

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПУНКТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ НА ПРИМЕРЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПУНКТА «ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА»

*канд. тех. наук Г.Н. АНТОНОВСКАЯ, мл. науч. сотр. А.В. ДАНИЛОВ*

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск,*

*e-mail: essm.ras@gmail.com, danilov.aleksey.vikt@gmail.com*

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. количество ответственных объектов на территориях Крайнего Севера будет возрастать (Стратегия развития...). Одной из основных проблем при проектировании сооружений является достоверная оценка несущей способности грунтов оснований и ее прогноз с учетом влияния комплекса природных и техногенных факторов. Причем для территории Европейского Севера исследования многолетнемерзлых грунтов выполнены в гораздо меньшем объеме, чем для севера Сибири и п-ва Ямал, что затрудняет задачи проектирования и строительства инженерных сооружений (Кривое, 2009). Осложняет ситуацию повышение тектонической активности этих хрупких территорий (даже слабые землетрясения могут создать предпосылки к возникновению угрозы экологической катастрофы) (Маловичко и др., 2014; Махутов и др., 2014). Согласно данным С.В. Антипова и В.Л. Высоцкого (ИБРАЭ РАН, «Комплексная безопасность-2014») с 1961 по 2003 г. в Арктике затоплено около 18000 различных радиоактивных объектов (реакторы и суда с ТРО), вопрос о техническом состоянии которых и необходимости реабилитации до сих пор остается открытым. Кроме того, места затопления радиоактивных объектов совпадают с районами, перспективными на углеводородное сырье (рис. 1). Согласно данным сейсмических служб NORSAR (Норвегия), КФ ГС РАН (г. Апатиты, Россия) и ИЭПС УрО РАН (г. Архангельск, Россия) в акватории Баренцева моря за 1990-2013 гг. были зафиксированы сейсмические события в местах расположения/захоронения особо ответственных природно-технических объектов (рис. 1).

В связи с развитием добывающих, перерабатывающих и транспортных отраслей получение современных знаний о сейсмичности арктических территорий является весьма актуальной задачей, которая требует повышения чувствительности действующих сейсмических сетей, установки новых сейсмических станций и создания сейсмических групп. Отметим, что на всем арктическом пространстве РФ действует только одна сейсмическая группа, принадлежащая Кольскому филиалу ГС РАН (г. Апатиты, Мурманская обл.), тогда как на территории только Норвегии установлено 4 сейсмические группы, не считая 32 одиночных стационарных станций, плотно покрывающих всю территорию страны.

