

РЕГИСТРАЦИЯ ИНФРАЗВУКА, ВЫЗВАННОГО ОТКОЛОМ АЙСБЕРГОВ

Виноградов Ю.А., Баранов С.В., Петров С.И.

Кольский филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизическая служба Российской академии наук, г.Апатиты, РФ
vin@krsc.ru

Ключевые слова: инфразвук, ледник, айсберг, инфразвуковая станция, Арктика

Известно, что растрескивание, аномально-быстрые подвижки, пульсирующих ледников, краевое обрушение выводных ледников генерируют дискретные сейсмические сигналы - так называемые «льдотрясения». Эти процессы также сопровождаются и акустической эмиссией, однако акустическому отклику деструкции ледниковых покровов в научной литературе до сих пор не уделено должного внимания. В спектре акустических волн присутствуют инфразвуковые волны, которые в силу своей низкой частоты способны распространяться на значительные расстояния. Архипелаг Шпицберген является идеальным полигоном для изучения процессов, связанных с движением ледников, т.к. там расположено более 100 ледников различной мощности, большинство из которых являются пульсирующими (т.е. подвержены кратковременным подвижкам). В 2012-2013 годах Кольским филиалом Геофизической службы РАН проводились работы по мониторингу геофизических процессов в криолитосфере архипелага Шпицберген. За период наблюдений с июня по октябрь было зарегистрировано более 400 инфразвуковых событий. В данной работе обсуждается методика регистрации инфразвуковых сигналов в Арктике, проводится анализ полученных данных и рассматривается возможность применения метода инфразвукового мониторинга для обнаружения схода крупных айсбергов, потенциально опасных для судоходства и оффшорных промысловых сооружений.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что растрескивание (*crevassing*), аномально-быстрые подвижки (*surging*) пульсирующих ледников, краевое обрушение выводных ледников (*calving*), налегающих на поверхность моря (*tidalglaciers*) генерируют дискретные сейсмические сигналы (Amundsonetal., 2012; Kohleretal., 2012; Lefauconnier, Hagen, 1991), регистрируемые как особый класс сейсмических событий в криосфере - так называемые «льдотрясения». Имеются многочисленные свидетельства очевидцев и видеозаписи этих деструктивных процессов, указывающие на то, что сейсмогенные процессы сопровождаются акустической эмиссией, однако акустическому отклику деструкции ледниковых покровов в научной литературе до сих пор не уделено должного внимания. Сейсмоакустическая эмиссия генерирует волны 2 типов –

сейсмические, распространяющиеся в земной коре, и акустические, распространяющиеся в атмосфере. В спектре акустических волн присутствуют инфразвуковые волны, которые в силу своей низкой частоты способны распространяться на значительные расстояния (Куличков С.Н., 1992). Комплексование сейсмоинфразвукового мониторинга и GPS наблюдений способно не только дать приращение научного знания по механизмам взаимодействия геосфер, но и продвинуться в решении прикладных задач в области безопасности жизнедеятельности и природопользования на ледниковых территориях, в частности – улучшить системы контроля опасных ледниковых подвижек на арктическом побережье и образования айсбергов на морских коммуникациях в Арктике.

Архипелаг Шпицберген является идеальным полигоном для изучения процессов, связанных с движением ледников, т.к. там расположено более 100 ледников различной мощности, большинство из которых являются пульсирующими (т.е. подвержены кратковременным подвижкам). В то же время на архипелаге Шпицберген имеется хорошая сеть сейсмических станций, как российских, так и международных, хорошая инфраструктура и доступность для организации экспедиций.

