

Анализ процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по инструментальным записям российских и грузинских сейсмических станций

В.Б. Заалишвили, Н.И. Невская, И.Л. Габеева, Д.А. Мельков

Геофизический центр экспериментальной диагностики Российской академии наук и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, Владикавказ, Россия

Analysis of Kolka Glacier collapse process 20 September 2002 based on instrumental records of Russian and Georgian seismic stations

V.B. Zaalishvili, N.I. Nevskaya, I.L. Gabeeva, D.A. Melkov

Geophysical center of experimental diagnostics, Russian Academy of Sciences and Government of Republic North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, Russia

On 20th September 2002 unique records of preceding and main events of the glacier Kolka collapse were obtained by the local network of the Center consisting of 5 digital seismic stations located on the territory of Republic of Northern Ossetia-Alania. Records were analyzed in 2003-2004. Spectral analysis and wavelet analysis were used for investigation of all possible effects. Focal mechanics of earthquakes estimation were also performed. It was established that preceding event and process of the glaciers collapse are different effects. Complete analysis of data obtained by seismic networks of Russia and neighbor territory was performed in 2005. For investigation of features of the catastrophic fall process in time domain we performed analysis of analogue records of five seismic stations of neighbor territory almost continuously registered all seismic and other dynamic events from 19 to 20 September 2005. On the basis of all mentioned data complex seismogram was compiled. Seismogram analysis allowed to allocate preceding pulse of vertical orientation with period of 4 seconds. Then glacier body itself oscillation with the same period occurred and finally fall process began. Fall process is interpreted until total stop of the glaciers masses. It's pointed out that all main stages of the glacier's fall obtained are in a good accordance with interpretation based on "truncated" records of the Center stations working in a trigger mode.

20 сентября 2002 г. станциями локальной сети сейсмических цифровых станций на территории Республики Северная Осетия-Алания был зарегистрирован сход ледника Колка, записи, которых нами были впервые обработаны в августе 2003 г. За прошедший период с 2004 г. нами был проведен полный анализ всех имеющихся записей с помощью известных современных методов.

Спектральный анализ данных позволил установить основные спектральные особенности проявления усеченного (как стало понятным после анализа данных сопредельных территорий) предшествующего и основного события (сход ледника) на различных станциях сети Центра [Заалишвили и др., 2004, Заалишвили и Невская, 2004]. Представляло интерес выявление природы предшествующего события с целью установления причин неожиданного для специалистов–гляциологов схода ледника Колка, которое было зарегистрировано двумя

Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Габеева И.Л., Мельков Д.А. Анализ процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по инструментальным записям российских и грузинских сейсмических станций. // Изменения природной среды на рубеже тысячелетий. Труды Международной электронной конференции. Тбилиси-Москва, 2006, с. 253-258. www.cetm.narod.ru/pdf/zaalishvili.pdf

станциями сети нашего Центра, и одной станцией ЦСГНЭО [Заалишвили, Невская, 2003]. В числе прочих, нами были выполнены решения механизмов очагов землетрясений и был сделан вывод, что процесс схода был спровоцирован не локальным землетрясением.

Результаты вейвлет - анализа записей показали, что предшествующее событие коренным образом отличается от основного события схода, что не всеми разделялось. 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 и имеет вполне определенные особенности [Заалишвили и др., 2005].

Другими словами, было получено, что оба события надежно разделены по своей природе. Необходимо отметить, что такие результаты были получены нами, как было позже установлено, путем анализа всего 10% от общей продолжительности предшествующего события, т.е. по значительно усеченным записям.

В 2005 году грузинскими учеными была любезно предоставлена возможность исследования записей пяти аналоговых станций Единой сейсмической сети Грузии, полученных за период 19-20 сентября 2002 года.

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

Как отмечалось ранее [Заалишвили и др., 2004; Заалишвили и Невская, 2004], с г. Джимарай-хох могли иметь место неоднократные обвалы, обусловленные целым рядом сильных и местных землетрясений [Заалишвили и др., 2004]. Ледник, очевидно, быстро набирал критическую массу. Только за неполные сутки с 19 по 20 сентября 2002 г. перед сходом были зарегистрированы четыре события вертикальной направленности (19 сентября 2002 г. в 17 h 21 m 25 s и в 21 h 32 m 36 s, а 20 сентября 2002 г. в 13 h 46 m 46 s и в 15 h 09 m 17 s) (рис. 1). Другими словами, в районе ледника Колка непосредственно перед сходом, имели место многократные обвалы, вызванные перемещением крупных блоков коренных пород по современным разломам [Корниенко и др., 2004]. Кроме того, по данным гравиметрии [Кобаев и Гурбанов, 2004], магнитотеллурического зондирования [Арбузкин и др., 2004] были выявлены периферические магматические камеры, увеличение объема которых за счет поступления расплава из глубинного магматического очага, также могло вызвать активизацию старых и образование новых разломов.

