

СЕЙСМИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ (НЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ) СТАНЦИЯМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Соколова И.Н., Михайлова Н.Н.
e-mail: sokolova@kndc.kz

Институт Геофизических Исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

На основе детального анализа записей станций НЯЦ РК установлен характерный вид записей нетрадиционных в сейсмологии источников: оползней, грозовых явлений, снежных лавин, вскрытия льда на озерах, описаны их параметры, найдены характерные особенности, проведено сравнение их записей с сейсмограммами взрывов и землетрясений.

Ключевые слова: спектр, сейсмический эффект, идентификация.

В Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации ведется круглосуточный мониторинг сейсмических событий разной природы, в большинстве своем - это землетрясения и промышленные взрывы. В настоящее время аналитики в практике рутинной обработки научились успешно выделять их сигналы на сейсмограммах, разрабатываются алгоритмы распознавания природы источников.

Но, как известно, сейсмические станции могут регистрировать множество других явлений естественной природы, таких как сход снежных лавин, сели, оползни, обвалы, грозовые явления, падение метеоритов и др. Сигналы от них, зачастую, так и остаются нераспознанными или относятся к разряду сейсмических помех. Очень сложно по данным станции, расположенной за сотни и тысячи километров от источников, установить точную причину появления на сейсмограмме конкретных сигналов, не укладывающихся в образы хорошо изученных классов событий. Поэтому создание базы данных сейсмических записей таких явлений, исследование сейсмического эффекта и особенностей волновой картины представляет большой интерес.

Оползни

По записям северотяньшаньских станций отображены сейсмические записи оползней, произошедших в предгорьях Заилийского Алатау вблизи г. Алматы [1]. Большинство зарегистрированных оползней в бассейне реки Талгар были зарегистрированы только одной станцией Талгар (TLG) на расстояниях от 100м до 6.8 километров, но 2 самых мощных оползня 13 марта 2004 г. зарегистрированы кроме ст. TLG сейсмическими станциями К-В, MDO и TGN на расстояниях до 39 км. Была оценена кажущаяся скорость распространения сейсмических волн, генерируемых оползнем, $v \sim 1.6$ км/с.

На рисунке 1 представлена карта расположения эпицентров оползней и сейсмических станций. На рисунке 2 представлены сейсмограммы оползней.

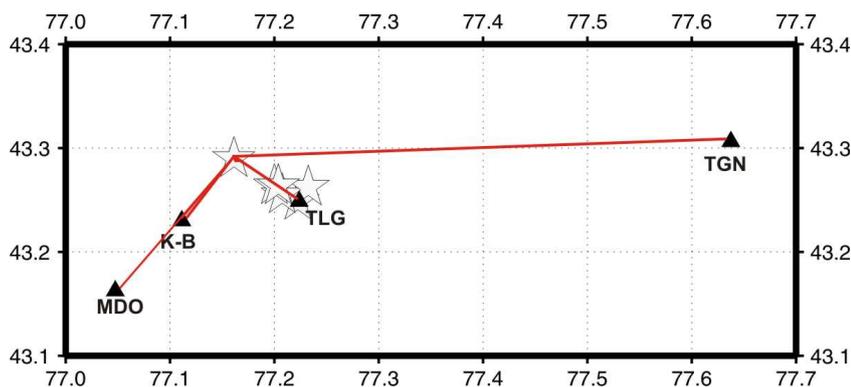


Рисунок 1. Карта расположения эпицентров оползней (звездочки) и сейсмических станций (треугольники).