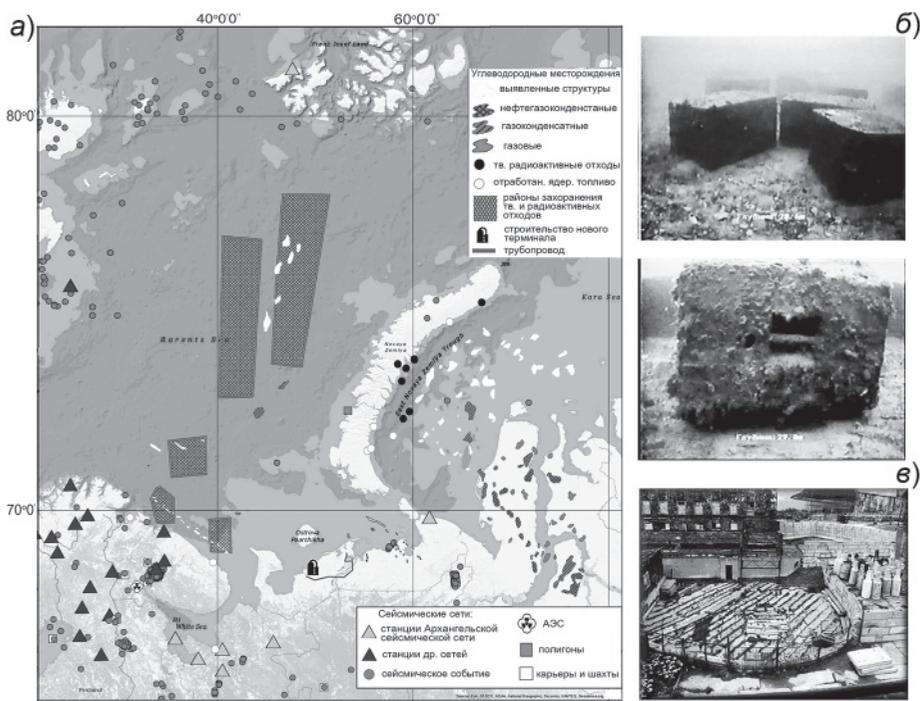


Рис. 1. Ответственные объекты акватории Западно-Арктического сектора РФ: *а* — размещение объектов и сейсмическая активность (по данным NOR SAR, Архангельской сети); *б* — фото контейнеров с ТРО на дне (по данным ИБРАЭ РАН); *в* — блок «сухого» хранения ОЯТ, Мурманская обл. (по данным ИБРАЭ РАН).

При создании пунктов сейсмических наблюдений приходится сталкиваться со спецификой территории Европейского Севера России, что накладывает ряд ограничений на организацию и проведение данных работ. Существует ряд современных технологий, применяемых зарубежными коллегами для установки сейсмических станций и организации передачи данных в полярных широтах (Seismic Vaults), но в условиях российской действительности приходится изыскивать всевозможные бюджетные варианты и пути проведения подобных работ в силу их чрезвычайно низкого финансирования.

В данной работе обобщены сведения об организации пунктов сейсмических наблюдений, способах хранения и передачи данных с учетом возможности их организации в условиях Европейского Севера России — рассматривается территория севера Русской плиты (Архангельская обл.), и показан вклад арктических пунктов сейсмических наблюдений в мониторинг Европейского Севера.

## ПУНКТ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

### Сейсмический бункер

В общем случае вопросы организации сейсмического мониторинга для решения различных задач являются подобными. Создается сейсмическая сеть, в основе работы которой: регистрация сейсмическими датчиками сигналов природного и техногенного характера, их оцифровка, передача данных на локальный компьютер, хранение и

дальнейшая передача в центральный пункт сбора и обработки данных для их анализа. Различия заключаются лишь в масштабах изучаемых явлений, что отражается на типе создаваемой сети (телесеismicкая, региональная, локальная или детальная) и на виде используемой seismicкой аппаратуры. Важным моментом является объединение действующих seismicких сетей, что позволяет повысить надежность прогнозирования опасных проявлений динамических процессов и минимизировать последствия чрезвычайных ситуаций. Плотная сеть seismicких станций позволяет выявить природу и особенности проявления региональной seismicности, изучить современную геодинамику региона, без чего невозможно прогнозировать пути развития техносферы. Эти результаты являются основой для построения карт seismicкого районирования (ОСР), которые используются при проектировании сооружений.

Рассматриваемая территория (север Русской плиты) представляет собой область погружения кристаллического фундамента от Балтийского щита на восток и юго-восток в Мезенскую синеклизу, причем абсолютные отметки поверхности фундамента составляют от  $-0,5$  до  $-1,5...-2,0$  км (в осевых зонах некоторых грабенов они превышают  $-4,0$  км) (Отчет ЗАО «ВАЛДАЙГЕОЛОГИЯ»..., 2004; Балуев, 2013). Таким образом, одно из главных условий — наличие скальных грунтов — для установки пункта seismicких наблюдений на континентальной части Европейского Севера (Архангельской обл. и территория НАО) не может быть выполнено. Кроме того, на этой территории распространены многолетнемерзлые грунты, в том числе засоленные, заторфованные, сильноольдистые. Все эти факторы создают значительные трудности при поиске места и создании постаментов для пунктов seismicких наблюдений.

