

# Взаимосвязь различных факторов, в том числе сейсмических событий, со сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года

В.Б. Заалишвили<sup>1</sup>, Н.И. Невская<sup>2</sup>

## СТРОИТЕЛЬНАЯ ПРАКТИКА И ПОСЛЕДСТВИЯ СХОДА ЛЕДНИКА

20 сентября 2002 г. произошел неожиданный для населения и специалистов (сейсмологов, гляциологов) сход ледника Колка в РСО-А. С целью исключения подобных ситуаций необходимо иметь действенную и в то же время постоянную государственную поддержку для проведения комплексного мониторинга и тщательного анализа его результатов.

Территория республики характеризуется высокой сейсмической опасностью, но если не изучить ее детально и не оценить конкретный сейсмический риск с применением современных методик и компьютерных программ, ни один специалист не сможет разработать адекватные меры по снижению риска и, тем более, реализовать их. К сожалению, из-за отсутствия финансирования в этом направлении делается крайне мало. И это происходит в условиях реализации ФЦП «Сейсмическая безопасность России 2002–2010 гг.». В связи с этим необходимо радикально изменить отношение к данной проблеме. Это весьма актуально, т.к. высокий природно-техногенный риск вынуждает большее внимание уделять особенностям практического строительства в горных районах.

В связи с вопиющими фактами строительства в зоне транзита ледника необходимо отметить, что любое строительство в регионе с высокой сейсмической опасностью следует осуществлять в соответствии с основными положениями Строительных Норм России «СНиП II-7-81\*» [1]. Это касается, в частности, и горных, не урбанизированных территорий. Так, например, были застроены в последние годы дачные участки в Геналдонском ущелье. Если бы при этом руководствовались указанными Нормами, они были бы отнесены, самое малое, к неблагоприятным условиям строительства. При этом последствия были бы менее трагичными, а еще точнее – их бы просто не было или же они свелись бы к отдельным несчастным случаям. В качестве при-

мера можно привести последствия Нефтегорского землетрясения (Сахалин, 1995). Почти 2/3 населения погибло в маленьком вахтовом городке нефтяников, и все они проживали в несейсмостойких домах. В то же время здания, построенные после 1979 г. и рассчитанные всего лишь на 7-балльное воздействие, были повреждены, но не разрушены даже при 9-балльном воздействии, а значит, не погибли и жители.

Согласно СНиП 22-01-95, территория, включающая уничтоженный сходом ледника поселок Нижний Кармадон, относится к категории с проявлением весьма опасных природных процессов [2]. Но многие строители даже не знают о существовании таких нормативных документов. Правильное использование строительных норм, очевидно, должно исключить повторение подобных случаев. В то же время следует признать, что для строительства в горных районах, где опасные геологические процессы формируют особый, нередко высокий специфический риск, необходима разработка специальных Рекомендаций или Приложения к Строительным Нормам.

Число запретов на строительство из-за архитектурных, градостроительных или просто эстетических соображений нередко намного превышает запреты строительства, обусловленные высоким природно-техногенным риском. Без понимания причины запрета население, привыкшее нарушать (из-за простых жизненных интересов) многочисленные государственные запреты, тривиальному запрету подчиняться не будет. Поэтому практическое строительство индивидуального, иногда и государственного жилья нередко выполняется с нарушением требований Строительных Норм, являющихся непреложным законом для строителя. Это наблюдается повсеместно в мире, а результаты нарушений непосредственно выражаются в особой тяжести социальных последствий (Спитак, 1988; Рача, 1991; Кобе, 1995; Измит, 1999 и т. д.). Тем не менее, почти наверняка можно быть уверенным, что ни один из коренных жителей Геналдонского ущелья не пост-

<sup>1</sup> В.Б. Заалишвили – д.ф.-м.н., директор ГФЦЭД ВНЦ РАН и РСО-А.

<sup>2</sup> Н.И. Невская – зав. лаб. ГФЦЭД ВНЦ РАН и РСО-А.

роил бы жилой дом в районе транзита ледника, или, во всяком случае, не был бы инициатором подобного строительства.

### ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАЙОН СХОДА ЛЕДНИКА КОЛКА

Во многих публикациях, а также устных сообщениях о сходе ледника большое внимание уделяется сейсмическим событиям, отмеченным в ближайший к сходу ледника Колка временной период, с относительно близким расположением эпицентров от района катастрофы.

С целью определения влияния на сход ледника Колка сейсмических воздействий был проведен анализ отдельных землетрясений и выполнены расчеты проявления их интенсивности в районе стихийного бедствия с учетом затухания сейсмической энергии.

Природная система, как правило, испытывает одновременные воздействия со стороны многих факторов. В связи с этим целесообразно при анализе состояния системы оценить воздействие как одного фактора, так и интегральное воздействие различных факторов в течение определенного периода. В последние годы в инженерной сейсмологии разработана подобная методика оценки [3]. В соответствии с полученными выводами сейсмический эффект ряда отдельных относительно слабых землетрясений формирует интегральный эффект, соответствующий одному, более сильному землетрясению. В то же время сильное землетрясение нередко формирует совершенно конкретный эффект, особенности которого по слабым событиям, следует прогнозировать с осторожностью.

В связи с тем, что в последний раз сход ледника Колка поризошел в 1969 г. [4], для данной территории необходимо оценить возможное воздействие землетрясений, происшедших после указанного времени.

