

УДК 550.34.06

А. В. Федоров, В. Э. Асминг, С. В. Баранов,  
А. Н. Виноградов, З. А. Евтюгина, В. А. Горюнов

## Сейсмологические наблюдения за активностью ледников архипелага Шпицберген

A. V. Fedorov, V. E. Asming, S. V. Baranov,  
A. N. Vinogradov, Z. A. Evtugina, V. A. Goryunov

## Seismological observations of glaciers dynamic on the Spitsbergen archipelago

**Аннотация.** В работе приводится краткое описание накопленных результатов по наблюдению за сейсмическими проявлениями активности ледников арх. Шпицберген. Исследования проводились как по данным стационарной сети наблюдения, так и при помощи временных станций. Описаны характерные особенности записей сейсмических событий, связанных с процессами деструкции ледников. По результатам наблюдений выделены основные зоны проявления ледниковой активности. Проведены детальные исследования активности ледников залива Хорнсунн-фиорд по данным местной станции HSPB. Получены площадные и временные распределения событий. Обнаружены сезонные вариации числа событий.

**Abstract.** The paper provides a brief description of results of Spitsbergen glacier observations by the seismic method. The study has been carried out both by permanent and temporary stations data. Characteristic features of glacier-related seismic events have been shown. Main areas of glacier seismic activity on the Archipelago have been revealed. A detailed study of Horsund-fjord glacier activity has been carried out using local seismic station HSPB data. Temporal and spatial distributions of glacier-related events have been obtained for the area. Season variations in temporal distribution of the events have been found.

**Ключевые слова:** ледотрясение, ледник, сейсмичность, сейсмическая станция, калвинг, айсбергообразование.  
**Key words:** icequake, glacier, seismicity, seismic station, glacier calving.

### Введение

Шпицберген – арктический архипелаг, расположенный к северу от континентального побережья Норвегии и омываемый Гренландским, Норвежским и Баренцевым морями. Порядка 60 % архипелага покрыто ледниками. Большая часть ледников Шпицбергена – наплывные, т. е. имеющие выход на поверхность моря. Замечено, что процессы динамики ледников, такие как крупномасштабные подвижки тела ледника (сёрджи) [1; 2], растрескивания ледникового тела [3], обрушения выводной кромки ледника с образованием айсбергов (калвинг) [4] или процессы дренажа талых вод [5], могут генерировать сейсмические сигналы. Данный класс сейсмических сигналов, тем или иным образом связанный с процессами динамики ледников, получил название – ледотрясение.

Мониторинг состояния и активности ледников имеет большое значение для наблюдений за изменением климата планеты и влиянием данных процессов на окружающую среду. В высоких широтах мониторинг активности выводных ледников приобретает важность еще и с точки зрения контроля угроз шельфовой инфраструктуре объектов добычи углеводородов, а также судоходству северных морей, ввиду потенциальной опасности образования крупных айсбергов.

Многие годы Кольский филиал Геофизической службы РАН (КоФ ГС РАН) ведет сейсмический мониторинг архипелага Шпицберген и прилегающих территорий при помощи собственной сети станций и станций зарубежных коллег. Зачастую местные сейсмические станции регистрируют сигналы, характеризующиеся практически монохромными записями с доминированием частот в узкой полосе 2–5 Гц. При рутинной обработке записей местных сейсмических станций подобные события зачастую пропускаются, так как их сложно обнаружить при фильтрации сигнала в более широкой полосе частот, характерной для тектонических землетрясений данного региона.

Начатые в КоФ ГС РАН с 2011 г. исследования данного класса событий позволили выдвинуть гипотезу о связи природы генерации таких сигналов с процессами деструкции ледниковых тел [6], которая в последующем была доказана по результатам детальных сейсмологических и сейсмоинфразвуковых

наблюдений [7–10]. Цель данной работы – обобщить и представить целостную картину многолетних наблюдений за ассоциируемой с активностью ледников сейсмичностью архипелага Шпицберген.

### Использованные данные и оборудование

Сейсмическая сеть архипелага Шпицберген представлена шестью одиночными трехкомпонентными станциями (KBS, BRBA, BRBB, HSPB, HOPEN, VJO) и одной сейсмической группой (SPI) (рис. 1). Две станции из шести (HOPEN и VJO) расположены на небольших островах архипелага в значительном отдалении от крупных ледников. Две другие станции, принадлежащие Кольскому филиалу Геофизической службы РАН, расположены вблизи пос. Баренцбург и главным образом нацелены на мониторинг горно-динамических процессов в пределах одноименного угольного рудника. А вот станции KBS (сейсмологического агентства IRIS) и HSPB (Институт геофизики Польской академии наук) расположены вблизи крупных и активных ледников. Кроме того, с 2012 по 2015 гг. Кольским филиалом ГС РАН проводились ежегодные сезонные наблюдения за активностью ледников Эсмарк и Нансен. Для этого на летне-осенний период на удалении 2 км от фронта ледника Эсмарк устанавливалась временная станция ESM (рис. 1).

