

УДК 550.34.01:550.344.2

## Сезонный характер сейсмичности в районе архипелага Шпицберген

**В.Е. Асминг, С.В. Баранов, А.Н. Виноградов, Ю.А. Виноградов**  
*Кольский филиал Геофизической службы (КолФ ГС) РАН*

**Аннотация.** Работа описывает основные результаты ретроспективного изучения сейсмичности в районе архипелага Шпицберген, острова Западный Шпицберген и зоне Стур-Фьорд – Зюйдкап за период 1999-2008 гг. В ходе исследований обнаружена сезонная вариация количества землетрясений в различных диапазонах магнитуд. Для объяснения этого факта была выдвинута гипотеза о связи вариаций сейсмичности и температуры, которые воздействуют на таяние ледников.

**Abstract.** The paper presents main results of retrospective study of seismicity of Spitsbergen Archipelago, West Spitsbergen Island and zone Stor-Fiord - Sudcup for 1999-2008. The authors have revealed that the annual variation of the number of earthquakes with different magnitudes occurred in the area has seasonal character. To explain the phenomena we have suggested linking the seismic variation with annually variations of air temperature which affect the glaciers melting.

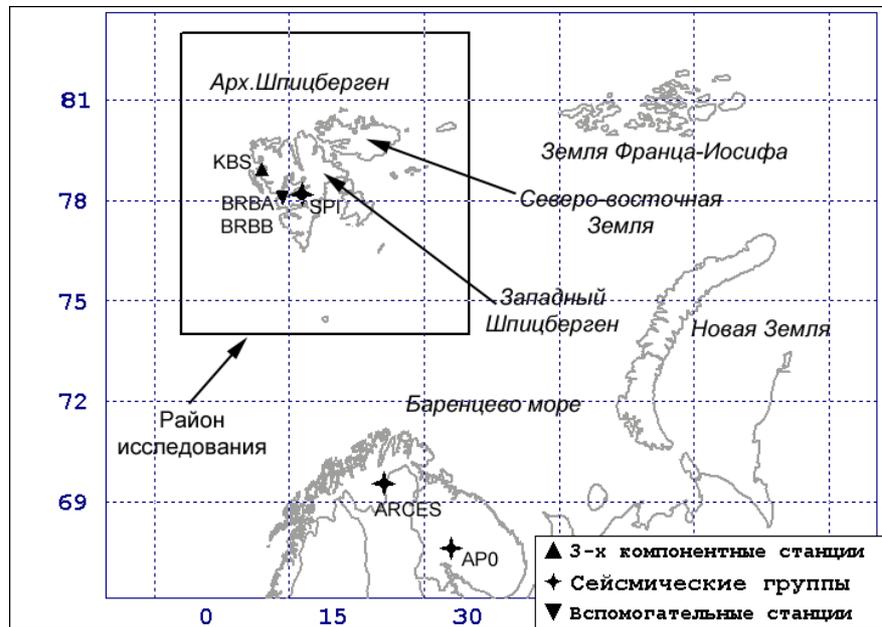
**Ключевые слова:** сейсмология, землетрясения, сезонные вариации сейсмичности, архипелаг Шпицберген, вариации температуры воздуха, оползни

**Key words:** seismology, earthquakes, seasonal variations of seismicity, Spitsbergen Archipelago, variations of air temperature, rockslides

### 1. Введение

В ходе ретроспективного изучения сейсмичности архипелага Шпицберген по данным региональной сейсмической сети за 1992-2008 гг. был обнаружен сезонный характер годовых вариаций количества землетрясений на территории архипелага Шпицберген и в близлежащей акватории. Для детального изучения этого феномена мы выделили район исследований: прямоугольник с вершинами 83°N, 3°E и 74°N, 35°E и отдельно остров Западный Шпицберген и зона Стур-фьорд – Зюйдкап (рис. 1).

Рис. 1. Район исследования и сейсмические станции, данные которых были использованы



### 2. Использованные данные

В ходе исследования были использованы данные региональной части мировой сейсмической сети (рис. 1), включающей 3-х компонентную станцию KBS (IRIS, США), три сейсмические группы SPI, ARCES (NORSAR, Норвегия) и APO (КолФ ГС РАН, Россия). База данных исследования покрывает период с 1999 по 2008 гг. Данные 2001-2008 гг. при необходимости уточнялись с помощью станций BRBA и BRBB (КолФ ГС РАН, Россия).