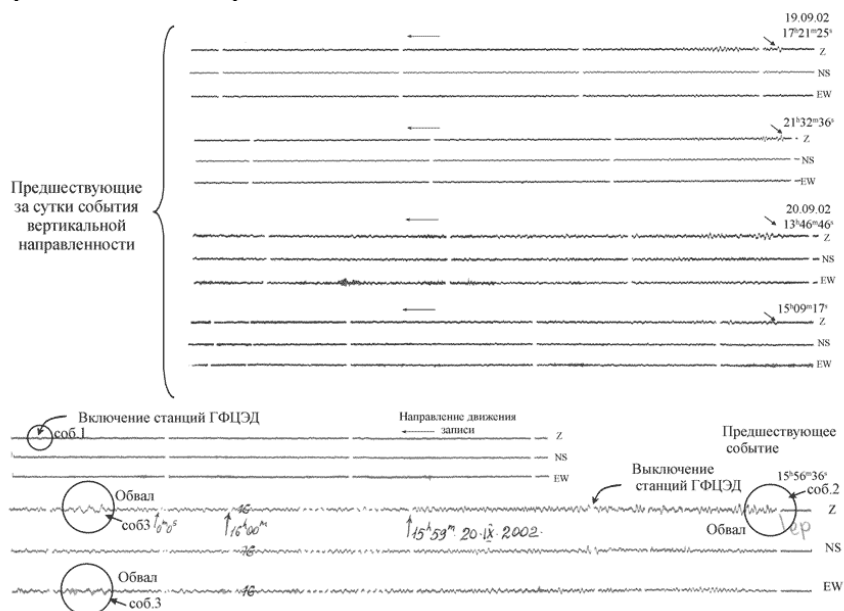


Рис. 1. Записи предшествующих событий

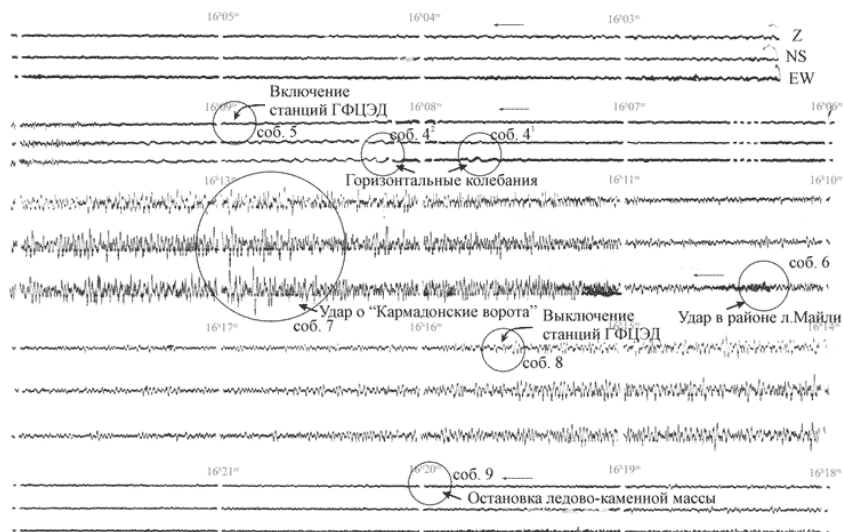


Рис. 2. Процесс схода ледника Колка 20 сентября 2002 г.

В 15 h 56 m 59 s (с учетом поправки 15 h 56 m 36 s) станции зарегистрировали удаленное землетрясение. Затем сразу же наблюдаются вертикальные колебания, типичные для последних суток, но с заметно большей амплитудой (рис.1). После их значительного затухания (15 h 59 m 00 s) в 16 h 00 m 42 s наблюдается длиннопериодный ($T \approx 4$ с), преобладающий в вертикальном направлении, импульс продолжительностью 12 с (рис.1,3) (обвал/выброс/вода). На составляющей EW он также достаточно ясно выражен. Затем, с 16 h 00 m 55 s и до 16 h 04 m 00 s наблюдаются относительно высокочастотные колебания.