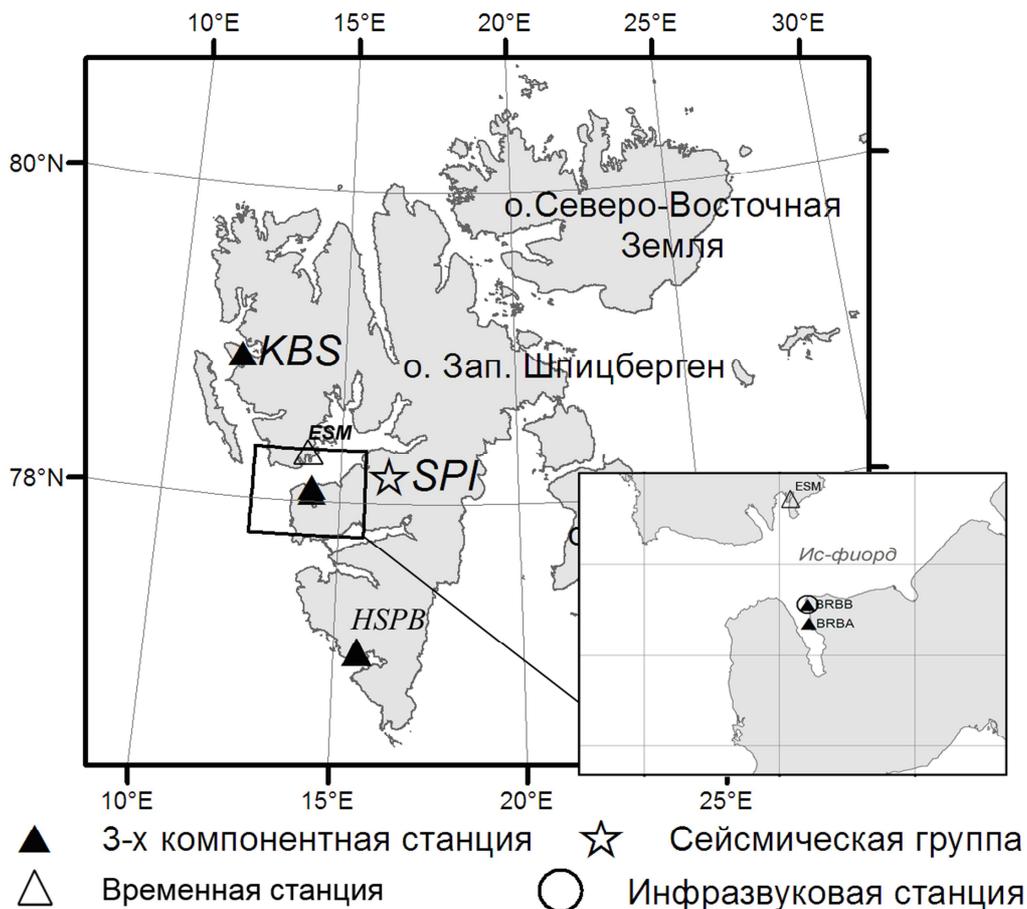


Рис. 1. Сейсмическая сеть архипелага Шпицберген

В данной работе мы обсудим результаты, полученные при обработке станций ESM, HSPB и сейсмической группы SPI. Ниже приведено краткое описание оборудования, установленного на этих станциях.

#### Станция ESM

– устанавливалась на обнажение скальной породы на берегу залива Имербухта. Регистрация велась среднеполосным сейсмометром Guralp CMG-6TD с интегрированным 24-разрядным дигитайзером со встроенной системой сохранения данных объемом 16 Гб. Привязка к точному времени осуществлялась посредством GPS-приемника. Данный комплект оборудования потребляет не более 140 мА, что позволяет организовать питание станции при помощи комплекта из двух солнечных панелей суммарной мощностью 60 Вт, подзаряжающих гелиевый аккумулятор объемом 100 А/ч. Такой системы автономного питания хватает для обеспечения бесперебойной работы станции на протяжении летних и осенних месяцев в условиях полярного дня.

*Станция HSPB*

– расположена на берегу Хорнсунн-фьорда, на южной оконечности о. Западный Шпицберген. Станция принадлежит Институту геофизики Польской академии наук и укомплектована современным высокочувствительным сейсмологическим оборудованием: сейсмометр STS-2 (Kinematics) и дигитайзер DM24 (Guralp). Непрерывные данные станции HSPB доступны в сети Интернет.

*Сейсмическая группа SPI*

– представляет собой набор разнесенных в пространстве однотипных вертикальных сейсмических датчиков и трехкомпонентных сейсмостанций Guralp CMG-3T. Все датчики группы установлены в специальные скважины с заглублением до нескольких метров. Максимальное расстояние между датчиками – 1 км, максимальный перепад высот – 150 м. Удаленность группы от источников техногенного шума, использование скважинных сейсмометров, а также особые методы обработки записей по сейсмическим группам делают данную станцию наиболее чувствительным сейсмическим инструментом на архипелаге и позволяют регистрировать даже очень слабые сейсмические события (с локальной магнитудой, равной 0) на больших расстояниях (до 100 км).

**Сезонные наблюдения временной станцией ESM**

Так как на первых этапах изучения низкочастотных сейсмических событий, регистрируемых сетью станций на арх. Шпицберген была высказана лишь гипотеза об их связи с процессами динамики ледников, этому предположению требовалось подтверждение. Для получения более детальных данных с целью верификации высказанной гипотезы летом 2012 г. сотрудниками КоФ ГС РАН была установлена система наблюдения за активностью ледника Эсмарк. Данная система включала в себя временную сейсмическую станцию ESM, установленную в 2 км от кромки ледника, станцию GPS-наблюдения – на поверхности ледника и сейсмоинфразвуковую группу BRBB, размещенную в 18 км к югу, на другой стороне пролива Ис-фиорд. Карта расположения элементов системы показана на рис. 2.