ОБОРУДОВАНИЕ

В 2012-2013 годах Кольским филиалом Геофизической службы проводились работы по мониторингу геофизических процессов в криолитосфере архипелага Шпицберген. Нами было установлено оборудование для наблюдения за активностью ледников на северном берегу залива Ис-фиорд. Для контроля возможных подвижек тела ледника была установлена пара высокоточных одночастотных GPS-приемников Spectra Precision Epoch 10, один из которых находился в поселке Баренцбург и исполнял роль опорной станции, второй, на удалении порядка 27 км, был установлен непосредственно на поверхности ледника. Совместная обработка данных пары таких GPS-приемников при подобной конфигурации, позволяет определять координаты измеряемой точки с ошибкой, не превышающей десятков сантиметров. На южном берегу залива Ис-фиорд (в 22 км южнее ледника Эсмарк) проводился сейсмоинфразвуковой мониторинг широкополосной сейсмической станцией BRBB и инфразвуковой группой BRBB, расположенной стационарно вблизи вертолетной площадки Баренцбург и состоящей из 3 низкочастотных микрофонов MPA-201, фирмы BSWACorporation, размещенных триангулярно на расстоянии 150-200 метров друг от друга. (Асминг и др., 2012) (рис.1). Основными причинами проведения эксперимента в осенне-летний период являлись следующие факторы. Во-первых, навигационная доступность района исследований - полярный день позволяет добраться на лодке из п. Баренцбург до северного берега Ис-фиорда и начать работы по монтажу оборудования в любое время суток, как только установится хорошая погода. Во-вторых, как показали предыдущие исследования, пик активности ледников северного полушария приходится на период с начала июля по конец сентября (Ekstrom, et al., 2006, Асминг, и др., 2009). В-третьих, на этот же период приходится максимум инфразвуковой эмиссии из района ледников, регистрируемой

инфразвуковой станцией BRBB, выявленный в предыдущие годы мониторинга (Асминг и др., 2012).

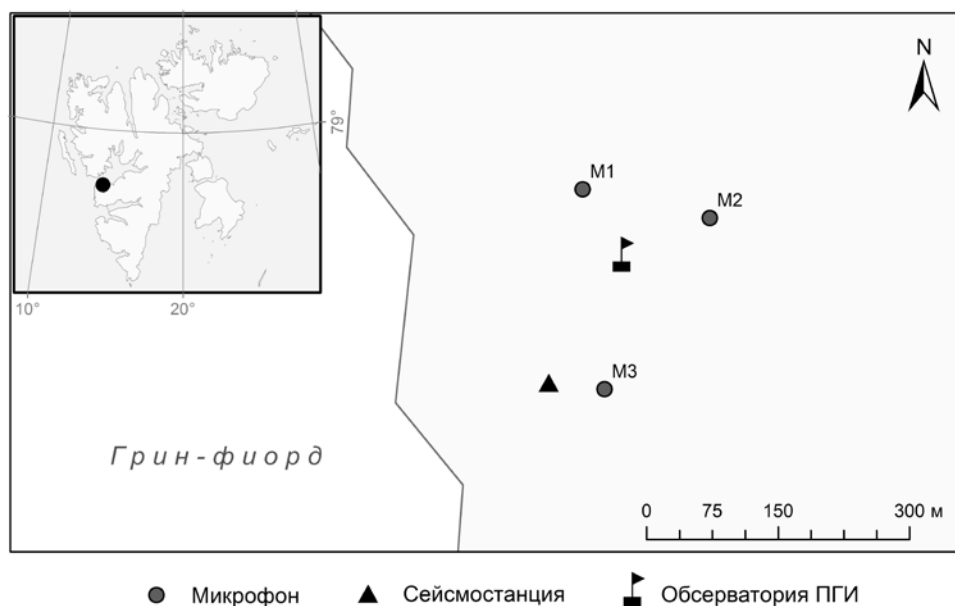


Рис. 1. Географическое местоположение и расположение элементов сейсмоинфразвуковой станции BRBB

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

В 2012 г. было обнаружено 894 инфразвуковых события (рис. 2а), не считая акустической эмиссии от пролетов самолетов и вертолетов, которые идентифицировались по наличию эффекта Доплера. К сожалению, по данным одной акустической группы невозможно определить координаты источника инфразвуковой эмиссии, т.к. определяется только азимут на источник. При наличии двух станций можно осуществлять локацию события по пересечению азимутов. Поэтому на сегодняшний день каталог инфразвукового мониторинга содержит только азимуты, времена прихода волн на станцию и кажущиеся скорости.