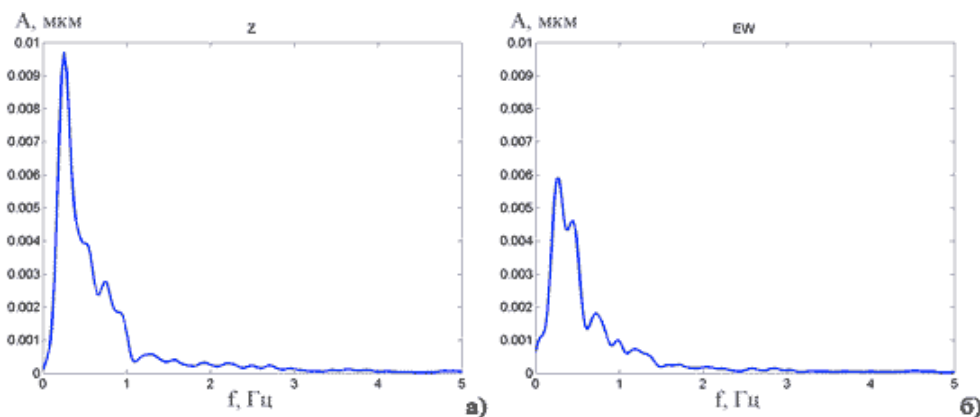


Рис.3. Амплитудный спектр вертикальной и горизонтальной(EW) составляющих (16:00:42)

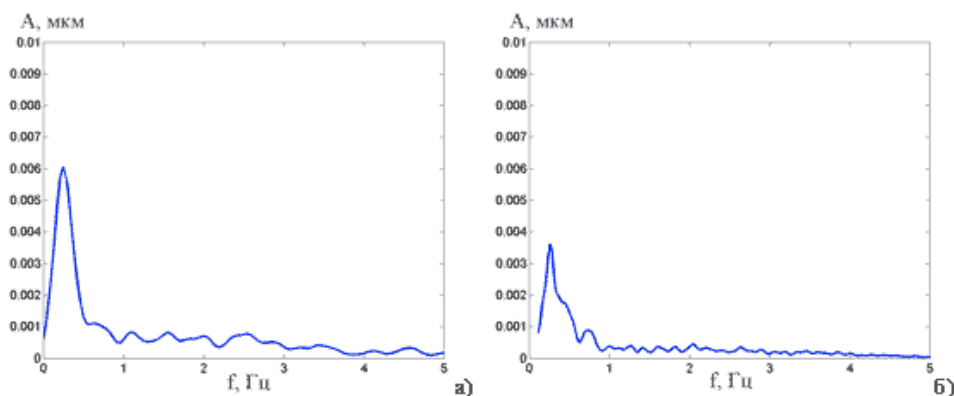
Сопоставление инструментальных записей станций ГФЦЭД и станций сети сопредельной территории показало, что станции ГФЦЭД, зарегистрировали только начальную часть предшествующего события продолжительностью 82 с, начиная с 15 h 56 m 59 s, и как отмечалось выше, вообще не зарегистрировали указанные низкочастотные колебания, впрочем, как и станция ЦСГНЭО.

В 16 h 07 m 30 s на сейсмограмме появился весьма отчетливый длиннопериодный, преобладающий исключительно в направлении EW, импульс. Затем еще через 30 с вновь проявился подобный по амплитуде и периоду импульс (на наш взгляд, это ледник с его огромной массой начал “раскачиваться” у положения равновесия). Интегральный эффект наложения

обоих импульсов, тоже достаточно длиннопериодный, полностью затухает лишь в 16 h 08 m 30 s (рис. 2). Одновременно включаются все функционирующие на тот период станции ГФЦЭД [Заалишвили и др., 2004]. Далее должно быть вступление S-волны удаленного землетрясения, но выделить ее не удалось. При этом в 16 h 09 m 29 s наблюдаются малоамплитудные высокочастотные колебания (по нашему мнению, начало схода ледника!), которые через 80–82 с завершаются большим высокочастотным импульсом (удар о скальные породы правого борта долины р. Геналдон ниже языка ледника Майли) и далее идет почти такой же высокочастотный процесс, но характеризующийся намного большими, отчетливо выраженными колебаниями. Амплитуда горизонтальных колебаний в направлении движения, при этом, превышал амплитуду вертикальных, по данным разных станций, не менее чем в 2,5 раза. Собственно процесс схода ледника Колка до достижения уровня микросейсм продолжался 10 m 31 s. При этом монотонное уменьшение амплитуды колебаний наблюдается уже с 16 h 14 m 31 s.