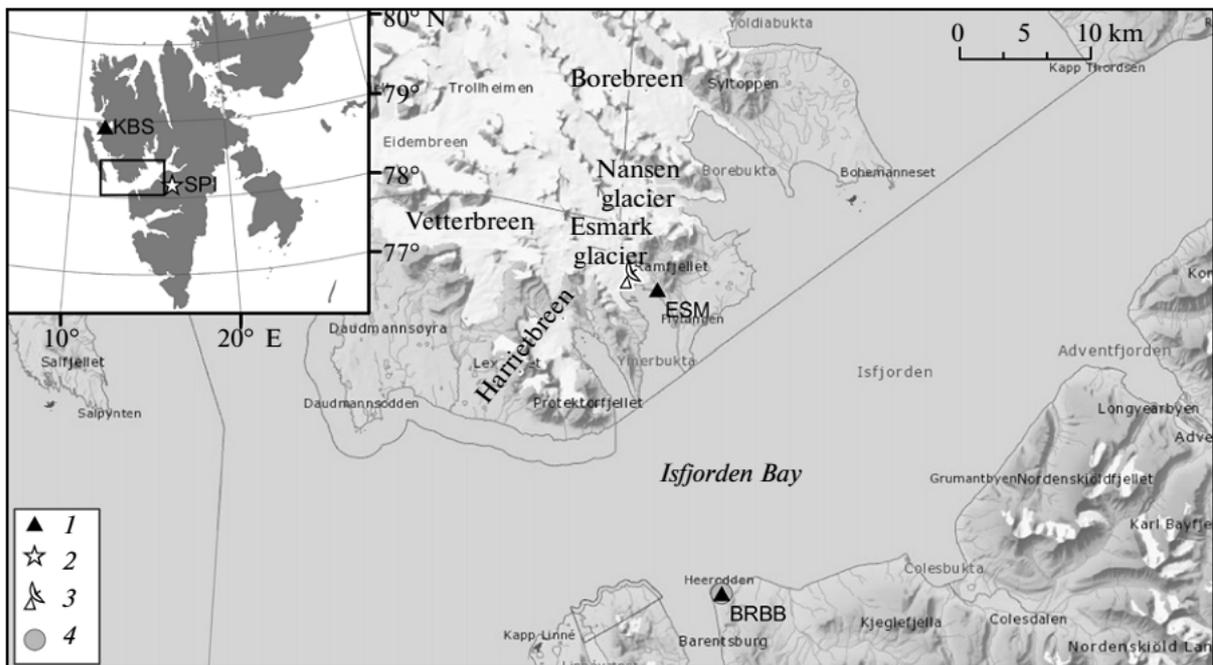


Рис. 2. Карта размещения элементов временной системы наблюдения за ледником Эсмарк

Для обнаружения сейсмических событий по данным станции ESM использовался детектор, основанный на отношении STA/LTA (отношение средней амплитуды в коротком окне к средней амплитуде в длинном окне). Таким способом было обнаружено 19 862 сигнала с отношением STA/LTA больше 3. Применение столь простого метода детектирования является оправданным, поскольку станция ESM расположена вдали от источников техногенного шума и вблизи целевого источника сигналов.

Распределение обнаруженных сейсмических событий по часам суток, полученное методом наложения эпох, оказалось неравномерным. Максимальное количество событий приходится на период с 10 до 12 час UT, что соответствует 12–14 час местного времени. На этот же период времени приходятся максимальные значения температуры воздуха (рис. 3), согласно данным норвежской метеостанции Adventdalen, расположенной в 45 км от ледника, вблизи п. Лонгиер. Таким образом, совпадение характера суточных вариаций количества

сейсмических событий в районе ледников и температуры воздуха является косвенным свидетельством того, что зарегистрированные сейсмические события генерируются процессом деструкции ледников.

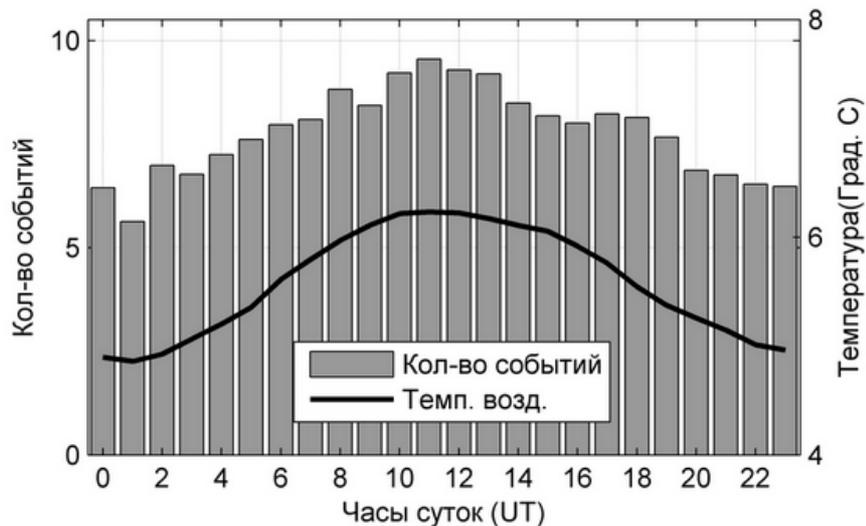


Рис. 3. Вариации количества событий, обнаруженных по станции ESM, и температуры воздуха по часам суток (метод наложения эпох)

Из общего числа обнаруженных сейсмических событий была сделана выборка наиболее сильных. Для событий из данной выборки произведена ручная локация эпицентров и проанализирован спектральный состав записей.