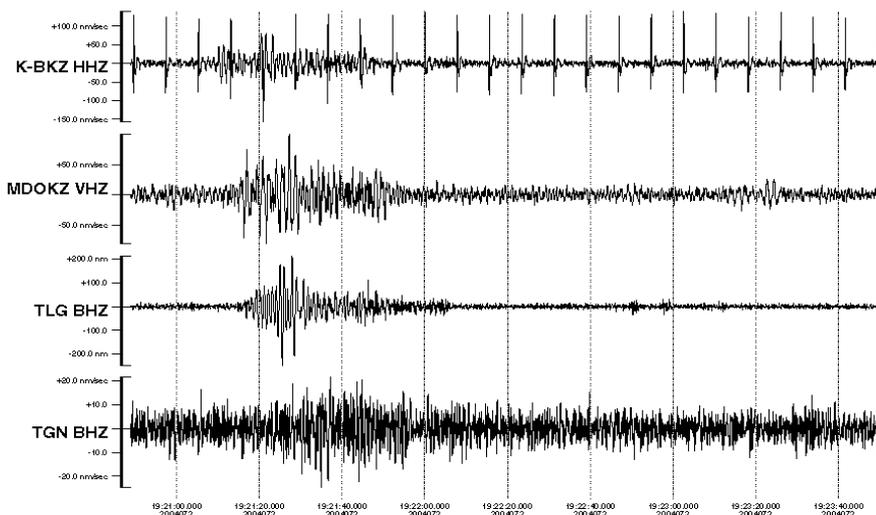


Рисунок 2. Сейсмическая запись оползня 13.03.2004 19:21 (GMT), $\varphi=43.2894^\circ$, $\lambda=77.1611^\circ$.

Исследованы динамические и кинематические параметры сейсмограмм, проведено сравнение волновой картины оползней с «традиционными» источниками, такими как взрывы и землетрясения. На рисунке 3 сравниваются сейсмические записи событий разной природы, но с примерно одинаковым эпицентральной расстоянием относительно станции Талгар. 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 амплитуд и является самой низкочастотной [1]. Спектр оползня существенным образом отличается от спектров взрывов и землетрясений, он имеет 2 локальных максимума в районе 0.6-0.8 Гц и 1 Гц. Сейсмические записи взрывов и землетрясений являются гораздо более высокочастотными.

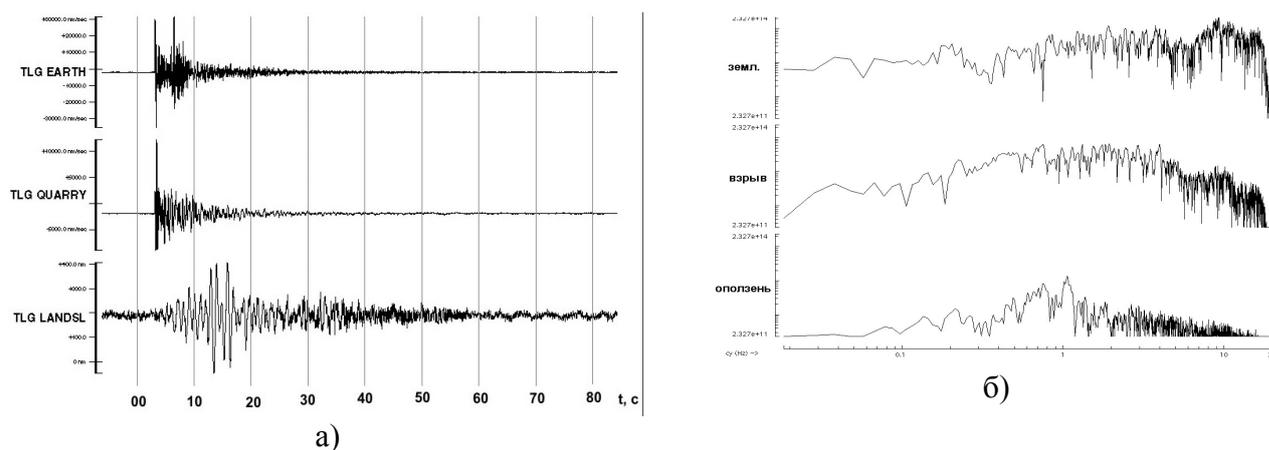


Рисунок 3. Сравнение сейсмических записей (а) и спектров (б) событий разной природы: верхняя - землетрясение 20 июня 1997г. ($t_0=20:07:05.6$, $\varphi=43.1^\circ$, $\lambda=77.1^\circ$); средняя – карьерный взрыв 23 июля 1997 г. ($t_0=4:56:51.0$); нижняя - оползень 13 марта 2004 г. ($t_0 \sim 19:22$). Z-компонента. Станция Талгар

На рисунке 4 представлена зависимость отношения амплитуды смещений грунта по сейсмическим записям, полученным северотяньшаньскими станциями (A) (фильтр 0.6 Гц), к объёму сошедшей оползневой массы (V) от расстояния для оползней в районе Северного Тянь-Шаня [1].

