

Интерпретация инструментальных данных процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года

Запишвили В.Б.¹, Невская Н.И.², Макиев В.Д.³, Мельков Д.А.⁴

20 сентября 2002 г. был зарегистрирован сход ледника Колка локальной сетью сейсмических цифровых станций на территории Республики Северная Осетия-Алания. Записи станций были обработаны в 2003 и 2004 г.г., а в 2005 г. проведен полный анализ данных, полученных сетью сейсмических станций на сопредельной территории, а также опубликованных в Интернете.

Процесс схода ледника согласно имеющимся инструментальным данным локальной сети ГФЦЭД состоит из двух основных явлений: предшествующего события и собственно процесса схода. Предшествующее событие было зарегистрировано двумя станциями локальной сети ГФЦЭД Чикола и Владикавказа 31, и одной станцией филиала АО Института Гидропроект ЦСГНЭО. На основе полученных данных была произведена реконструкция событий указанного явления [7].

Рядом авторов предшествующее событие и собственно процесс схода объединяются в один процесс. В то же время, по нашим данным это – различные события. В связи с этим, одним из вопросов, который необходимо было уточнить, является проблема соответствия начала процесса схода ледника моменту включения пяти станций ГФЦЭД. Кроме того, необходимо было исследовать возможность проявления в момент процесса схода ледника сейсмического или иного события, которое из-за ограниченных технических возможностей станций могло остаться не зарегистрированным. С этой целью в дополнение к ранее проведенному спектральному анализу нами был проведен вейвлет – анализ исходных записей и были выполнены решения механизмов очагов землетрясений.

Наконец, для изучения особенностей проявления процесса катастрофической ледово-каменной лавины ледника Колка 20 сентября 2002г. во времени нами проведены исследования аналоговых записей пяти станций сопредельной территории, практически, в непрерывном режиме регистрирующих сейсмические и иные динамические события (Грузия).

1. Вейвлет-анализ записей схода ледника Колка 20.09.02 года

Обычные спектральные методы анализа, широко применяемые на практике, такие как Фурье-преобразование, обладают рядом недостатков. Исследуемый спектр достаточно «густой», поскольку сигнал является нестационарным, и в разные моменты времени в нём могут преобладать различные частоты. Кроме того, пики во временной области распространяются по всей частотной области преобразования Фурье. В то же время, важной является

информация об изменении спектра сигнала во времени. Исходя из этих соображений, был произведён вейвлет-анализ (спектрально-временной) записей ст. Фиагдон, рассматриваемых нами в качестве исходных.

Запись была разделена на фрагменты и для каждого из них произведено вейвлет-преобразование, с использованием комплексной функции Морлета (Morlet). Для большей наглядности рассмотренные данные вейвлет-анализа были представлены в виде трехмерной диаграммы 3D. Необходимо отметить,

¹ Запишвили В.Б. д. ф.-м. н., директор ГФЦЭД РАН и РСО-А

² Невская Н.И. зав. лаб. ГФЦЭД РАН и РСО-А

³ Макиев В.Д. ст.н.с. ГФЦЭД РАН и РСО-А

⁴ Мельков Д.А. зав. сектором ГФЦЭД РАН и РСО-А

что при представлении данных схода ледника Колка, зарегистрированных на ст. Фиагдон, имеют место эффекты «широкополосности» спектрального состава одной амплитуды в виде прямоугольников (Рис.2а).

При рутинной обработке данных, такой как выборка событий, часто приходится иметь дело с записями различных шумов. Особенно это касается станций, расположенных в техногенных районах. Событие считается выделенным, если оно зарегистрировано одновременно на 3-х станциях, и начала записей попадают во временной интервал 30 с. Но если регистратор включился от сигнала другой природы, в момент времени близкий к сходу ледника, то можно попытаться выделить полезный сигнал из существующих записей, не классифицированных ранее как сход ледника или как сейсмическое событие. Поэтому анализ записей, не попавших в выборку событий, представляет большой интерес.

