичности в районе архипелага Шпицберген. – Вестник МГТУ. – 2009. – 12. – № 4. – С. 571–575.
22. Баранов С.В. Афтершоковый процесс землетрясения 21.02.2008 г. в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 3. – С. 1–15.
23. Баранов С.В., Виноградов А.Н. Возможные причины аномальной сейсмической активности в проливе Стур-фиорд (архипелаг Шпицберген) в 2008–2009 годах // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2010. – Серия 7. – № 4.
24. Forwick M., Vaeten N.J., Vorren T.O. Pockmarks in Spitsbergen fjords // Norwegian J. of Geology. – 2009. – 89. – P. 65–77.
25. Виноградов А., Баранов С., Жичкин А., Моисеев Д. Влияние сейсмичности на распределение рыбных скоплений на западной окраине Баренцевоморского бассейна // Рыбные ресурсы. – 2011. – № 2. – С. 18–21.
27. Асминг В.Е., Баранов С.В., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А. Сезонный характер сейсмичности в районе архипелага Шпицберген. – Вестник МГТУ. – 2009. – 12. – № 4. – С. 571–575.