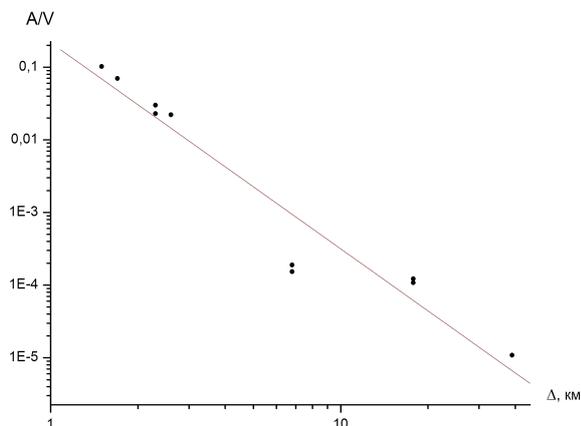


Рисунок 4. Зависимость параметра A/V от расстояния. Красная линия – линия регрессии

Уравнение линейной регрессии для построенной зависимости имеет вид:

$$\lg(A/V) = - 0.66314 - 2.8374 \Delta, \quad R = - 0.96,$$

где A - амплитуда смещения грунта (нм), V – объём оползневой массы (м³), Δ - расстояние в км, R – коэффициент корреляции.

Наблюдается ярко выраженная линейная зависимость параметра A/V от расстояния. Отсюда следует важный практический вывод: существует принципиальная возможность быстрой оценки объема массы сошедшего оползня на основании анализа динамических характеристик сейсмограмм.

Грозы

Вопрос правильной идентификации сигналов на сейсмических записях, вызванных грозовыми явлениями, важен для Центра сбора и обработки данных с двух позиций.

Во-первых, визуальная оценка записей на основе поступающих в реальном времени данных со станций, удаленных на тысячи километров от Центра и работающих в автономном режиме, поможет оперативно установить в ряде случаев причину остановки получения данных. Для станций НЯЦ РК, как показал опыт эксплуатации сети в последние годы, грозы являются одним из факторов, приводящих к выходу из строя оборудования и перерывам в регистрации. Только в 2004 году из-за ударов молнии выходило из строя оборудование станций Каратау, Маканчи, Боровое AS-057, инфразвуковой станции Актюбинск IS31.

Во-вторых, правильная идентификация сигналов от грозы поможет аналитикам Центра данных разобраться в записях и не допустить ошибок в обнаружении и распознавании событий.

1 августа 2004 года в Центре данных в г. Алматы почти одновременно прекратилось получение данных с шести сейсмических элементов сейсмической группы Маканчи из десяти. При этом каналы спутниковой связи между Центром и станциями находились в рабочем состоянии. Детальный анализ записей за время, предшествующее остановке в получении данных, показал, что элементы группы выходили из строя не одновременно, а последовательно с разницей во времени от нескольких минут до нескольких секунд (рисунок 5). Видно, что на каналах, которые

продолжали свою работу, присутствуют какие-то записи, непохожие на запись землетрясений.

В течение часа, когда работала еще вся группа (примерно с 11 часов UTC), имеется большое число аналогичных «помех», которые зарегистрированы практически одновременно на всех элементах группы Маканчи (рисунок 5). В тот же промежуток времени на другой сейсмической группе сети НЯЦ РК-Акбулак, наблюдались «помехи», аналогичные наблюдаемым по записям Маканчи (рисунок 5).