Анализ 3D представления вейвлет-анализа записей предшествующего события, показывает их значительное различие от данных вейвлет-анализа предполагаемого события процесса схода ледника. Так, основной «вес» анализа данных предшествующего события в отличие от данных процесса схода расположен в более высокочастотном диапазоне (Рис. 1а) и имеет вполне определенные особенности (Рис. 1-2).

Для более детального исследования вся запись Z-составляющей схода ледника Колка была разделена приблизительно на равные по времени отрезки. Сопоставление данных вейвлет-анализа предшествующего события и схода ледника показывает наличие совершенно различных распределений. Хорошо видно, что процесс схода ледника характеризуется исключительно низкочастотным диапазоном, кроме некоего эффекта на временном отрезке 243-255 с вейвлет-анализа Z-составляющей ст. «Фиагдон» (Рис. 2б.). Для уточнения природы сигнала можно рассмотреть данные вейвлет-анализа землетрясения зарегистрированного 25.10.04 на ст. Цей (Рис.3).

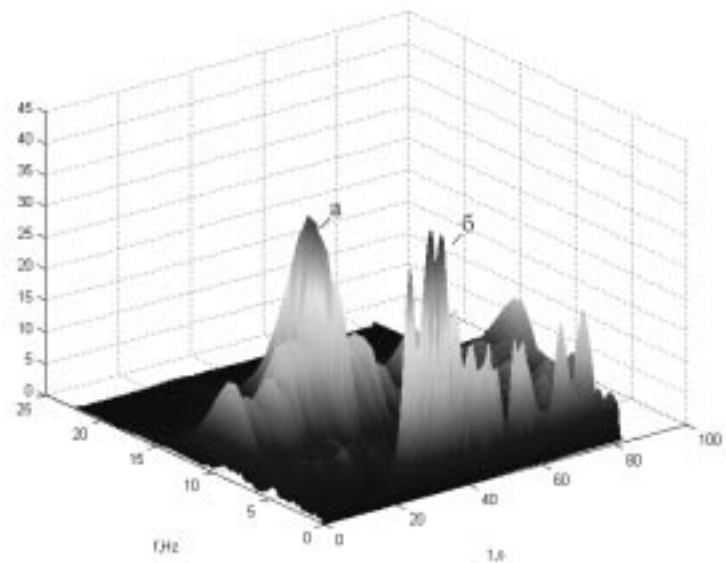


Рис.1. Вейвлет –анализ Z оставяющей ст.Чикола (3D представление)

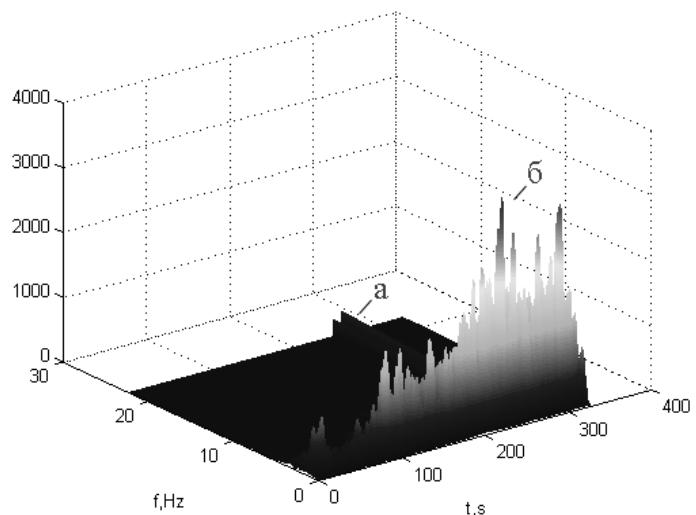


Рис.2. Вейвлет –анализ Z составляющей ст. Фиагдон (3D представление)