Максимальная продолжительность процесса схода ледника Колка, которую контролировали станции ГФЦЭД, охватывает, как отмечалось выше, 7 m 40 s и, несомненно, включает основную часть процесса схода по его амплитудному вкладу.

Таким образом, анализ полученных данных дает основание утверждать, что в районе ледника Колка в 15 h 56 m проявились отголоски удаленного землетрясения, которое явилось “спусковым крючком” для обвала большой массы горной породы на ледник Колка, величина которой составила около 60 млн куб.м [Васьков, 2004]. Именно большая масса обвала могла обусловить длиннопериодность колебания вращательного типа в плоскости EW.



а) Амплитудный спектр первого горизонтального импульса (16 h 07 m 30 s, EW)

б) Амплитудный спектр второго горизонтального импульса (16 h 08 m 05 s, EW)

Рис. 4. Амплитудные спектры “раскачивания” ледника Колка у положения равновесия

О ПРИРОДЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ИМПУЛЬСА НА ЗАПИСЯХ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ СХОДУ ЛЕДНИКА КОЛКА

Известны различные мнения относительно природы предшествующего воздействия: обвал, газодинамический выброс, обусловленный аккумуляцией природных газов и экранизацией природных скоплений [Бергер, 2004 а], воздействие большой массы накопившейся воды, вызвавшей отрыв ледника от ложа из-за всплытия льда [Котляков и Рототаева, 2003, Котляков и др., 2004] и т.д.

Первая гипотеза об определяющем воздействии обвала на процесс схода, подтверждающая, в частности, точку зрения большей части геологов, рассмотрена выше [Васьков, 2004]. По нашему мнению самым главным фактором, определяющим особенности схода

ледника Колка, явились сеймотектонические условия района [Варданянц, 1932], поскольку для сформированного и готового к сходу ледника даже самое слабое воздействие будет вполне значимым.

Вопрос различий механизмов схода-движения ледника, для 1969–1970 гг., 1902 и 2002 гг., по нашему мнению, во многом определяется конкретными климатическими условиями, особенностями “созревания” ледника и, наконец, особенностями проявления сейсмической активности.

Согласно **второй гипотезе** сход ледника Колка 20 сентября 2002 г. вызван т.н. “газодинамическим выбросом”, обусловленным аккумуляцией природных газов и экранизацией природных скоплений [Бергер, 2004 б]. При этом выдвигается гипотеза, что “параллельное протекание гляцио- и газодинамических циклов” определяет “автоколебательное развитие ледника Колка” [Бергер, 2004 а,б] и т.д.

Сторонники **третьей гипотезы** в своих публикациях отмечают исключительную роль воды и последующее всплытие льда как определяющие условия пульсации ледника Колка. Очевидно, количество льда должно быть при этом весьма большим, количество воды – огромным и при этом должно быть очень мало каменной массы.

Впрочем, правомерность различных гипотез в дальнейшем, очевидно, будет исследоваться и принятие их возможно при получении достаточно обоснованного доказательного материала.

Достижение критической массы ледником Колка, как уже отмечалось выше, ускорило обвалами. Так, только за неполные сутки до 20 сентября 2002 г. произошло четыре обвала. Анализ визуального состояния ледника за несколько часов перед сходом [Тутубалина и др., 2005], показывает, что обвалы обусловили прогибание или напряженно-деформированное состояние тела ледника, т.к. сдвигу ледника в поперечном направлении (EW) препятствовали мешали коренные породы и боковые морены перед ледником Майли.

ВЫВОДЫ

1. На основе обработки цифровых инструментальных записей, установлены основные этапы процесса схода ледника Колка. Представлены результаты интерпретации инструментальных записей с помощью современных методов обработки данных. По результатам анализа установлена, несомненно, различная природа предшествующего события и основного процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 г.

2. Решения механизмов очагов землетрясений были получены в ГФЦЭД по знакам первых вступлений продольных волн на 7 станциях локальной сети РСО-А. Из них на части станций зарегистрированы волны сжатия, на других станциях – волны разрежения. Благодаря решению механизмов очагов установлено, что на предшествующее сходу ледника событие в виде относительно заметного обвала “наложилось” удаленное землетрясение.