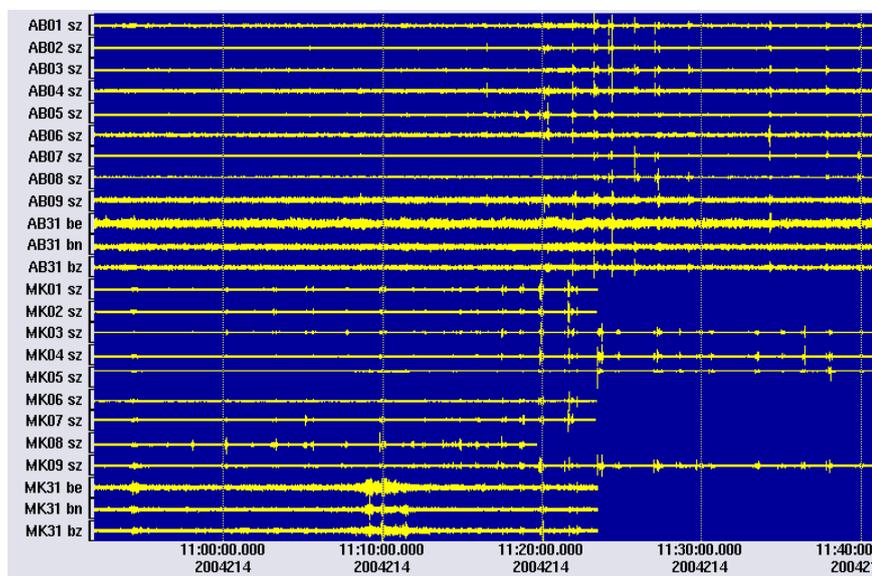


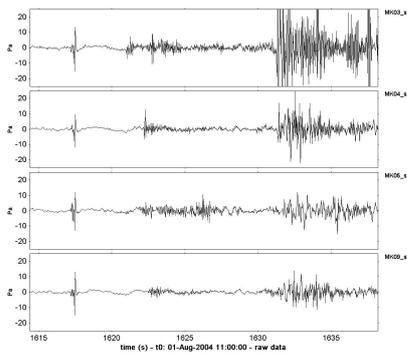
Рисунок 5 - Сейсмические записи по станциям Маканчи и Акбулак

Множество таких непонятных сигналов, возникавших через промежутки в 1-2 минуты и продолжавшихся 45 минут - 1 час, имеют характерную форму записи и длительность.

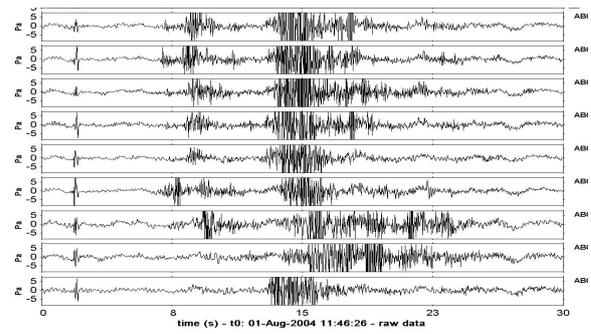
Выяснение причин появления такого рода сигналов показало, что в это время в районе станций происходили грозы. По данным метеослужбы г. Актюбинска гроза в Акбулаке оценивалась в 6 баллов по 8-ми - балльной шкале. В Маканчи и ближайших населенных пунктах отсутствуют метеостанции, поэтому мы опирались на свидетельства очевидцев. Здесь происходила «сухая» гроза, не сопровождавшаяся дождем или ливнем. Разряды молнии ударили прямо в землю, после чего очевидцы отмечали колебания земли как при взрыве или землетрясении. Удары молнии привели в Маканчи к возникновению сильных индуцированных токов в земле, которые оказались губительны для электронных схем дигитайзеров станции. Это привело к прекращению работы регистрирующего оборудования. При этом система молниезащиты станций оказалась неповрежденной. На Акбулаке гроза не привела к выходу из строя оборудования станции из-за другой конструкции систем молниезащиты.

Аналогичные сигналы впоследствии были обнаружены и на записях станции Боровое AS057 для гроз, произошедших в другие дни. С уверенностью можно считать установленным факт наличия на сейсмограммах записей грозовых явлений и их характерный вид.

Была создана выборка записей отдельных грозовых событий по двум сейсмическим группам - Акбулак и Маканчи. На рисунке 6 показаны полные записи двух сигналов по вертикальным узкополосным каналам. Записи очень характерные: как правило, в начале очень короткий высокочастотный импульс, через некоторое время – запись колебаний на протяжении нескольких десятков секунд.