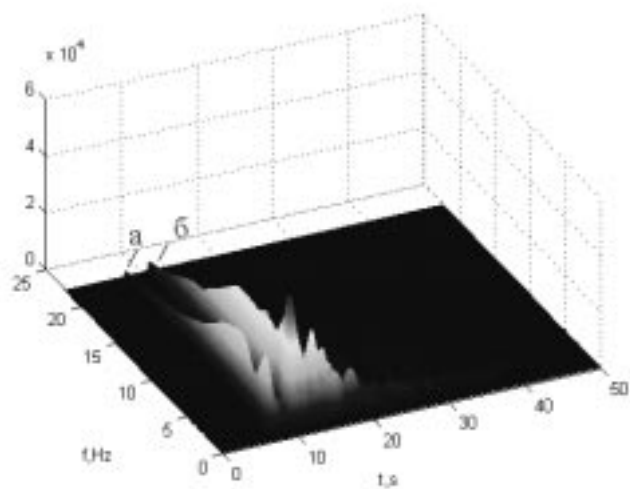


Рис.3. Вейвлет-анализ Z-составляющей записи землетрясения от 25.10.04, ст. Цей (3D представление)

Здесь хорошо видно отчетливое разделение продольных (Рис. 3а) и поверхностных (Рис. 3б) волн землетрясения.

Данные вейвлет-анализа схода ледника коренным образом отличаются от данных вейвлет-анализа записей предшествующего воздействия неизвестной природы на тот период исследований и слабого землетрясения (Рис. 1-3). Отсюда появление широкополосной линии на спектрах (Рис. 2а) может служить показателем локального землетрясения, но такое постоянство распределения по частоте амплитуды отличается от подобных событий (Рис. 3). С другой стороны, если вблизи максимального пика мы все же имеем трансформацию прямоугольного спектра, то можно предположить, что в период катастрофического схода ледово-каменной массы ледника Колка, имело место локальное землетрясение.

Анализ трехмерного представления полной записи показывает, что прямоугольные линии спектра приурочены к его максимумам, незначительно разорванным по времени. В частности, максимальная амплитуда одного из них нами увязывается с ударом массы ледника о так называемые «Кармадонские ворота». В связи с этим появление прямоугольного спектра может отражать процесс разрушения массы ледника. Вейвлет-анализ, таким образом, подтверждает ранее высказанную точку зрения о регистрации удара ледово-каменной массы ледника Колка о «Кармадонские ворота» [7, 9].

На основании имеющихся данных можно считать доказанным, что предшествующее событие и процесс ледово-каменной лавины ледника Колка – различные процессы. Предшествующее событие, несомненно, является событием другой природы.

Анализ результатов исследования показывает, что изучение полученных инструментальных данных необходимо продолжить путем комплексных исследований с использованием различных подходов и методов. Это необходимо для получения объективной информации и проверки различных объяснений причин схода и особенностей его реализации. При получении данных с сопредельных территорий решение задачи, несомненно, приобретет более полноценный характер

В то же время можно сделать заключение, что применение вейвлет-анализа при интерпретации инструментальных данных позволяет более детально изучать тонкие структуры волнового поля.

2. Механизмы очагов землетрясений

Имеющиеся данные позволяют изучить механизмы формирования процесса схода ледово-каменной массы ледника, обусловленные возможным сейсмичес-

ким воздействием. Построение механизмов очагов землетрясений дает возможность прогнозировать процессы, происходящие в зонах крупных разломов и получать необходимую информацию по разработке геодинамического режима региона. Определенное влияние на регион могут оказать процессы, протекающие в пределах вулканических центров (Казбекского, Кельского и др.). В связи с этим, необходимо отметить, что в настоящее время, в РСО-А и на сопредельных территориях имеется достаточный объем данных для создания моделей очагов местных землетрясений.