В общем случае пункт стационарных seismicких наблюдений состоит из seismicкого сооружения (бункера) и центра сбора данных (локального компьютера). Seismicкий бункер представляет собой гидро- и теплоизолированное сооружение, где на бетонном постаменте размещаются seismicкие датчики, а вне его — оборудование, необходимое для передачи данных в центр сбора.

Seismicкий бункер должен:

- быть заглублен для уменьшения шума, вызываемого экзогенными природными процессами и техногенной деятельностью (глубина ямы определяется местными грунтовыми условиями, как правило, до 3 м);
- обеспечивать термо- и гидроизоляцию;
- иметь бетонный постамент (или плиту), изготовленный с применением соответствующей марки цемента и отвязанный от стен сооружения. Постамент должен



Рис. 2. Пункты seismicких наблюдений в виде погреба (а) и колодца (б) на примере организации Архангельской seismicкой сети и пример организации бюджетного seismicкого сооружения (в).

быть надежно соединен со скальными или плотными грунтами (мергель, известняк), изолирован от влияния метеофакторов.

Сейсмический бункер можно организовать в неэксплуатируемой шахте. Наиболее стандартным способом является строительство погреба или колодца (рис. 2 а, б). Размеры постаментов (плиты) зависят от индивидуальных особенностей каждого конкретного пункта сейсмических наблюдений, но, как правило, не превышают 1000×1000×800 мм. При выборе места для пункта сейсмических наблюдений (ПСН) необходимо учитывать наличие экзогенных природных микросейсм, обусловленных процессами переработки внутренних напряжений средой: шумом в солевых пластах, разгрузкой напряжений в горных выработках и др. (Капустян, Юдахин, 2007).

При организации пункта сейсмических наблюдений в арктических условиях, когда время выполнения работ может быть сильно ограничено, доставка техники и соответствующих специалистов весьма затратная процедура, наиболее удобным вариантом является использование готовых конструкций. Например, использование металлических бочек от горюче-смазочных материалов объемом 200 л (рис. 2 в), которые необходимо дополнительно гидроизолировать и утеплить. Данный вариант реализован при создании ПСН «Земля Франца-Иосифа» на о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа.

На сегодняшний день существует большое количество методов и материалов для гидроизоляции, которые подбираются в зависимости от условий работ, а также от типа материалов, которые необходимо гидроизолировать. Термоизоляция должна обеспечивать постоянство температуры внутри сейсмического сооружения. В качестве термоизоляционных материалов в основном применяется вспененный полистирол, монтажная пена, минеральная вата. Некоторые зарубежные коллеги в качестве утеплителя используют вакуумно-изоляционные панели (ВИП), обладающие крайне низким коэффициентом теплопроводности при той же толщине, что и стандартные утеплители. Однако недостатком ВИП является высокая стоимость и малая распространенность на территории России.

### **Сейсмическая аппаратура**

Регистрирующая аппаратура подбирается исходя из задач сейсмического мониторинга с учетом технических характеристик датчиков (динамический диапазон, рабочий диапазон температур, разрядность АЦП и пр.). К примеру, при организации локальной сети, как правило, используются короткопериодные датчики. При организации региональной сети желательно предусмотреть создание сейсмической группы/групп, а в одиночных пунктах регистрации использовать комплекс из широкополосных и короткопериодных датчиков. В настоящее время фирмы по разработке сейсмической аппаратуры предоставляют возможность одновременно оцифровывать сигнал с различными частотами опроса. Это позволяет получать с одного датчика потоки данных с различными частотными диапазонами. Например, такую возможность имеют датчики фирмы Guralp Systems Limited (GSL), предлагая вести регистрацию сигнала параллельно при 20 отс/с, 50 отс/с, 100 отс/с и т.д.