а)



б)

Рисунок 6 - Примеры записей сигналов от грозы 1 августа 2004 года а) по станции Маканчи, б) по станции Акбулак.

По таким записям были измерены максимальные амплитуды для одного события в значениях скоростей колебаний (нм/с) и полная длительность (d, с). Одно грозовое событие продолжается в среднем 20-30 секунд. Как видно, амплитуды колебательных скоростей на Маканчи при самых сильных разрядах были более чем в 2 раза выше, чем на станции Акбулак (140 нм/с против 70 нм/с). Заметно изменение максимальных амплитуд во времени. Сначала интенсивность разрядов нарастала, затем уменьшилась и, наконец, грозовая деятельность вообще угасла (рисунок 7).

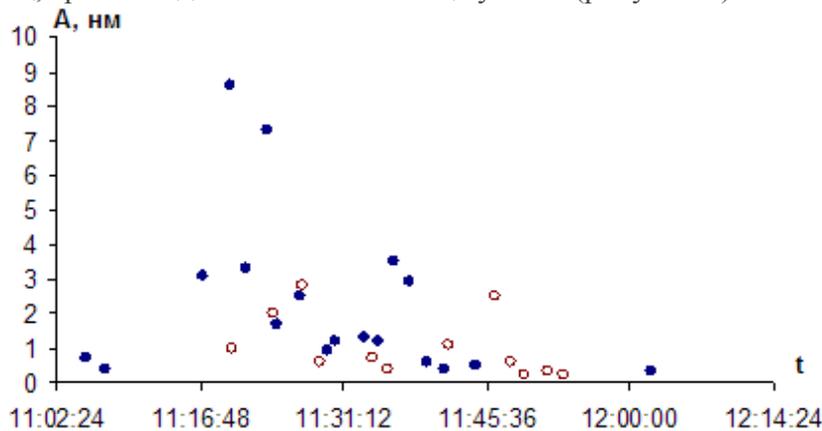


Рисунок 7. Максимальные амплитуды записей грозовых явлений. Залитые значки – станция Маканчи, незалитые – станция Акбулак.

Анализ методом РМСС был проведен по записям обеих станций. Начальная часть сигнала очень хорошо скоррелирована и детектирована. Частотный состав характеризуется очень высокими частотами (возможно, даже более 15 Гц).

На рисунке 12 для тех же обработанных сигналов представлены азимутальные диаграммы. Цветовой шкалой справа от диаграмм показано соответствующее время на сейсмограмме.

Можно отметить, что для первого импульса (синие точки) кажущаяся скорость очень велика (до 160 км/с). Она может быть в реальности еще выше, поскольку есть ограничения частотой оцифровки сигналов. Этот сигнал явно связан с разрядом молнии. Для него можно выделить преимущественное направление: азимут для первого примера равен 198° , для второго - 174° .

Для колебаний, начинающихся примерно через 10 с, нет преимущественного направления прихода волны. Но скорости для отдельных детектирований лежат в диапазоне первых километров в секунду; возможно, что это - аппаратные помехи за счет сильных наводок. Последующие колебания совершенно не коррелируются.

На рисунке 8 сравниваются сейсмические записи событий разной природы, зарегистрированные вблизи станции Акбулак. Верхняя сейсмограмма - химический

взрыв 14 мая 2004 г., произведенный на карьере Карабутак, нижняя сейсмограмма – гроза 1 августа 2004 г. Записи взрывов имеют четко выраженные поверхностные волны, которые являются низкочастотными с периодом около 1 с, запись грозы очень высокочастотна (8-10 Гц), и состоит из ряда цугов, с быстрым нарастанием и быстрым затуханием амплитуд. Спектр грозы существенным образом отличается от спектра взрыва. Он имеет 1 локальный максимум в районе 8-10 Гц, тогда как сейсмические записи взрывов являются более низкочастотными, имеют один локальный максимум в районе 1-2 Гц, второй - в области частот 8-10 Гц, совпадающих с максимумом спектра грозовых явлений. Сопоставление значений амплитуд колебательной скорости с инструментальной шкалой сейсмической интенсивности показывает, что такие колебания вполне могут быть ощутимы как землетрясения с интенсивностью 2-3 балла. Длительность колебаний также вполне сопоставима с длительностью при землетрясениях.