Механизмы очагов землетрясений построены нами для событий, зарегистрированных локальной сетью сейсмических станций Альфа-ГЕОН (ГФЦЭД). Обработка данных выполнена по методике центра ГЕОН с применением пакета программ (Detrace, Desfplot, Reformar и т.д.).

Решения механизмов очагов целого ряда землетрясений были получены в ГФЦЭД по знакам первых вступлений продольных волн для 7 станций локальной сети РСО-А. Из них одними станциями регистрируются волны сжатия, а другими – волны разрежения. Примеры рассчитанных механизмов очагов в графическом виде (в стереографической проекции, нижняя полусфера) двух событий показаны на рис. 4.

Решения механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений продольных волн выполняются в информационно-обрабатывающем центре Геофизической службы РАН (ГС РАН) в г.Обнинске, а в различных зарубежных центрах – Национальном центре информации о землетрясениях США (NEIC), Гарвардском центре HARVARD (США), рассчитываются по методу тензора момента центроида.

На основе анализа решений, полученных нами, можно отметить следующее. Исследуемые землетрясения произошли в условиях как сжимающих напряжений, ориентированных на север, так и растягивающих напряжений, ориентированных в направлении запад-восток. Обе нодальные плоскости имеют падение от 25 до 90 градусов. В отдельных случаях плоскость NP1 ориентирована в северо-восточном направлении, а плоскость NP2 – в северо-западном. При этом отмечаются и другие направления. В движении по обеим плоскостям превалирует сдвиговая компонента. Однако отмечается и противоположная ориентировка плоскостей. Не исключено, что на результаты решений оказывают влияние второстепенные разрывы различных направлений,

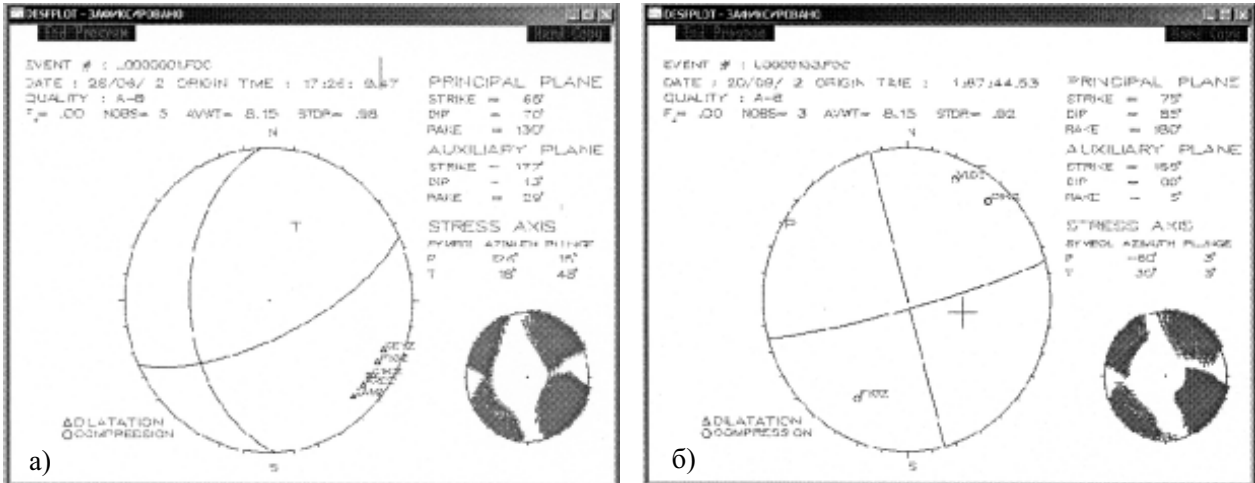


Рис. 4. а) Стереодиаграмма механизма очага землетрясения 28.06.02, Грузия.
б) Стереодиаграмма механизма очага «землетрясения 20.09.02» в виде процесса схода ледника Колка.