В российских сейсмологических сетях широко применяется сейсмическая аппаратура отечественного производства, но при подборе аппаратуры для арктических условий выбор падает на зарубежных производителей, таких как Nanometrics, Kinometrics, Metrozet и GSL (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013). Одной из причин такого выбора является соответствие высоким требованиям, предъявляемым к аппаратуре для установки в арктических условиях, а также использование этого типа

оборудования и программного обеспечения зарубежными коллегами — сейсмологами, что значительно облегчает совместную работу по анализу данных. Из указанных выше фирм на территории России официального представителя имеет только фирма GSL — НПП «ВУЛКАН» (<http://www.vulcan-seismicsystems.com>), поэтому большинство российских сейсмологических сетей, использующих зарубежную аппаратуру, укомплектованы оборудованием этой фирмы. В области изготовления регистраторов есть и отечественные разработки, способные составить достойную конкуренцию зарубежным аналогам, к примеру, станция ADAS3 фирмы ООО «Алекс Лаб» (ТУ 4314-71332728-003-2013..., 2013).

### **Передача данных**

При установке аналогового сейсмометра регистратор размещают рядом с ним или на небольшом расстоянии (как правило, не больше 20 м), в зависимости от характеристик аппаратуры. Удаление регистратора на большие расстояния приводит к искажению регистрируемого аналогового сигнала, снижению динамического диапазона и появлению дополнительных шумов. При организации стационарного ПСН не всегда имеется возможность размещения компьютера непосредственно рядом с регистратором. В связи с этим наиболее оптимальным и надежным вариантом является передача на большие расстояния (больше 20 м) не аналогового, а цифрового сигнала. Передача данных с регистратора непосредственно в центр сбора и обработки информации может осуществляться при помощи сотовых сетей (а именно 2G/3G модемов). Однако это не всегда оправдано в силу неустойчивости связи и малой зоны покрытия сотовых сетей на территориях Европейского Севера России.

Итак, оцифрованные данные с регистратора в центр сбора данных (на локальный компьютер) могут быть переданы при помощи: кабелей с токопроводящими жилами, оптоволоконных кабелей или беспроводных каналов связи. Для этого, как правило, используются стандартные средства, предлагаемые производителем аппаратуры, к примеру, для велосиметров фирмы Guralp CMG-6TD это интерфейс EIA-232 (RS-232). В случае передачи данных на расстояния большие, чем позволяет стандартный интерфейс, необходимо применять дополнительные или другие (встроенные) интерфейсы. В зависимости от комплектации регистратора, это могут быть Wi-Fi и/или Ethernet либо дополнительные внешние устройства (преобразователи сигналов (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013)). На коротких расстояниях (до 20 м) можно использовать интерфейс EIA-232 (RS-232), на расстояниях до 100 м – Ethernet 100BASE-T, свыше 100 м — интерфейсы EIA-485 (RS-485), EIA-422 (RS-422) (до 1200 м) либо Wi-Fi (расстояние передачи будет зависеть от антенн).

Использование беспроводных каналов связи является наиболее удобным способом передачи данных с регистратора на компьютер. Однако в случае сбоя в работе оборудования или сильных помех (например, обусловленных погодными условиями) может произойти потеря сигнала. Поэтому если условия установки позволяют проложить проводную линию, то лучше использовать ее.

В связи со сложностью монтажа оптических линий, а также необходимостью привлечения специализированной техники, что автоматически повышает трудозатраты, наиболее удобным для арктических широт является использование интерфейсов EIA-485 (RS-485) или EIA-422 (RS-422) (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013). Интерфейс EIA-485 (RS-485) в отличие от EIA-422 (RS-422) на линии может иметь несколько приемопередатчиков (до 32), в остальном они схожи.

Если для передачи данных используется Wi-Fi канал, компьютер должен быть оснащен соответствующим модулем. Связь компьютера с регистратором осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения. Так, при использовании аппаратуры фирмы GSL для формирования файлов с сейсмическими записями и их визуализации на компьютере используется программа «Scream!» (Guralp Systems).