События, азимуту которых направлены в южную полуплоскость от станции BRBB (от 90^0 до 270^0) связаны с антропогенной активностью в поселке Баренцбург.

Азимуты 83% инфразвуковых событий лежат в диапазоне от 315^0 до 45^0 (рис. 2б), т.е. направлены на ледники Эсмарка и Нансена, находящиеся на расстоянии 20 и 30 км от станции BRBB. Поскольку эти направления свободны от антропогенной активности, то логично предположить, что часть зарегистрированных сейсмических событий и большая часть инфразвуковых событий связаны с процессами, происходящими в соответствующих ледниках.

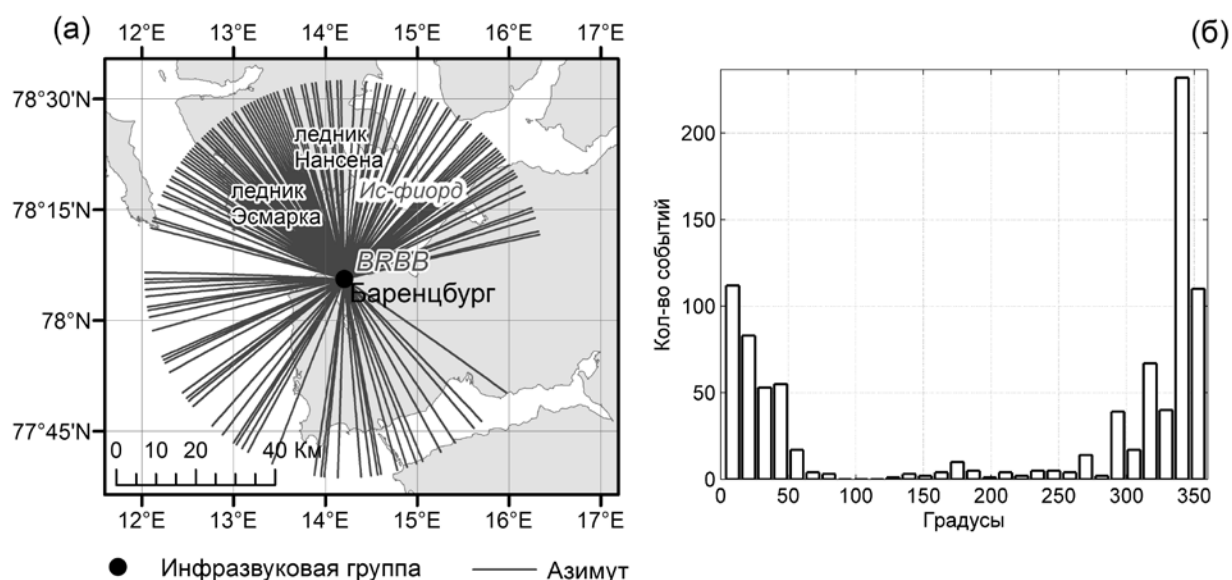


Рис. 2. Азимуты инфразвуковых событий, зарегистрированных инфразвуковой группой BRBB в 2011 г. (а) и распределение азимутов (б)

В пользу гипотезы о ледниковой природе акустической эмиссии свидетельствует тот факт, что большинство событий, азимуты которых направлены на ледники Нансена и Эсмарка, наблюдается в августе, при этом месячные вариации количества событий не зависят от скорости ветра, которая является основной помехой, препятствующей надежной регистрации инфразвуковых сигналов. Сопоставляя вариации количества инфразвуковых событий и температуры воздуха в приземном слое за 2011 г., можно заметить, что увеличение акустической активности соответствует периоду положительных температур. В июне температура воздуха становится положительной, начинается таяние ледников и через месяц увеличивается количество инфразвуковых событий с соответствующих направлений. Таким образом, мы фиксируем акустические проявления часто наблюдаемого явления «весеннего ускорения» (springspeedup) ледников, инициированного изменением гидрологического режима из-за увеличения потока талых вод (Willis I.C., 1995). В силу климатических особенностей архипелага Шпицберген термин «весеннее ускорение» более уместно заменить «летним ускорением». Дальнейшая интенсификация процесса таяния в августе месяце приводит к большому усилению акустической активности. В сентябре вместе с понижением среднемесячной температуры воздуха начало уменьшаться и количество инфразвуковых событий.