расположенные непосредственно вблизи очагов землетрясений. Для получения более корректной картины необходимо уточнение параметров очагов землетрясений с привлечением дополнительных данных с сопредельных территорий.

На стереодиаграммах (рис. 4.) приводятся элементы и параметры очагов землетрясений: простирание и падение основных нодальных плоскостей, вспомогательных плоскостей, элементы залегания осей главных напряжений (сжатия и растяжения).

Рисунки представляют печать экрана окон программ обработки, представляющих собой диалоговые окна американских программ. Сейсмические станции локальной сети PCO-A, ориентированные по вертикальной оси z, обозначены следующими кодами KARz, FIGz, CIKz, VLDz, ARDz, ZAMz, CEYz (Рис. 4).

На указанных стереодиаграммах расположению осей P, соответствуют области волн сжатия, а оси T – области волн растяжения.

Анализ решений показывает, что на процесс схода Колка «наложено» землетрясение, которое отчетливо выделяется по данным первых вступлений. Решения механизмов дают характеристику геодинамических процессов в регионе. Поэтому адаптация соответствующих современных компьютерных программ – важный итог работы.

Таким образом, впервые в PCO-A изучены механизмы очагов землетрясений. Использование полученных результатов позволит значительно расширить возможность полноценного анализа данных, сформировать понимание современной геодинамики на территории PCO-A и дать надежный прогноз формирования опасных геологических процессов.

3. Анализ процесса схода ледника Колка по данным станций сейсмических сетей России и Грузии.

Полученные с помощью локальной сети ГФЦЭД инструментальные записи, в силу триггерности включения сейсмических станций, лишь частично зарегистрировали предшествующее событие и большую часть процесса схода ледника Колка. Это вызвало необходимость сопоставления полученных записей с данными других станций. Отсутствие полной информации, нередко, приводило к различным, иногда, ничем не подкрепленным гипотезам. Публикация наших данных [7] по сходу ледника Колка была первой работой, в которой были приведены наиболее полные результаты обработки и анализа полученных инструментальных записей. В то же время, наши выводы по особенностям протекания процесса схода ледово-каменной лавины ледника Колка нуждались в дополнительной проверке на основе записей других российских станций и станций, расположенных на сопредельной территории.

3.1. Анализ инструментальных записей станций России

До нашей публикации [7] были известны: информационная записка ГФЦЭД [12] с краткой характеристикой (время события, продолжительность записей и т.д.), сообщение ЦСНГЭО [15] с предварительной минимальной обработкой, распространенное в Интернете, непосредственно сразу после схода ледника. Сообщение ЦСНГЭО также имело информационный характер, но в нем были приведены несколько спектров колебаний, записанных одной станцией. Наше краткое сообщение содержало данные спектрального анализа 4 станций ГФЦЭД [9].

Изучение других работ по рассматриваемой проблеме [6] показало, что анализ по данным ст. Цей,

входящей в ФССН (федеральная сеть сейсмических наблюдений), проведен лишь по записи основного для нас события – процесса схода ледника Колка. К сожалению, большая часть указанной работы посвящена описанию истории наблюдений в регионе и его инженерно-сейсмологической ситуации. В ней явно недостаточно анализируется сам процесс схода ледника Колка. Тем не менее, приведенные данные указывают на значительное влияние сеймотектонических особенностей региона на возникновение и специфику протекания опасных природных процессов.

Следует отметить, что наиболее важные этапы процесса (время начала схода ледника, его протекание и продолжительность процесса схода) находятся в хорошем соответствии с данными, полученными локальной сетью ГФЦЭД.

3.2. Анализ записей станций сейсмической сети Грузии

С целью более детального изучения процесса схода ледника Колка были изучены данные сейсмических станций сопредельной территории: Абастумани, Амбролаури, Ахалкалаки, Ахалцихе, Они, Тбилиси, которые были предоставлены нам грузинскими коллегами. Указанные аналоговые записи, полностью охватывают продолжительность суток с 19 по 20 сентября 2002 г. Наиболее полными и качественными являются данные станции Тбилиси, отличающейся наибольшим увеличением.