Согласно ручной локации большинство эпицентров обнаруженных событий попали на кромку ледника, где происходят основные разрушения, связанные с айсбергообразованием, часть эпицентров локализовалась на удалении от кромки ледника, в зоне активного поперечного растрескивания (рис. 4).

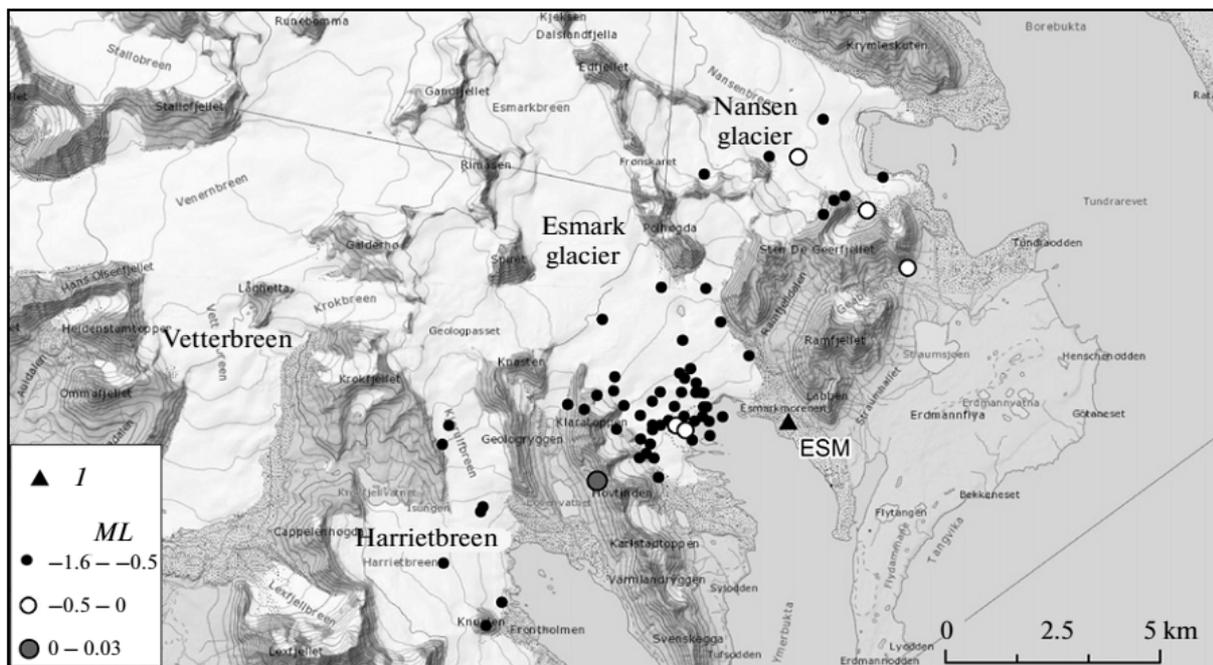


Рис. 4. Локация сейсмических событий, обнаруженных по станции ESM

Спектральный анализ записей показал, что все обнаруженные события могут быть разделены на несколько кластеров, однако для всех кластеров характерным является доминирование в спектре низких частот (< 6 Гц) (рис. 5).

Таким образом, обобщая полученные данные по сейсмическому наблюдению за ледником Эсмарк, можно заключить, что регистрируемые на арх. Шпицберген локальные сейсмические события с подавляющим

доминированием низких частот (< 5–6 Гц) в спектре записи, генерируются динамическими проявлениями местных ледников.

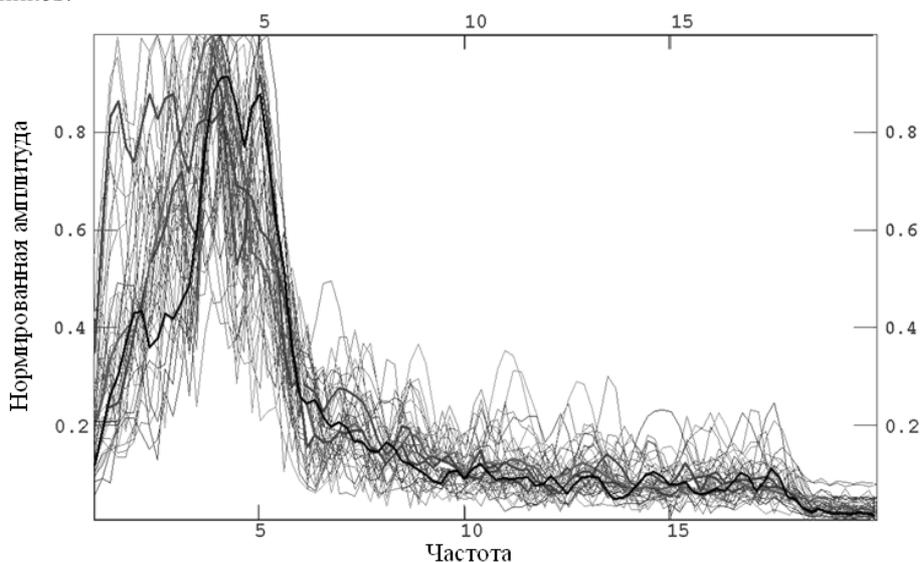


Рис. 5. Амплитудные спектры записей сейсмических событий, обнаруженных по станции ESM