Кабель для передачи данных подбирается исходя из условий, в которых он будет использоваться. Если кабель будет применяться для наружной прокладки или прокладки в грунте, необходимо учесть в его характеристиках водонепроницаемость, реакцию на воздействие УФ-излучения и устойчивость к внешней агрессивной среде. В общем случае для наружной прокладки кабель должен иметь:

- бронированное покрытие (для защиты от механических повреждений);
- экранирование во избежание влияния внешних полей на сигнал;
- изоляцию из полиэтилена, который имеет высокие свойства изоляции и влагостойкости;
- необходимый рабочий диапазон температур.

В (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013) приведены основные марки кабелей, учитывающие эти требования. Выбор сечения и количества пар жил кабеля зависит от решаемых задач. В качестве дополнительной защиты кабеля можно использовать металлическую гофру.

В обрабатывающий центр данные могут передаваться с использованием спутниковой связи, Интернета или почтовой связи, в зависимости от имеющейся инфраструктуры в районе установки ПСН. Передача данных с использованием спутниковых систем весьма удобна, однако для полярных регионов наличие только одного оператора — компания Iridium — и высокая стоимость оказываемых ею услуг ограничивают возможность ее применения.

Использование средств Интернета для передачи данных осуществляется при помощи специального оборудования и программного обеспечения от провайдера (к примеру, 3G модемы) либо при помощи стандартных программных и аппаратных средств компьютеров. В обрабатывающий центр данные поступают как on-line, так и в режиме, близком к реальному времени, в виде архивированных пакетов, в зависимости от возможностей интернет-канала. Если связь отсутствует, то оператор переписывает данные на съемный носитель и отправляет в центр обработки данных любым доступным способом.

### **Обеспечение электроснабжения сейсмического бункера**

Основные требования к кабелям для обеспечения электроснабжения такие же, как и для кабелей передачи данных: влагостойкость, устойчивость к механическим и УФ-воздействиям. В некоторых случаях передача данных и электричества может осуществляться по одному кабелю при наличии достаточного количества жил и отсутствии помех на передачу данных. При отсутствии инфраструктуры энергоснабжение сейсмического бункера осуществляется при помощи автономных систем (АС) (Системы бесперебойного электроснабжения). Основные преимущества и недостатки различных АС приведены в (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013).

Энергообеспечение пункта сейсмических наблюдений может быть осуществлено, к примеру, и за счет только аккумуляторных батарей большой емкости (порядка 200 А·ч). При их выборе следует отдавать предпочтение батареям, изготовленным на основе технологии AGM или на основе гелевого электролита, т.к. они обладают

широким температурным диапазоном и устойчивы к глубокому разряду. Из недостатков можно выделить более высокую цену в сравнении с аналогами на основе жидких электролитов, а также необходимость замены аккумуляторов на аналогичные в составе батареи.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПУНКТА СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ «ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА»

Реализация пункта сейсмических наблюдений с использованием рекомендаций, изложенных выше, была выполнена на архипелаге Земля Франца-Иосифа о. Земля Александры (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013). В качестве сейсмической аппаратуры были выбраны датчики фирмы Guralp Systems Limited: велосиметр CMG-6TD со встроенным регистратором и короткопериодный аналоговый датчик CMG-40T с регистратором GSR-24 (GeoSIG Ltd., Швейцария). Возникающие сбои в работе оборудования описаны в (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013). Из-за сложности с технической точки зрения прокладки/подключения оптоволокну в арктических условиях, предпочтение было отдано медному проводу, так как эту работу можно выполнить самостоятельно.

Открытие в последнее время ряда новых станций в Арктике позволило практически полностью охватить изучаемый регион — Европейский Север — и регистрировать слабые сейсмические события магнитудой от 2,0. Особый вклад вносит пункт сейсмических наблюдений «Земля Франца-Иосифа» (ZFI), позволяющий, в частности, более детально исследовать сейсмичность полярных областей евро-арктической части России.