Анализ каталога землетрясений показал, что 20 сентября 2002г. перед катастрофическим сходом ледка Колка имело место землетрясение, приуроченное к данному времени. Так, в 15:43:50,3 в районе Западной Ирианы (1,68 S; 134.23 E) произошло землетрясение с магнитудой $M_s=6,2$. и глубиной очага $h=33$ км. Такое расстояние продольные Р-волны проходят за время около 13 мин., а поперечные S- волны за время около 26 мин. Необходимо отметить, что вступление Р- волны при этом произойдет в 15 h 56 m 50 s, а S-волны – 16 h 09 m 50 s. Сразу обращает на себя внимание хорошее соответствие времен основных фаз волн с этапами схода ледника. Регистрация таких удаленных сигналов вполне возможна указанным типом наблюдений. Более того, даже менее чувствительной локальной сетью наблюдений ГФЦЭД, неоднократно регистрировались удаленные землетрясения (Китай, Япония и т.д.). В связи с этим, можно предположить, что «спусковым крючком» для схода ледника явилось указанное удаленное землетрясение. По нашему мнению именно оно обусловило включение наиболее чувствительных станций: Чикола, Владикавказ 31 и ЦСГНЭО [7].

Вертикальная составляющая с расстоянием затухает намного быстрее горизонтальной. В связи с этим записи от удаленных землетрясений, как правило, характеризуются относительно слабой вертикальной составляющей. В нашем случае приход продольной волны вызвал очередной, несомненно, более сильный обвал, колебания которого «наложились» на продольную волну. После затухания указанных колебаний на вертикальной составляющей можно наблюдать длиннопериодный импульс (Соб.3, Рис.5). Достаточно значимой являлась и горизонтальная составляющая импульса (EW). Фрагмент события приведен на рис.7.

Авторами был проведен вейвлет-анализ указанного события (Рис.8-10). Далее (Соб.4, Рис.5) имело место два горизонтальных импульса, фрагменты записей которых приведены на Рис. 11. По указанным данным также был осуществлен вейвлет - анализ (Рис.12). Полученные данные показывают, что мы имеем весьма характерные спектрограммы, несомненно, длиннопериодного (инфранизкого) диапазона. Выделенные нами длиннопериодные импульсы характеризуют процессы в районе ледника Колка и не являются колебаниями, вызванными землетрясением.

Анализ полученных данных показывает, что причиной не включения большей части станций ГФЦЭД и ЦСГНЭО при воздействии предшествующего события явился низкий амплитудный уровень начальной части колебаний удаленного землетрясения. Именно так реагируют некоторые станции ГФЦЭД на удаленные землетрясения. С другой стороны именно длиннопериодность последующего вертикального, а затем, после паузы, последующих горизонтальных импульсов, также исключила возможность их регистрации (Рис.14–15).

На рис.13. представлена значительно упрощенная схема развития событий, включающая предшествующие события и собственно процесс схода ледника Колка. Там же приведена ориентировочная продолжительность указанных этапов.

4. Реконструкция события схода ледника

Предварительная реконструкция событий обусловивших катастрофический сход ледника на основе дополнительно изученного материала выглядит, следующим образом.