Было отобрано 400 событий. Затем был произведен совместный анализ полученного каталога инфразвуковых событий и ранее отобранных сейсмических событий, зарегистрированных станцией ESM. Суть анализа – поиск пар сейсмических и инфразвуковых событий, согласующихся по времени возникновения. Если разность времени прихода звуковой волны на станцию BRBB и времени срабатывания детектора STA/LTA находилась в интервале от 28 до 120 сек, что приблизительно соответствует задержке прихода звуковой волны с расстояний до 100 км от станции ESM, то анализируемое событие и сейсмический

сигнал помечались как потенциальное сейсмоинфразвуковое событие. Согласно критерию было выделено 110 потенциальных сейсмоинфразвуковых событий.

На следующем этапе вручную выполнялась отбраковка ложных ассоциаций и определение координат эпицентров (локация) потенциальных сейсмоинфразвуковых событий. Локация осуществлялась совместно с использованием сейсмических и инфразвуковых сигналов. В случае выраженной поляризационной картины сейсмической записи уточнялись времена прихода объемных волн на станцию ESM и определялся азимут на источник. Координаты эпицентра определялись с учетом азимута, рассчитанного по инфразвуковой группе BRBB (рис. 3). Если же поляризационная картина сейсмической записи была выражена слабо, из-за чего момент вступления S-волны определяется нечетко, то за координаты эпицентра принималась точка пересечения азимутов, рассчитанных по сейсмической (P-волна) и инфразвуковой записям.