Информационная база исследования содержит данные о координатах эпицентра, времени в очаге, времена прихода фаз сейсмических волн на станции региональной сети (рис. 1) и энергетические параметры для 14963 сейсмических событий с магнитудами  $ML$  от 1 до 6.2, произошедших в районе архипелага Шпицберген с 1999 по 2008 гг. и зарегистрированных как минимум двумя сейсмостанциями.

### 3. Методика исследования

Сейсмичность изучаемой территории характеризовалась суммарным количеством землетрясений (взятых из каталога исследования), по дням года:

$$N_i(M_0, M_1) = \sum_{t=1999}^{2008} N_i^t(M_0, M_1) \quad (i = 1, \dots, 365),$$

где  $N_i^t(M_0, M_1)$  – количество землетрясений, произошедших в  $i$ -й день года  $t$  с магнитудами от  $M_0$  до  $M_1$ ;  $N_i(M_0, M_1)$  – суммарное количество землетрясений, произошедших в  $i$ -й день за все годы с магнитудами от  $M_0$  до  $M_1$ . Варьирование различных значений  $M_0$  и  $M_1$  позволяет выявить зависимость параметра  $N_i$  от магнитуды. Для лучшего восприятия величин  $N_i(M_0, M_1)$  мы подвергнем их сглаживанию за 10-дневные интервалы.

### 4. Результаты исследования

На рис. 2 показаны годовые вариации количества землетрясений, рассчитанные по формуле с  $M_0 = 1$ ,  $M_1 = 6.2$  (максимальное значение) произошедших во всем районе исследований – пиковый выброс, отмеченный стрелкой, связан с афтершоками сильнейшего землетрясения 21.02.2008 с  $ML = 6.2$ . Исключая афтершоки сильнейшего землетрясения 21.02.2008, можно заметить, что количество сейсмических событий возрастает, начиная с примерно 175 дня (вторая половина июня) по 250 день (первая половина сентября) года. Затем количество сейсмических событий стабилизируется до 288 дня года (середина октября). После чего начинается спад, продолжающийся до конца года.

Чтобы выявить характер зависимости обнаруженной сезонности количества сейсмических событий от магнитуды, мы выполняли расчеты по формуле, изменяя значения магнитуды  $M_0$  с шагом 0.2. В результате было установлено, что сезонность суммарного количества землетрясений по дням года наблюдается для событий с  $1 \leq ML \leq 2.2$  и отсутствует для событий с  $ML > 2.2$  (рис. 2).

Годовые вариации количества сейсмических событий на Западном Шпицбергене также имеют выраженный сезонный характер (рис. 3). Количество землетрясений с  $ML \geq 1$  возрастает со 160 до 255 дня (с первой половины июня до середины сентября). Затем повышенный фон сохраняется до, примерно, 300-305 дня (конец октября). После чего наблюдается спад количества землетрясений, продолжающийся до конца года. В отличие от всего района исследований, сезонный характер сейсмичности Западного Шпицбергена сохраняется при повышении нижнего значения диапазона магнитуд в формуле.

Рис. 2. Годовые вариации суммарного количества землетрясений, произошедших в районе архипелага Шпицберген в 1999-2008 гг. Пиковый выброс (отмечен стрелкой) – афтершоки сильнейшего землетрясения 21.02.2008 с  $ML=6.2$

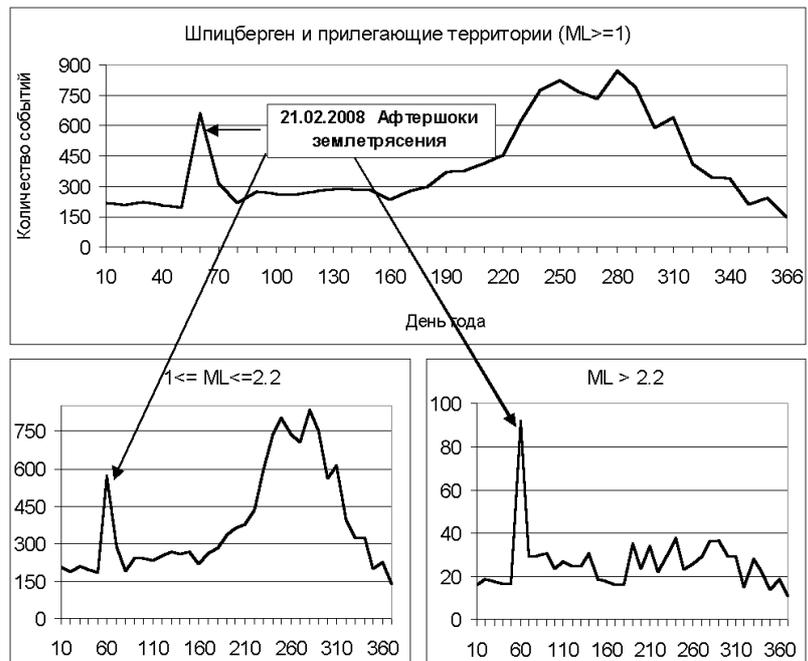


Рис. 3. Годовые вариации суммарного количества землетрясений с магнитудами больше 1, произошедших на о. Западный Шпицберген в 1999-2008 гг.