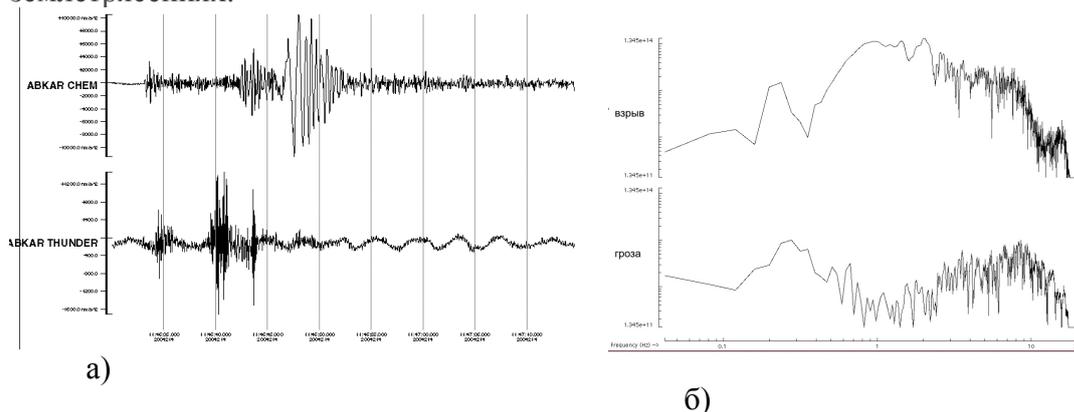


Рисунок 8. Сравнение сейсмических записей (а) и спектров (б) событий разной природы: верхняя - взрыв. (5/14/2004, $t_0=14:25:34.7$, $\varphi=49.8782^\circ$, $\lambda=60.4626^\circ$); нижняя – гроза 8/01/2004 г. ($t_0=11:46:28$). Z-компонента. Станция Акбулак (ABKAR).

Лавины

В апреле 2010 г. Центральноазиатскими сейсмическими станциями был зарегистрирован рой необычных событий в районе Таласского хребта. На рисунке 9а представлен фрагмент сейсмической записи по станции Манас, расположенной в районе Таласского хребта, за 3 часа произошло 22 события, которые идентифицированы как снежные лавины. На рисунке 9 б приведена сейсмограмма одного из таких явлений. Длительность записи схода лавин гораздо больше, чем тектонических землетрясений. Для ряда событий с $K > 8$ удалось построить фокальный механизм для лавин – тип подвижки определен как сброс. Интерпретация сейсмических записей снежных лавин позволяет достоверно определить место, точное время и хронологию событий.

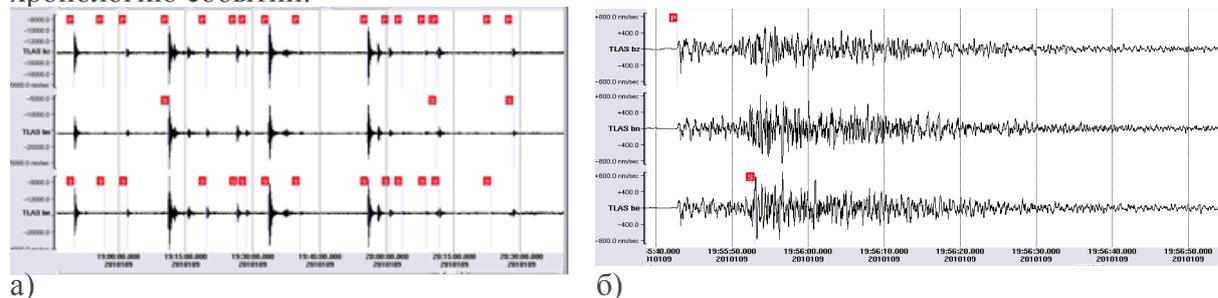


Рисунок 9 а) Фрагмент сейсмической записи 19 апреля 2010. Сейсмограмма снежной лавины 19 апреля 2010, 19-55-30.7, Таласский хребет. Станция Манас