#### Обработка данных сейсмической группы SPI

После того, как по результатам детальных наблюдений за ледником Эсмарк, были подтверждены данные о характерных особенностях спектрального состава ледниковых сейсмических событий, следующим этапом изучения ледниковой сейсмичности стал поиск подобных событий в масштабе всего архипелага. Для решения этой задачи мы обратились к данным сейсмической группы SPI как к наиболее чувствительному инструменту региональной сети. Был сформирован годовой массив непрерывных данных, а для его обработки применен довольно простой, но эффективный детектор ледниковых событий, описанный в работе [6] и основанный на особенности их спектрального состава – подавляющего доминирования низких частот в узкой полосе 2–5 Гц. Все результаты, отобранные данным детектором, были просмотрены специалистом, выполнено ручное определение координат эпицентров. По результатам обработки было обнаружено 528 льдотрясений. Карта распределения эпицентров обнаруженных событий приведена на рис. 6.

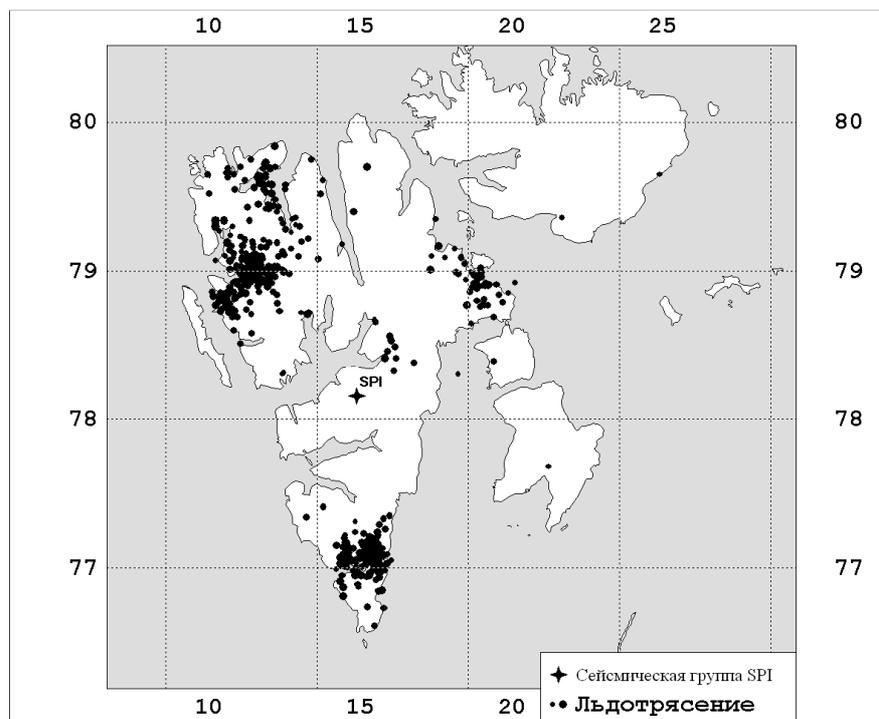


Рис. 6. Карта распределения эпицентров льдотрясений арх. Шпицберген, полученная по данным сейсмической группы SPI за 2011 г.

На полученной карте можно выделить три основных ареала проявлений сейсмичности ледников – это группа событий, ассоциируемая с ледниками вблизи пос. Кингсбэй, на северо-западе о. Западный Шпицберген, большая группа эпицентров на юге острова, ассоциируемая с ледниками, стекающими к заливу Хорнсунн, и группа событий в восточной части острова. При сопоставлении карт, представленных на рис. 1 и 6, обращает на себя внимание тот факт, что два крупнейших ареала льдотрясений находятся в непосредственной близости от сейсмических станций KBS (на севере) и HSPB (на юге). Таким образом, дальнейшие более детальные исследования ледниковой сейсмичности с целью получения подробных карт распределения эпицентров и временного распределения событий данного класса было решено продолжить по данным этих станций.

#### Обработка данных сейсмической станции HSPB

Станция HSPB принадлежит Институту геофизики Польской академии наук и расположена на берегу Хорнсунн-фьорда, на южной оконечности о. Западный Шпицберген. Станция окружена множеством крупных и мелких ледников, общая площадь которых превышает 172 км<sup>2</sup>. По данным работы [11], большинство ледников залива Хорнсунн – так называемые пульсирующие ледники, т. е. имеющие тенденцию к периодическому ускорению движения, проявляющемуся в сёрджах – крупномасштабных подвижках тела ледника со значительным выбросом айсберговой массы в залив.

Для обработки данных трехкомпонентной сейсмической станции HSPB был применен автоматический детектор-локатор, описанный в работе [12]. Данная программа производит детектирование сейсмических событий и определяет координаты эпицентра. Стоит заметить, что когда речь идет об автоматическом детектировании и локации, необходимо учитывать, что часть обнаруженных событий таковыми не являются (ложные срабатывания), а часть реальных событий может быть пропущена детектором. Поэтому все обнаруженные события просматривались опытным интерпретатором, и ложные срабатывания детектора отбраковывались, однако уточнение локации не производилось ввиду огромного числа обнаруженных событий.

При помощи описанного модифицированного автоматического детектора-локатора, работающего по одиночной сейсмической станции, нами были обработаны данные сейсмической станции HSPB за три года с 2010 по 2012 гг. Общее число автоматически отобранных событий, ассоциируемых нами с процессами деструкции местных ледников, составило 7700. Распределение эпицентров обнаруженных событий по годам показано на рис. 7.