Анализ уровня микросейсмического фона пункта ZFI (частотный диапазон датчика 30 с — 100 Гц) в сопоставлении с минимальным и максимальным уровнями микросейсм по модели Петерсона (Peterson, 1993), а также в сравнении с уровнем микросейсмического фона пункта сейсмических наблюдений SPA0, установленным на архипелаге Шпицберген, показывает более низкий уровень шумов на всем частотном диапазоне, т.е. более высокое качество записей регистрируемых сейсмических событий (рис. 3).

За период функционирования пункта ZFI было зарегистрировано более 100 событий из района хребта Гаккеля. На рис. 4 нанесены эпицентры сейсмических событий с магнитудами от 1,4 до 4,3, произошедших в районе исследования за период с 16 октября 2012 г. по 19 апреля 2013 г., рассчитанные с привлечением данных зарубежных станций с

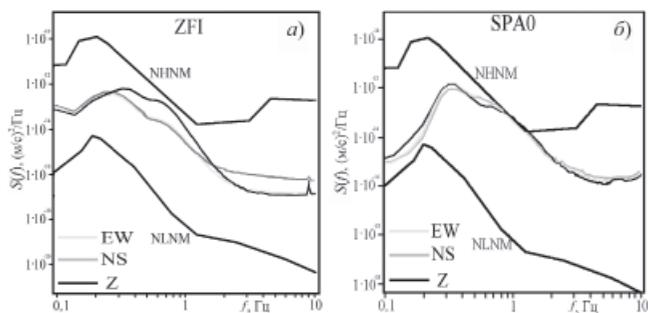


Рис. 3. Зависимость спектра мощности от частоты по модели Петерсона для пункта ZFI (а) и SPA0 (б).



Рис. 4. Распределение эпицентров землетрясений в районе хребта Гаккеля: 1 — землетрясения 1-го типа; 2 — землетрясения 2-го типа.

архипелага Шпицберген. Все события можно разделить на два типа — с более широким спектральным составом (первый тип) и события, спектры которых характеризуются наличием явно выраженной низкочастотной составляющей (второй тип).

Наблюдается смещение эпицентров сейсмических событий от осевой линии хребта Гаккеля. Возможно, это объясняется отсутствием локального годографа для данного региона Арктики, причем как в отечественном, так и в зарубежном сейсмологическом сообществе, что приводит к ошибке в локации. Отмечается дискретное проявление сейсмичности в западной части хребта Гаккеля. ПСН ZFI регистрирует достаточное количество событий из восточной части Российской Арктики, но так