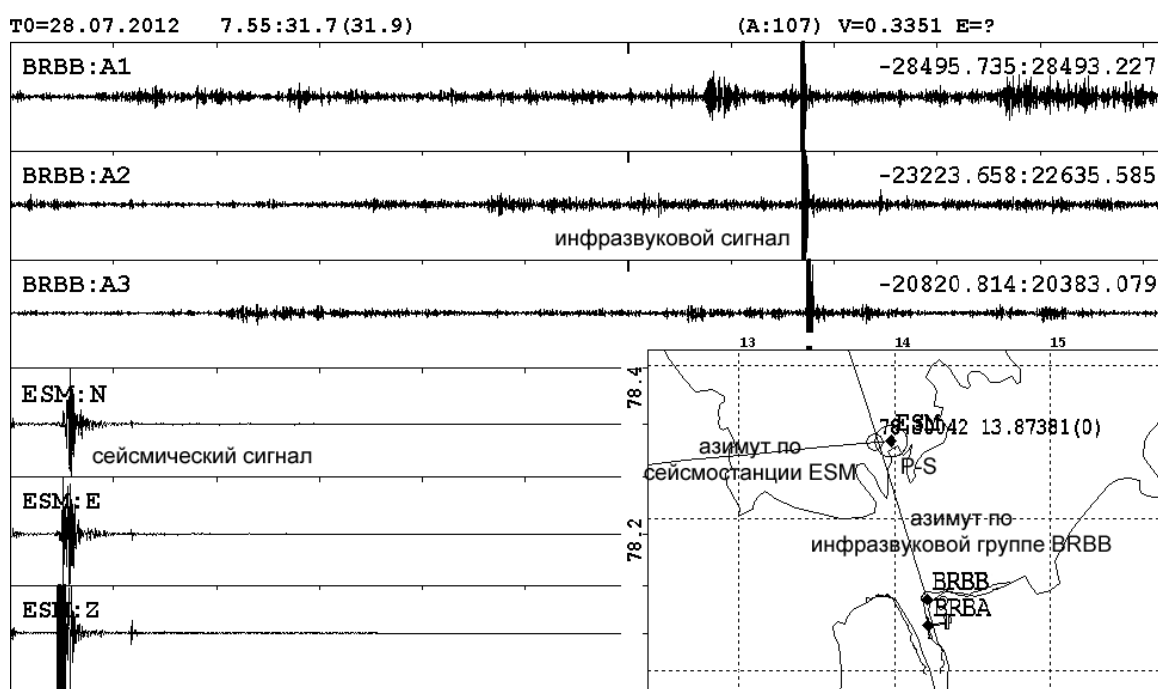


Рис. 3. Определение координат эпицентра. Пример инфразвуковой (станция BRBB) и сейсмической (станция ESM) записей события с ледника Нансена

По определенным таким образом координатам оценивалась скорость прихода звуковой волны на группу BRBB. Если она составляла 0.34 ± 0.03 км/сек (скорость звука в атмосфере), то анализируемая пара сигналов считалась сейсмоинфразвуковым событием, в противном случае – отбраковывалась. По этой методике было выделено 71 сейсмоинфразвуковое событие (рис. 4), 46 из которых приходится на ледник Эсмарка, 19 – на его край. Логично предположить, что эти 19 событий вызваны обрушением края ледника (calving). События, произошедшие на удалении от края ледника, по всей видимости, связаны с образованием трещин (crevassing). Каждое обнаруженное событие имеет четкую запись на сейсмостанции ESM и на инфразвуковой группе BRBB.

Таким образом, было экспериментально доказано, что деструкция ледников генерирует как сейсмическую, так и инфразвуковую эмиссии.

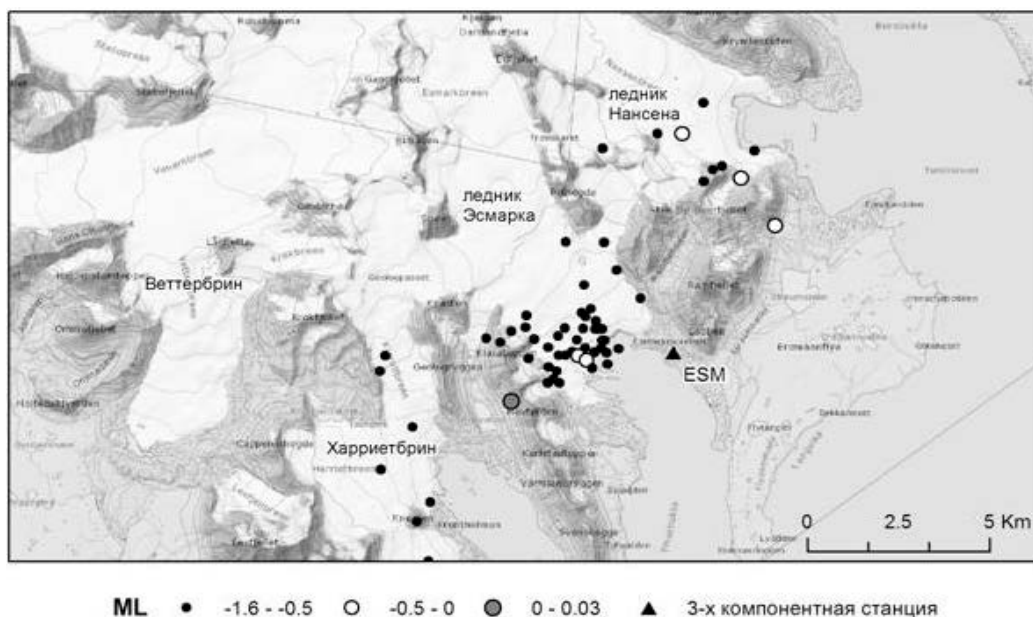


Рис. 4. Сейсмоинфразвуковые события, произошедшие в районе ледников на северном берегу залива Ис-фиорд за период с 11.06.2012 по 22.09.2012

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в условиях архипелага Шпицберген были обнаружены сейсмоинфразвуковые события, генерируемые ледниками Эсмарк и Нансена. События, произошедшие на краях ледников, генерируются обрушениями (calving). В случае, если край ледника находится в море (tideglacier), подобные обрушения приводят к образованию айсбергов. События, произошедшие на удалении от краев, связаны с образованием трещин (crevassing). Для обнаружения и определения координат сейсмоинфразвуковых событий была разработана методика, основанная на использовании сейсмических записей и данных инфразвукового мониторинга.