Рис. 4. Годовые вариации суммарного количества землетрясений, произошедших в зоне Стур-фьорд – Зюйдкап в 1999-2008 гг.



Пиковый выброс (отмечен стрелкой) – афтершоки сильнейшего землетрясения 21.02.2008 с  $ML=6.2$ .

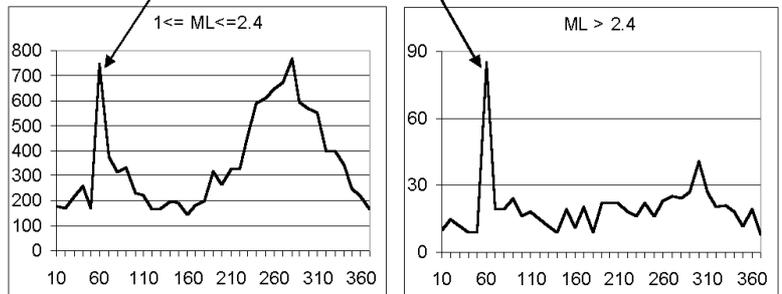


Рис. 5. Вариации количества сейсмических событий с  $ML > 0.5$  за 1999-2008 гг. на о. Западный Шпицберген и температуры воздуха по данным станции в Лонгире за 1988-2004 гг.

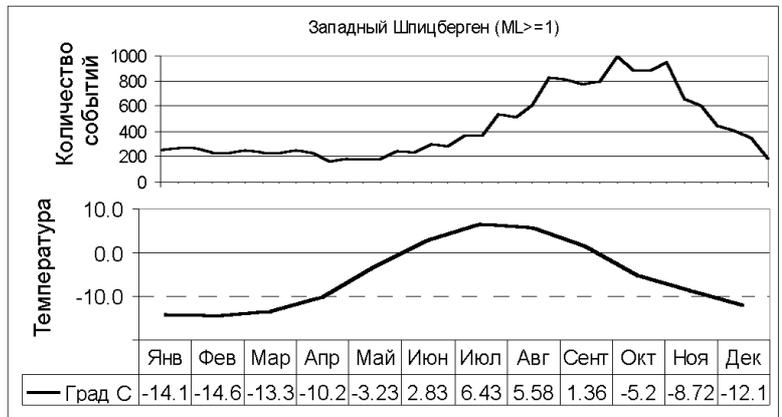
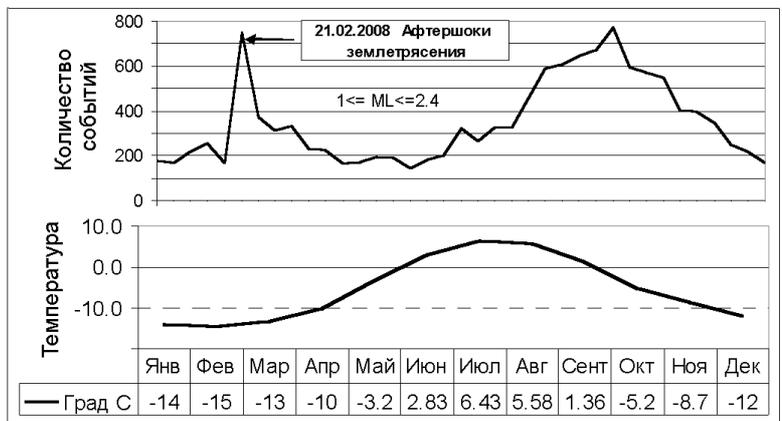


Рис. 6. Вариации количества сейсмических событий с  $1 \leq ML \leq 2.4$  за 1999-2008 гг. в зоне Стур-Фьорд – Зюйдкап и температуры воздуха по данным станции в Лонгире за 1988-2004 гг.