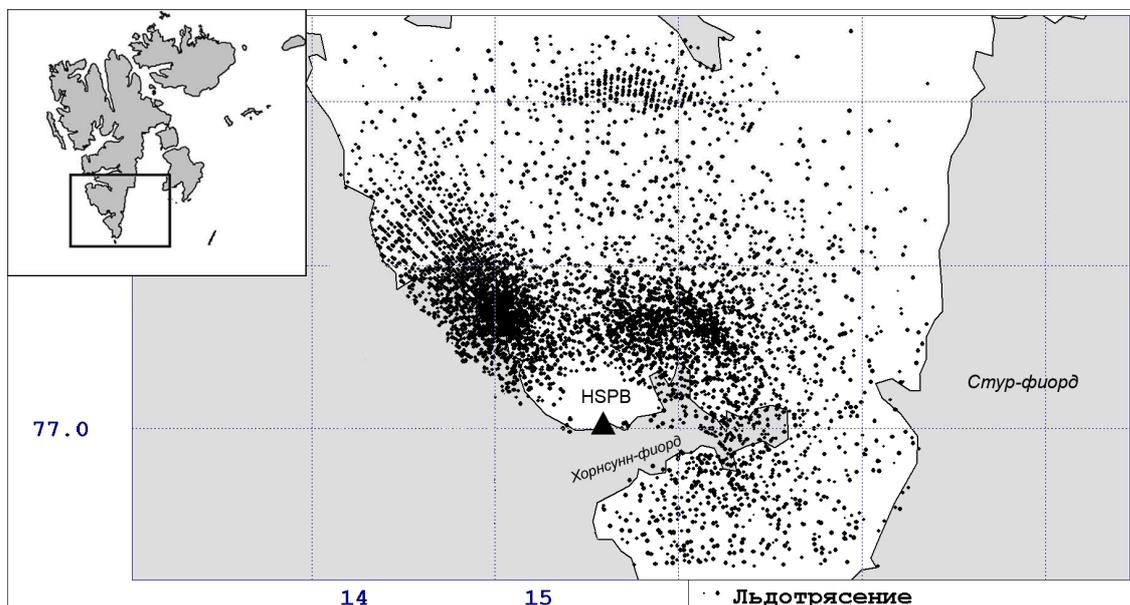


Рис. 7. Карта распределения эпицентров ледниковых событий, обнаруженных при обработке данных сейсмической станции HSPB за 2010–2012 гг.

Анализируя карты, представленные на рис. 7, можно выделить три области концентрации эпицентров сейсмических событий, ассоциируемых нами с активностью ледников. Это два облака эпицентров к северо-западу и северо-востоку от станции и облако эпицентров к северу от станции. Первые две области концентрации эпицентров покрывают площади зон абляции ледников Западный Торрел и Восточный Торрел к северо-западу от станции и Ханс, Мюльбах и Стор – к северо-востоку от станции. Третья же область, к северу от станции, совпадает с зоной накопления ледника Пенк. Обращает на себя внимание и тот факт, что эпицентры в этой зоне концентрируются в области накопления ледника, а не в области абляции, т. е. скорее всего, данные события не связаны с калвинговыми процессами, а имеют некую другую природу.

Анализ распределения числа событий по месяцам года для района ледника Пенк показал, что практически все события из данной области произошли в марте–апреле 2010 г. и январе–феврале 2011 г., т. е. в период отрицательных температур. В то же время для общего числа обнаруженных сейсмических событий максимум наблюдается в августе–сентябре, а рост числа детектирований начинается в июне, в период установления положительных среднесуточных температур в данном регионе (рис. 8). Данный факт также может свидетельствовать о том, что события из района ледника Пенк имеют иную – не калвинговую – природу. Характер распределения числа событий во времени свидетельствует об импульсной и периодической активизации данного ледника, что может свидетельствовать об импульсных подвижках ледникового тела; тот факт, что такие подвижки происходили в зимний период, не является уникальным, зимние сёрджи широко описаны в литературе [1; 2].

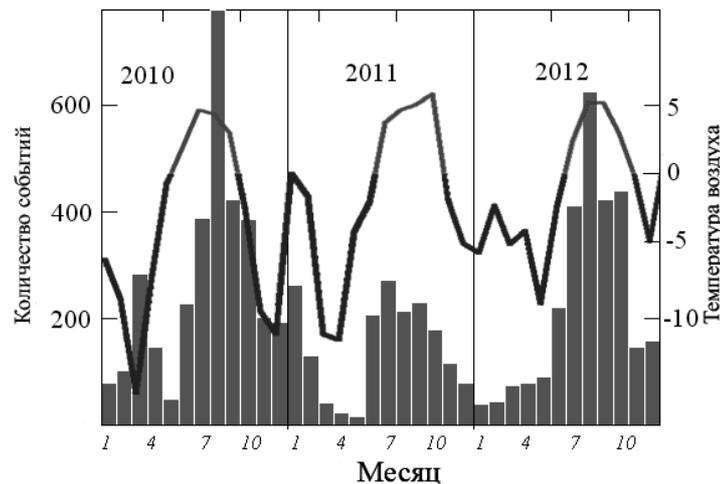


Рис. 8. Распределение по времени количества сейсмических событий, обнаруженных при обработке данных сейсмической станции HSPB за 2010–2012 гг.

### Заключение

По результатам исследований сейсмических событий, генерируемых активностью ледников, подтверждена связь сигналов, зарегистрированных сейсмическим методом, с процессами айсбергообразования и растрескивания ледниковых тел.