Таким образом, было экспериментально доказано, что деструкция ледников генерирует как сейсмическую, так и инфразвуковую эмиссии. В результате эксперимента была убедительно показана возможность мониторинга деструкции ледников и образования айсбергов сейсмоинфразвуковыми методами. Полученный результат свидетельствует, что дистанционный контроль деструкции ледниковых покровов на арктических островах методами геофизического мониторинга является перспективным направлением в Арктике. Практическая значимость этого вида мониторинга определяется возможностью раннего обнаружения схода в акваторию крупных айсбергов, потенциально опасных для судоходства и оффшорных промышленных сооружений. Наблюдения последних лет показывают, что на грани веков в Арктике усилились потери массы ледников вследствие повышения стока льда в море посредством откола айсбергов. В Баренцевом море суммарная длина фронта айсбергообразования достигает 3 000 км, а в базе данных ААНИИ Росгидромета за период с 1928 по 2007 г. зарегистрировано 23700 айсбергов в акватории, при этом наиболее крупные из них имели массу до 8 миллионов тонн и

линейные размеры до 749 м по длинной оси (Бузин И.В., 2008). В связи с планируемым освоением арктического шельфа, а также интенсивной эксплуатации Северного морского пути в ближайшие годы необходимо существенно усилить мониторинг айсберговой опасности.

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).

Литература

1. Асминг В.Э., Баранов С.В., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А. Сезонный характер сейсмичности в районе архипелага Шпицберген // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 4. С. 571-575.
2. Асминг В.Э., Баранов С.В., Виноградов Ю.А., Воронин А.И. Сейсмоинфразвуковой мониторинг на Шпицбергене // Сейсмические приборы. 2012. Т. 48, № 3. С. 20-33.
3. Бузин И.В., Глазовский А.Ф., Гудошников Ю.П. др. Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет. Часть 1. Основные продуцирующие ледники, распространение и морфометрические особенности айсбергов // Проблемы Арктики и Антарктики, 2008, № (1) 78. С.66-80.
4. Куличков С.Н. Дальнее распространение звука в атмосфере (обзор). // Известия Академии наук. Физика атмосферы и океана. М., Наука, 1992, Т.28, N. 4, с. 339-360
5. Amundson J.M., Fahnestock M., Truffer M., Brown J., Lüthi M.P., Motyka R.J. Ice melt dynamics and implications for terminus stability, Jakobshavn Isbræ, Greenland // J. Geophys. Res. 2010. V. 115. Issue F1. DOI:10.29/2009JF001405.
6. Ekstrom G, Nettles M., Tsai V.C. Seasonality and Increasing Frequency of Greenland Glacial Earthquakes // Science. 2006. V. 311. P. 1756-1758.
7. Kohler A., Chapuis A., Nuth C., Kohler J., Weidle C. Autonomous detection of calving-related seismicity at Kronebreen, Svalbard // The Cryosphere. 2012. V. 6. P.393–406.
8. Lefauconnier B., Hagen J.O. Surging and calving glaciers in eastern Svalbard / Norsk Polarinstittutt Medlelser. Oslo: NPI, 1991. 116 p.
9. Scholz C. Microfractures, aftershocks, and seismicity // Bulletin of Seismological Society of America. 1968. V. 58. P. 117–1130.
10. Vinogradov Yu.A. Baranov S.V. Seasonality of Svalbard Region seismicity // Books of abstracts 33rd General Assembly of the European Seismological Commission (GA ESC 2012), 12-24 August 2012, Moscow. P. 46-47.