Вскрытие льда

Другим природным явлением, записи которого часто выделяются на сейсмограммах широкополосных сейсмических станций, являются процессы, связанные с вскрытием льда на озерах в весеннее время. Особенно часто такие записи наблюдаются для станций Боровской группы сети НЯЦ РК, расположенной в районе большого количества озер в северном Казахстане. Так на сейсмограммах станции Боровое в конце марта - начале апреля наблюдаются десятки высокочастотных событий в день (рисунок 10а). Азимут этих событий совпадает с направлением на озеро Боровое, а расстояние – менее километра. На рисунке 10б приведена сейсмограмма вскрытия льда, зарегистрированного сейсмической станцией Боровое, наблюдаются мощные поверхностные волны.

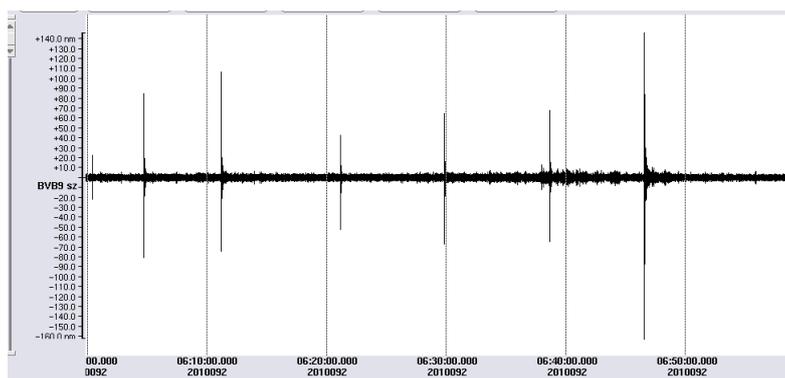


Рисунок 10а Фрагмент сейсмической записи за 1 час 1 апреля 2010 г., по записям BV99.

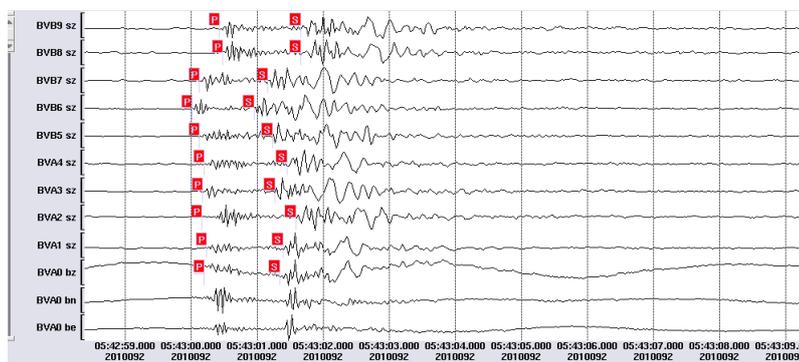


Рисунок 10б Сейсмограмма вскрытия льда 1 апреля 2010 г., по записям сейсмической группы Боровое.

Заключение.

Показано наличие однозначных критериев идентификации оползней по записям стандартных сейсмических станций, таких как различие спектров, время нарастания максимума, периоды максимальной фазы, а также длительности записи. Это открывает перспективы для создания аппаратных систем мониторинга и предупреждения оползневых явлений, используя записи обычных высокочувствительных сейсмостанций.

Получены достоверные сведения о том, что грозы в районе станций хорошо регистрируются сейсмическими станциями. Установлен характерный вид записей грозовых явлений и их параметры на сейсмограмме. Обнаружение и идентификация таких сигналов на основе поступающих в реальном времени данных со станций, удаленных на тысячи километров от Центра и работающих в автономном режиме, поможет оперативно установить в ряде случаев причину остановки получения данных.

Правильная интерпретация нетрадиционных сейсмических источников и исключение их из сейсмических бюллетеней позволяет улучшить качество каталогов и более точно оценивать параметры сейсмического режима.

Литература

Соколова И.Н., Шепелев О.М. Идентификация записей оползней на сейсмограммах // Вестник НЯЦ РК. 2005. Вып.2 (22). С. 165-168.