3. Установлено, что результатам анализа уникальных инструментальных записей локальной сети сейсмических наблюдений ГФЦЭД соответствуют данные сейсмической сети сопредельной территории, станции которой, практически полностью зарегистрировали предшествующее событие и процесс схода ледника Колка.

4. На основании комплексной обработки всех имеющихся данных, как по территории РСО-А, так и по сопредельной территории мы предлагаем следующий сценарий развития событий катастрофической ледово-каменной лавины ледника Колка 20 сентября 2002 г. (рис. 1, 2): удаленное землетрясение (включение отдельных станций ГФЦЭД, Событие 1), предшествующее событие-обвал (Событие 2), обвал большой массы горной породы (Событие 3), горизонтальные колебания тела ледника у положения равновесия (Событие 4¹, Событие 4²), начало схода ледника (включение всех станций ГФЦЭД, Событие 5), удар о борт горных пород в районе ледника Майли (Событие 6), движение ледника на север и удар о “Кармадонские ворота” (Событие 7), выключение станций ГФЦЭД (Событие 8), остановка большей части ледово-каменной массы (Событие 9).

ЛИТЕРАТУРА

- Арбузкин В.Н., Фельдман И.С., Трофименко Е.А. Результаты первого этапа электроразведочных работ АМТЗ и МТЗ в Геналдонском ущелье. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. Т.4, №3, 2004, с.25–32.
- Бергер М.Г. Циклы автоколебательного развития пульсирующего ледника Колка (Центральный Кавказ) // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института, вып. 11. Владикавказ: Изд-во “Терек”, 2004 а, с.186–188.
- Бергер М.Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 года – новое катастрофическое природное явление // Тезисы докладов Международной конференции “Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных регионах”, Владикавказ, 23–26 июня 2004 года. Владикавказ: Изд-во РЕМАРКО, 2004 б, с. 4–5.
- Варданыц Л.А. Геотектоника и геосейсмика Дарьяла как основная причина катастрофических обвалов Девдоракского и Геналдонского ледников Казбекского массива // Известия Гос. геогр. об-ва, т. 64, вып. 1, 1932, с. 51-60.
- Васьков И.М. Возможный механизм обвала и динамика движения ледово-каменных масс в верховьях р.Геналдон (на Центральном Кавказе в сентябре 2002 г.). // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. Т.4, №2, 2004, с. 34–45.
- Годзиковская А.А., Бугаевский А.Г., Габсатарова И.П. Сейсмологическая составляющая в катастрофическом движении ледника Колка. 2004. <http://zeus.wdcb.ru/sep/kolka/index.ru.html>.
- Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Харебов А.К. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. Т.4, №3, 2004, с. 58–64.
- Заалишвили В.Б., Невская Н.И. Взаимосвязь различных факторов, в том числе, сейсмических событий со сходом ледника Колка 20 сентября 2002 г // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. Т.4, №3, 2004, с.51–57.
- Заалишвили В.Б., Невская Н.И. Сбор и анализ сейсмограмм землетрясений (с определением их эпицентров), произошедших в сентябре и до сентября 2002 г. // Комплексные геолого-геофизические исследования в Кармадонском ущелье Республики Северная Осетия Алания /июль-август-сентябрь 2003 г./ (Предварительный отчет о результатах полевых работ). Рукопись. Владикавказский научный центр. Препринт, 2003, 14-19с.
- Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Макиев В.Д., Мельков Д.А., Интерпретация инструментальных данных процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А, т.5, №3, 2005, с. 43-54.
- Котляков В.М., Рототаева О.В. Ледниковая катастрофа на Северном Кавказе. // Природа, № 8, 2003, с. 18–20.
- Котляков В.М., Рототаева О.В., Осокин Н.И. Пульсирующие ледники и ледниковая катастрофа на Северном Кавказе.//Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. Т.4, №3, 2004, с. 65–71.
- Кобаев А.В., Гурбанов А.Г. Гравиметрические исследования в Геналдонском ущелье: первые результаты. //Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. Т.4, №3, 2004, с. 9–11.
- Корниенко С.Г., Ляшенко О.В., Гурбанов А.Г. Выявление признаков очагового магматизма в пределах Казбекского вулканического центра по данным тепловой космической съемки. //Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. Т.4, №3, 2004, с. 25–32.
- Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Петраков Д.А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные. // Криосфера Земли, т. IX, № 4, 2005, с. 62-71.