Распределение количества ледниковых событий по временам года и сопоставление его с графиком среднесуточной температуры воздуха на Шпицбергене показало совпадение начала роста количества ледниковых событий с установлением положительных температур, снижение же количества событий происходит с некоторой временной задержкой, после завершения теплого сезона.

С применением новых программных средств автоматической обработки данных одиночных трехкомпонентных станций получены новые данные о сейсмических процессах, ассоциируемых с деструкцией ледников южной части о. Западный Шпицберген. В частности, в результате обработки данных сейсмической станции HSPB (расположенной в южной части о. Западный Шпицберген) выявлены два типа активизации ледников. Первый тип связан с процессами деструкции зоны абляции (растрескивание с обрушением стенок, калвинг), что подтверждается результатами локации эпицентров и особенностями спектрального состава событий. Данный тип ледотрясений имеет регулярный годовой ход, с резким увеличением числа событий в период положительных температур воздуха и спадом активности с наступлением периода отрицательных температур. Второй выявленный тип ледотрясений характеризуется нерегулярными активизациями в зимний период, а локализация эпицентров приурочена к зоне питания горно-долинных ледников. Проявления событий данного типа впервые отмечены нами в 2010 и 2011 гг. на леднике Пенк, область питания которого расположена на водоразделе между фиордами Хорнсунн и Ван-Кюллен в интервале высот 720–500 м. Природа активизации пока не выяснена, можно предполагать, что она обусловлена импульсными подвижками (сёрджингом) тела ледника.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России при выполнении прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) по теме "Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной Арктической зоне Российской Федерации" (Соглашение о предоставлении субсидии от 20.10.2014 № 14.610.21.0006, уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI61014X0006).

### Библиографический список

1. Surge-front propagation and velocities during the early 1993–95 surge of Bering Glacier, Alaska, U.S.A., from sequential SAR imagery / J. J. Roush, C. G. Lingle, R. M. Guritz, D. R. Fatland, V. A. Voronina // *Ann. Glaciol.* 2003. V. 36. P. 37–44.
2. Bevington A., Copland L. Characteristics of the last five surges of Lowell Glacier, Yukon, Canada, since 1948 // *Journal of Glaciology.* 2014. V. 60, N 219. P. 113–123. DOI: 10.3189/2014JoG13J134.
3. Microearthquakes under and alongside Ice Stream B, Antarctica, detected by a new passive seismic array / D. D. Blankenship, S. Anandakrishnan, J. L. Kempf, C. R. Bentley // *Ann. Glaciol.* 1987. V. 9. P. 30–34.
4. Seismic detection and analysis of icequakes at Columbia Glacier, Alaska / S. O'Neel, H. P. Marshall, D. E. McNamara, W. T. Pfeffer // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. F03S23. DOI: 10.1029/2006JF000595.
5. Glacier microseismicity / M. West, C. Larsen, M. Truffer, S. O'Neel, L. LeBlanc // *Geology.* 2010. V. 38. P. 319–322. DOI: 10.1130/G30606.1.
6. Федоров А. В., Асминг В. Э. Низкочастотные землетрясения архипелага Шпицберген // *Комплексные исследования природы Шпицбергена : материалы междунар. научн. конф. (Мурманск, 1–3 нояб. 2012 г.)*. М., 2012. Вып. 11. С. 249–253.
7. Сейсмоинфразвуковой мониторинг деструкции ледников (пилотный эксперимент на архипелаге Шпицберген) / Ю. А. Виноградов, В. Э. Асминг, С. В. Баранов, А. В. Федоров, А. Н. Виноградов // *Сейсмические приборы.* 2014. Т. 50, № 1. С. 5–15.
8. Виноградов Ю. А., Асминг В. Э. Изучение динамики ледников Шпицбергена геофизическими методами // *Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа : материалы междунар. научн. конф. (Мурманск, 6–8 нояб. 2014 г.)*. М., 2014. Вып. 12. С. 33–38.
9. Федоров А. В., Асминг В. Э. Автоматический мониторинг активности ледников Шпицбергена сейсмическим методом // *Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа : материалы междунар. научн. конф. (Мурманск, 6–8 нояб. 2014 г.)*. М., 2014. Вып. 12. С. 305–309.
10. Федоров А. В., Асминг В. Э. Мониторинг активности ледников Шпицбергена сейсмическим методом // *Наука и технологические разработки.* 2015. Т. 94, № 4. С. 44–52.
11. Błaszczyk M., Jania J. A., Kolondra L. Fluctuations of tidewater glaciers in Hornsund Fjord (Southern Svalbard) since the beginning of the 20th century // *Polish Polar Research.* 2013. V. 34, N 4. P. 327–352. DOI: 10.2478/popore-2013-0024.
12. Асминг В. Э., Федоров А. В. Возможности применения автоматического детектора-локатора сейсмических событий по одиночной станции для детальных сейсмологических наблюдений // *Сейсмические приборы.* 2014. Т. 50, № 3. С. 19–29.