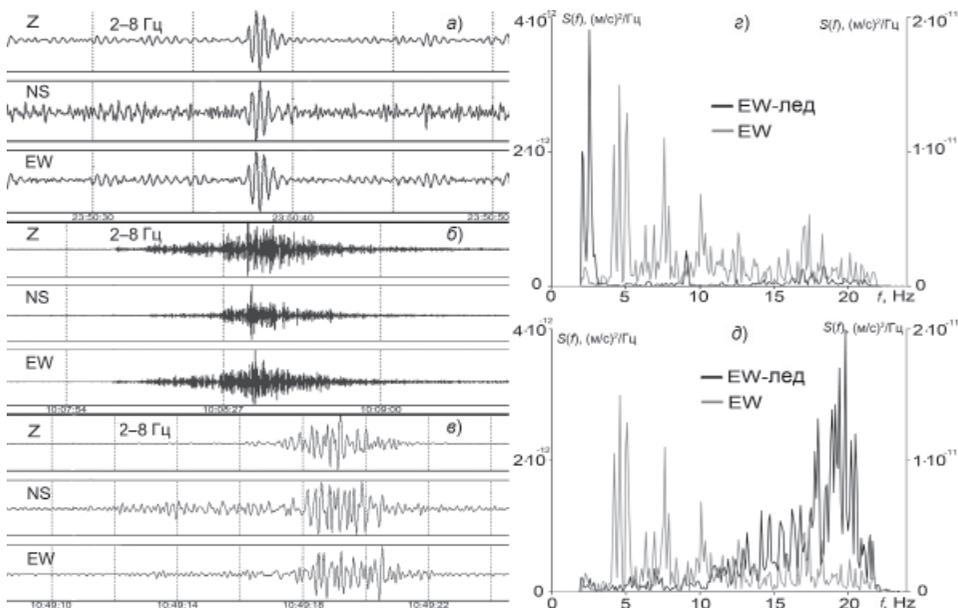


Рис. 5. Характерные волновые формы и спектры мощности локальных событий: а и в — волновые формы ледниковых событий I и II групп соответственно, б — волновая форма локального землетрясения, г и д — сравнение спектров мощности локального землетрясения и ледниковых событий I и II групп соответственно в диапазоне частот 2–22 Гц.

как в этом районе отсутствуют сейсмические станции, то определение эпицентров землетрясений только по данным одиночного пункта ZFI весьма затруднительно. Для решения данных проблем необходимо развивать сеть сейсмических станций в Российской Арктике.

Выявлена сейсмическая активность на склоне континентального шельфа, что подтверждает ограниченность имеющейся сейсмогеодинамической информации о евро-арктической зоне до настоящего времени.

Кроме того, на волновых формах пункта ZFI регистрируется большое количество микросейсмических (микроимпульсных) событий, в отдельные месяцы до 100 событий в день. Проведенный анализ (Антоновская, Конечная, Морозов, 2013) показал, что данные микросейсмические события связаны с ледниковыми процессами (рис. 5), называемыми сейсмологами льдотрясением (icequake). Непрерывные наблюдения за сейсмической активностью арктических ледников осуществляются преимущественно зарубежными учеными (Nettles, Ekström, 2010), к сожалению, подобные исследования в России практически отсутствуют.

Данные события разделяются по частотному составу, что соответствует различному механизму их образования. Первая группа событий имеет преобладающие частоты в диапазоне от 1 до 10 Гц, вторая группа — от 10 до 22 Гц (рис. 5). События первой группы предположительно связаны с процессами откола ледниковой массы — образованием айсбергов, а события второй группы предположительно обусловлены образованием трещин в ледниковых массивах, что согласуется с данными (Rial, Tang, Steffen, 2009). Ледниковые события имеют четкую сезонность — арктическая зима и арктическое лето (рис. 6а), что обусловлено температурными вариациями (рис. 6б).

Полученные результаты можно рассматривать как основу для целого цикла научных исследований по изучению динамики ледников сейсмическими методами, что является вкладом в глобальный мониторинг климатических изменений Арктики.

Таким образом, несмотря на всю сложность условий, в которых проводились работы, полученные результаты подтверждают высокую степень качества установки ПСН ZFI. Выполненные работы — это один из этапов по развитию сейсмических сетей на территориях Крайнего Севера. Организация сейсмических групп и установка дополнительных одиночных сейсмических станций на Европейском Севере России будет способствовать более глубокому изучению геодинамического режима арктического региона, повышению надежности прогнозирования опасных проявлений динамических процессов и созданию основ для разработки мер по снижению рисков