Перейдем к рассмотрению зоны Стур-Фьорд – Зюйдкап (рис. 4). В этой зоне 21.02.2008 года произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой 6.2, которое сопровождалось сотнями афтершоков с  $ML > 2$  (пиковый выброс на рис. 4). Сезонный характер вариаций суммарного количества сейсмических событий в этой зоне, за исключением пикового всплеска, порожденного афтершоками землетрясения 21.02.2008 г., аналогичен вариациям этого параметра для всего рассматриваемого района (рис. 2): сезонность наблюдается для землетрясений с магнитудами от 1 до 2.4 и отсутствует для землетрясений с магнитудами больше 2.4 (рис. 4).

## 5. Обсуждение результатов исследования

Для объяснения обнаруженной сезонности сейсмичности района Шпицбергена была выдвинута гипотеза о связи годовых вариаций количества землетрясений и температуры воздуха. Если такая гипотеза верна, то наибольшее влияние температурных вариаций должно наблюдаться в зонах, покрытых ледниками, а именно, на островах Северо-восточная Земля и Западный Шпицберген (рис. 1). На рис. 5 показаны годовые вариации температуры воздуха по данным ближайшей станции в поселке Лонгир (о. Западный Шпицберген) за 1988-2004 гг. и количества сейсмических событий с  $ML > 1$  за 1999-2008 гг. Можно заметить, что повышение количества сейсмических событий приходится на первую половину июня и совпадает с началом периода положительных температур. Затем повышенное количество событий сохраняется на протяжении периода положительных температур (до конца сентября). Сразу после того как температуры станут отрицательными, начинается уменьшение сейсмического фона.

Можно предположить, что аналогичное соотношение вариаций сейсмичности и температуры присутствует и на острове Северо-восточная Земля. Проверка этого предположения затруднена в связи с отсутствием метеостанций на острове.

Установленная закономерность позволяет связать сезонные вариации сейсмичности на острове Западный Шпицберген с таянием ледников в период положительных температур, поскольку в этот период увеличивается скорость движения "пульсирующих" ледников, передвижения которых вызывают сейсмические события. Отметим, что на территории Шпицбергена имеется 132 пульсирующих ледника площадью 18 тыс. км<sup>2</sup>.

В пользу этой гипотезы свидетельствует и оценка массы, высвобождающейся при таянии ледников в теплый период года. Общая площадь ледников на Шпицбергене составляет 30-36 тыс. км<sup>2</sup>. Абляция на леднике Альдегонга за 2002/2003 гг. составляла 56 г/см<sup>2</sup>; за 2003/2004 гг. – 48 г/см<sup>2</sup> (Мавлюдов, Соловьянова, 2005). Тогда средняя абляция равна 50 г/см<sup>2</sup> = 0,5 кг/м<sup>2</sup> = 5·10<sup>5</sup> кг/км<sup>2</sup>. Таким образом, освобождающаяся масса при таянии ледников на Шпицбергене в теплый период года составляет 18 млн т.

Увеличение скорости движения "пульсирующих" ледников в теплый сезон года не может объяснить сезонные вариации сейсмичности зоны Стур-фьорд – Зюйдкап в диапазоне магнитуд  $1 < ML \leq 2.4$  (рис. 4), поскольку эта зона находится под водой на континентальной окраине. Тем не менее, при наложении графиков вариаций температуры и количества землетрясений с  $1 < ML \leq 2.4$  (рис. 6) наблюдается такая же закономерность, как и в случае о. Западный Шпицберген: возрастание количества землетрясений соответствует началу теплого периода, а спад начинается с началом холодного периода.

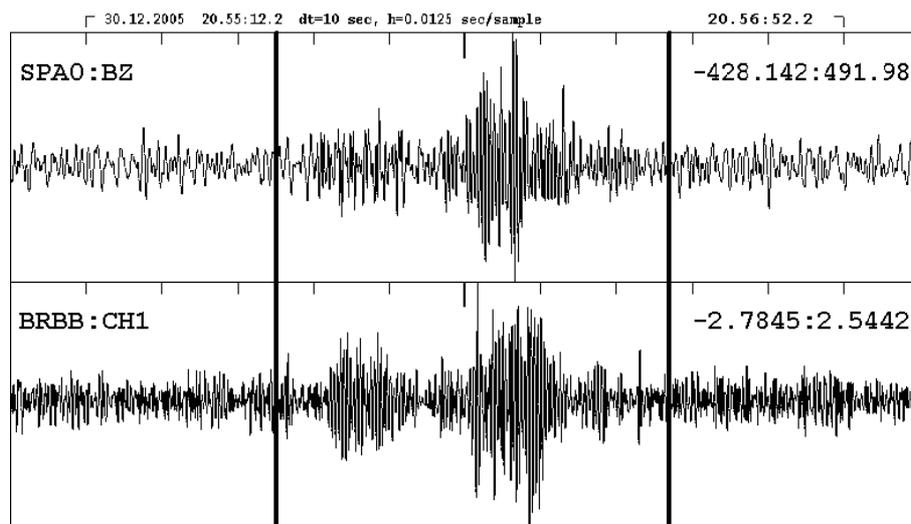
Известно, что таяние ледников существенно увеличивает перенос аллювиального материала в область шельфа и материкового склона. Отмеченный факт может привести к образованию подводных оползней, фиксируемых сейсмометрами как сейсмические события.