Как отмечалось ранее [7, 8] с г. Джимарайхох могли иметь место неоднократные обвалы, обусловленные целым рядом сильных и местных землетрясений [7]. Ледник, очевидно, быстро набирал критическую массу. Только за неполные сутки с 19 по 20 сентября 2002 г. перед сходом были зарегистри-

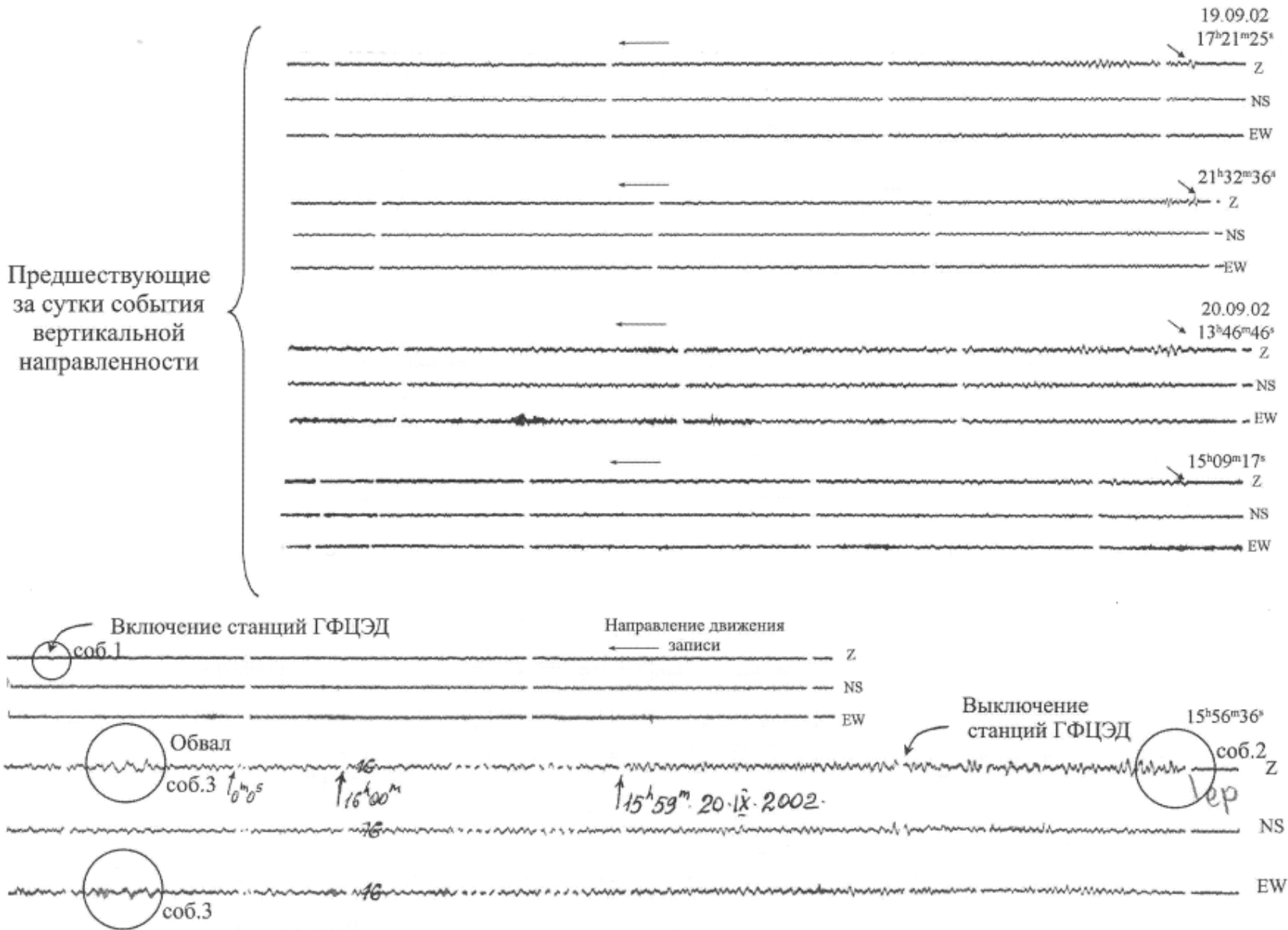


Рис.5. Записи предшествующих событий (время начала событий указано в абсолютных значениях с учётом поправки).

Рис. 6. Процесс схода ледника Колка 20 сентября 2002 г.