### References

1. Surge-front propagation and velocities during the early 1993–95 surge of Bering Glacier, Alaska, U.S.A., from sequential SAR imagery / J. J. Roush, C. G. Lingle, R. M. Guritz, D. R. Fatland, V. A. Voronina // *Ann. Glaciol.* 2003. V. 36. P. 37–44.
2. Bevington A., Copland L. Characteristics of the last five surges of Lowell Glacier, Yukon, Canada, since 1948 // *Journal of Glaciology.* 2014. V. 60, N 219. P. 113–123. DOI: 10.3189/2014JoG13J134.
3. Microearthquakes under and alongside Ice Stream B, Antarctica, detected by a new passive seismic array / D. D. Blankenship, S. Anandakrishnan, J. L. Kempf, C. R. Bentley // *Ann. Glaciol.* 1987. V. 9. P. 30–34.
4. Seismic detection and analysis of icequakes at Columbia Glacier, Alaska / S. O'Neel, H. P. Marshall, D. E. McNamara, W. T. Pfeffer // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. F03S23. DOI: 10.1029/2006JF000595.
5. Glacier microseismicity / M. West, C. Larsen, M. Truffer, S. O'Neel, L. LeBlanc // *Geology.* 2010. V. 38. P. 319–322. DOI: 10.1130/G30606.1.
6. Fedorov A. V., Asming V. E. Nizkochastotnye zemletryaseniya arhipelaga Shpitsbergen [Low-frequency earthquakes of Spitsbergen archipelago] // *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena : materialy mezhdunar. nauchn. konf. (Murmansk, 1–3 noyab. 2012 g.)*. M., 2012. Vyp. 11. P. 249–253.
7. Seysmoinfrazvukovoy monitoring destruktсии lednikov (pilotnyi eksperiment na arhipelage Shpitsbergen) [Seismo-infrasound monitoring of glaciers destruction (pilot experiment on Spitsbergen Archipelago)] / Yu. A. Vinogradov, V. E. Asming, S. V. Baranov, A. V. Fedorov, A. N. Vinogradov // *Seysmicheskie pribory.* 2014. V. 50, N 1. P. 5–15.
8. Vinogradov Yu. A., Asming V. E. Izuchenie dinamiki lednikov Shpitsbergena geofizicheskimi metodami [Study of Spitsbergen glacier dynamic by geophysical methods] // *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena i prilgayuschego shelfa : materialy mezhdunar. nauchn. konf. (Murmansk, 6–8 noyab. 2014 g.)*. M., 2014. Vyp. 12. P. 33–38.
9. Fedorov A. V., Asming V. E. Avtomaticheskii monitoring aktivnosti lednikov Shpitsbergena seysmicheskim metodom [Automatic monitoring of Spitsbergen glacier activity by the seismic method] // *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena i prilgayuschego shelfa : materialy mezhdunar. nauchn. konf. (Murmansk, 6–8 noyab. 2014 g.)*. M., 2014. Vyp. 12. P. 305–309.

10. Fedorov A. V., Asming V. E. Monitoring aktivnosti lednikov Shpitsbergena seysmicheskim metodom [Monitoring of Spitsbergen glacier activity by the seismic method] // Nauka i tehnologicheskie razrabotki. 2015. V. 94, N 4. P. 44–52.

11. Błaszczyk M., Jania J. A., Kolondra L. Fluctuations of tidewater glaciers in Hornsund Fjord (Southern Svalbard) since the beginning of the 20th century // Polish Polar Research. 2013. V. 34, N 4. P. 327–352. DOI: 10.2478/popore-2013-0024.

12. Asming V. E., Fyodorov A. V. Vozmozhnosti primeneniya avtomaticheskogo detektora-lokatora seysmicheskikh sobyitij po odinochnoy stantsii dlya detalnyh seysmologicheskikh nablyudeniy [Possibility of using single three-component station automatic detector and locator for detailed seismological observations] // Seysmicheskije pribory. 2014. V. 50, N 3. P. 19–29.

#### Сведения об авторах

**Федоров Андрей Викторович** – Кольский филиал Геофизической службы РАН, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: andrey\_v\_fedorov@inbox.ru

**Fedorov A. V.** – Kola Branch of Geophysical Service RAS, Cand. of Phys.-Math. Sci., Senior Researcher; e-mail: andrey\_v\_fedorov@inbox.ru

**Асминг Владимир Эрнестович** – Кольский филиал Геофизической службы РАН, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник; e-mail: asmingve@mail.ru

**Asming V. E.** – Kola Branch of Geophysical Service RAS, Cand. of Phys.-Math. Sci., Leading Researcher; e-mail: asmingve@mail.ru

**Баранов Сергей Владимирович** – Кольский филиал Геофизической службы РАН, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник; e-mail: bars.vl@gmail.com

**Baranov S. V.** – Kola Branch of Geophysical Service RAS, Cand. of Phys.-Math. Sci., Leading Researcher; e-mail: bars.vl@gmail.com

**Виноградов Анатолий Николаевич** – Кольский филиал Геофизической службы РАН, канд. геол.-мин. наук, директор; e-mail: vino@admks.apatity.ru

**Vinogradov A. N.** – Kola Branch of Geophysical Service RAS, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Director; e-mail: vino@admks.apatity.ru

**Евтюгина Зинаида Анатольевна** – Кольский филиал Геофизической службы РАН, канд. биол. наук, науч. сотрудник; Апатитский филиал МГТУ, кафедра геоэкологии, доцент

**Evtugina Z. A.** – Kola Branch of Geophysical Service RAS, Cand. of Biol. Sci., Researcher; MSTU Apatity Branch, Department of Environmental Geoscience, Associate Professor

**Горюнов Вадим Александрович** – Кольский филиал Геофизической службы РАН, инженер; e-mail: vadim@krsc.ru

**Goryunov V. A.** – Kola Branch of Geophysical Service RAS, Engineer; e-mail: vadim@krsc.ru