В 2008 г. была предпринята попытка отыскать оползни на записях станций BRBB и BRBA. В качестве критериев идентификации оползней на сейсмограммах были использованы предложения из работы (Соколова, Шепелев, 2005): "В отличие от записей взрыва и землетрясения, где максимум амплитуды достигается на первых секундах события, запись оползня не имеет четкого первого вступления, характеризуется медленным нарастанием амплитуды и является самой низкочастотной".

Для поиска оползней была создана алгоритмическая реализация этого критерия: если отношение сигнал-шум превышает 3 и если средняя амплитуда сигнала в полосе 1-3 Гц в 1.5 раза превышает амплитуду сигнала в полосе 3-5 Гц, то выделенный фрагмент объявляется участком сейсмограммы, возможно, соответствующим оползню. Дальнейшее решение по выделенным таким образом фрагментам принималось опытным оператором с привлечением данных сейсмической группы SPI. Если на записи группы SPI соответствующий сигнал отсутствовал, то такой участок отбраковывался.

На рис. 7 показана сейсмограмма события, произошедшего 30.12.2005 года севернее Северо-восточной Земли. Определить координаты эпицентра такого события затруднительно, ввиду невозможности маркировать вступления сейсмических волн, однако возможно определить азимут по сейсмической группе SPI. Оценка азимута дает направление на Северо-восточную Землю. Таким образом, можно считать достоверным наличие современных оползневых процессов в осадочном чехле океанического дна в прогибе Стур-Фьорд – Зюйдкап.

Рис. 7. Запись оползня 30.12.2005 г. в районе Северо-восточной Земли сейсмическими станциями BRBB и SPI. Участок, соответствующий событиям, расположен между двумя вертикальными прямыми



## 6. Заключение

В результате проведенного исследования было установлено следующее. Годовые вариации количества сейсмических событий с магнитудами от 1 до 2.2, произошедших на архипелаге Шпицберген и прилегающей акватории (рис. 1) за 1999-2008 годы, имеют сезонный характер: количество сейсмических событий возрастает начиная с примерно 180 дня (конец июня) по 246 день (начало сентября). Затем повышенное количество сейсмических событий продолжается до 276-280 дня года (начало октября). После этого начинается спад, продолжающийся до конца года.

При рассмотрении сейсмических событий с магнитудами больше 2.2, произошедших в указанном районе, сезонность не наблюдается.

Похожий сезонный характер сейсмичности был также установлен и в зоне Стур-фьорд – Зюйдкап для событий с магнитудами от 1 до 2.4. Для землетрясений с магнитудами больше 2.4 сезонность не наблюдается.

На острове Западный Шпицберген в годовых вариациях сейсмичности также присутствует сезонность во всем рассматриваемом диапазоне магнитуд: количество землетрясений возрастает с 160 дня (первая половина июня) до 255 дня (середина сентября). Затем повышенный фон сохраняется до примерно 300-305 дня (конец октября); после чего наблюдается спад количества землетрясений, продолжающийся до конца года. Сезонный характер сейсмичности Западного Шпицбергена сохраняется при повышении нижнего значения диапазона магнитуд.

Обнаруженная сезонность сейсмичности в районе Шпицбергена может быть объяснена годовыми вариациями температуры воздуха, определяющими таяние ледников, что, в свою очередь, влияет на сбор аллювиального материала в область шельфа и материкового склона, вызывая оползневые процессы в осадочном чехле океанического дна в прогибе Стур-Фьорд – Зюйдкап.

## Литература

- Мавлюдов Б.Р., Соловьянова И.Ю.** Баланс массы ледника Альдегонда в 2003/2004 и 2003/2004 балансовых годах. *Комплексные исследования природы Шпицберген. Вып. 5. Апатиты, КНЦ РАН, 590 с., 2005.*
- Соколова И.Н., Шепелев О.М.** Идентификация записей оползней на сейсмограммах. *Вестник НЯЦ РК, вып. 2, июнь, с.165-168, 2005.*