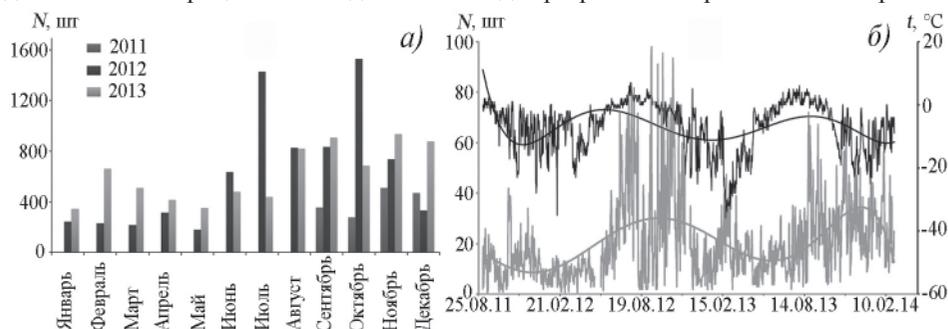


Рис. 6. Сезонные вариации ледниковых событий (а) и их корреляция с температурными вариациями (б).

и минимизации негативных последствий от проявлений сейсмической активности в районах освоения нефтегазовых ресурсов и других видов деятельности.

*Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 14-05-93080 и 14-05-98801-север и инициативного проекта УрО РАН № 12-У-5-1006.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Антоновская Г.Н., Конечная Я.В., Морозов А.Н.* Сейсмическая активность Арктической зоны: Новые данные по Западному сектору // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 2 (96). С. 16–25.

*Балуев А.С.* Континентальный рифтогенез севера Восточно-Европейской платформы в неогее: геология, история развития, сравнительный анализ: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2013. 49 с.

*Данилов А.В., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В.* Особенности установки пунктов регистрации сейсмических событий в Арктическом регионе России // Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. № 3. С. 5–24.

*Капустян Н.К., Юдахин Ф.Н.* Сейсмические исследования техногенных воздействий на земную кору и их последствий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 416 с.

*Кривое Д.Н.* Закономерности деформирования и разрушения мерзлых засоленных грунтов района Большеземельской тундры: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2009. 26 с.

*Маловичко А.А., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А.* Развитие систем геофизического мониторинга в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2014. № 2 (14). С. 16–23.

*Махутов Н.А., Гаденин М.М., Лебедев М.П., Аммосов А.П., Захарова М.И., Пермяков П.П., Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х.* Особенности возникновения чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России и пути их парирования на основе концепции риска / Арктика: экология и экономика. 2014. № 1 (13). С. 10–29.

Отчет ЗАО «ВАЛДАЙГЕОЛОГИЯ» «Результаты региональных геолого-геофизических работ в Мезенской синеклизе в 2000 – 2004 гг.» ФГУ ГНПП «СПЕЦГЕОФИЗИКА». М., 2004. 340 с.

Системы бесперебойного электроснабжения // Компания MANBLAN — эффективные решения для дома и бизнеса. URL: <http://msk.manblan.ru/catalog/alternativeenergy/> (дата обращения 18.08.2014)

Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года // Президент России — молодым ученым и специалистам. URL: <http://www.youngscience.ru/pages/main/documents/5124/11484/index.shtml> (дата обращения 18.08.2014)

ТУ 4314-71332728-003-2013 Удаленный регистратор сейсмических сигналов ADAS3. М.: ООО «Алекс Лаб», 2013. 23 с.

*Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р.* Аномальный тепловой поток и природа желобов в северной части Свальбардской плиты // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 1–7. Guralp Systems. URL: <http://www.guralp.com/> (дата обращения 18.08.2014)

*Nettles M., Ekström G.* Glacial Earthquakes in Greenland and Antarctica // Annual Review of Earth and Planetary Science. 2010. Vol. 38. P. 465–489.

*Peterson J.* Observation and modeling of seismic background noise // U.S. Department of Interior, Geological Survey. Open-File Report 93–322. 1993. 91 p.

*Rial J.A., Tang C., Steffen K.* Glacial rumblings from Jakobshavn ice stream, Greenland // Journal of Glaciology. 2009. Vol. 55. № 191. P. 389–399.

Seismic Vaults // Program for Array Seismic Studies of the Continental Lithosphere. URL: <http://www.passcal.nmt.edu/category/related-topics/seismic-vaults> (дата обращения 18.08.2014)