Самым первым сильным событием в указанный период стало Дагестанское землетрясение 1970 г. На территории г. Владикавказа оно проявилось с интенсивностью 4–5 баллов [5]. Какого-либо заметного влияния на состояние ледника оно не оказало. Достаточно большим было также проявление на территории г. Владикавказа (4 балла) Черногогорского землетрясения, происшедшего 26 июля 1976 г. в Чечне.

29 апреля 1991 г. в Грузии произошло разрушительное Рачинское или Рача-Джавское землетрясе-

ние с магнитудой  $M=6,9$ . Интенсивность сотрясений в обширной эпицентральной области доходила до 9 баллов по шкале MSK-64. Один из авторов с группой коллег выделял здесь наиболее пострадавшие районы [6]. Очаги главного толчка и наиболее сильного афтершока 15 июня 1991 г. указанного землетрясения были расположены на эпицентральной расстоянии порядка  $D=50-70$  км от ледника Колка.

23 октября 1992 г. в Грузии произошло разрушительное Барисахское землетрясение с магнитудой  $M=6,5$ . Очаг главного толчка был расположен на эпицентральной расстоянии  $D=52$  км от ледника Колка. Интенсивность землетрясения в эпицентре составила 7–8 баллов.

Следует принять, что указанные землетрясения не вызвали заметных обвальных явлений в районе ледника Колка, на которые бы обратили внимание ученые и специалисты, активно работающие в области исследования движений ледников. С другой стороны, до времени трагедии было еще 10–11 лет, и процесс накопления критической массы для обрушения тела ледника еще не был сформирован. Строго говоря, учитывая, что процесс схода ледника Колка в 1969 г. был совершенно иным и в его ложе частично осталась формирующая масса, то следовало бы обратить внимание на возможность влияния на нее землетрясений в 1991–1992 гг.

Но вернемся к событиям 2002 г. Наибольшее количество землетрясений, зафиксированных локальной сетью сейсмических наблюдений Геофизического центра экспериментальной диагностики (ГФЦЭД) в 2002 г., приходится на январь (9), июнь (14), октябрь (10) и ноябрь (14), а на остальные месяцы года приходится всего 2–5 событий. Эпицентры 45 землетрясений (57%), расположенные в пределах трапеции топокарты К-38-А (куда входит территория РСО-А), находятся на расстоянии 18–232 км от места схода ледника [7]. Следует отметить, что величина регистрируемого минимального уровня воздействия, учитывая процесс затухания сейсмической энергии, фактически является уровнем триггерного включения регистраторов РСС «Альфа-Геон» станций сейсмических наблюдений локальной сети ГФЦЭД. Другими словами, сейсмические станции работают в ждущем режиме и включаются при достижении соответствующих значений амплитудно-частотной характеристики движения грунта.

В табл. 1 приведены события, зарегистрированные локальной сетью сейсмических наблюдений ГФЦЭД за сентябрьский период 2002 г. Указанные

сейсмические данные принимались Геофизической службой РАН для определения параметров землетрясений Кавказского региона.

Далее оценим интенсивность приведенных и других землетрясений, которые могли оказать заметное воздействие на исследуемый район. Сейсмический эффект землетрясения традиционно оценивается на основе использования макросейсмической интенсивности. Для получения необходимой информации были откорректированы макросейсмические данные по 43 значительным землетрясениям, происшедшим на Кавказе. При этом были выбраны данные о 37 землетрясениях и в отдельных случаях были составлены новые карты изосейст в масштабе 1:500 000. Расчет коэффициентов и среднеквадратического отклонения затухания произведен с помощью метода двухступенчатой регрессии. Этот метод позволяет разделить определение зависимости магнитуды от определения зависимости затухания колебаний грунта от расстояния. Корреляционное соотношение между интенсивностью и магнитудой для различных сейсмических событий имеет следующий вид [8]:

$$I = 1,5M_s - 3,4 \lg \sqrt{(\Delta^2 + h^2)} + 3,0; \quad (1)$$

$$I = 1,5M_s - 4,7 \lg \sqrt{(\Delta^2 + h^2)} + 4,0; \quad (2)$$

где  $M_s$  – магнитуда;  
 $\Delta$  – эпицентрального расстояние, км;  
 $h$  – глубина очага, км.

Необходимо отметить, что соотношение (1) близко к известному соотношению Н.В. Шебалина [9]. Модель затухания, соответствующая формуле (2), приведена на *рис. 1*. В то же время к оценке затухания, как и к другим статистически определяемым характеристикам землетрясения, необходимо относиться с осторожностью. В этой связи для расчета интенсивностей нами также использовалось известное соотношение, полученное ранее непосредственно для Большого Кавказа [10]:

$$I = 1,6M - 3,1 \lg \sqrt{(\Delta^2 + h^2)} + 2,5. \quad (3)$$

Приведенные в *табл. 2* данные расчетов интенсивностей были получены с помощью указанных формул. При этом результаты, полученные с помощью различных формул, в основном находились между собой в соответствии. Расчеты для умеренных землетрясений, проведенные с помощью соотношений (3) и [8], дают несколько завышенные результаты. Наиболее оптимальное соотношение (2) было получено уже после Рачинского землетрясения. Следует отметить, что для землетрясения с магнитудой  $M=3,9$  расчет с помощью формулы (1) для малых событий дал явно неверные результаты.

Таблица 1.

События, зарегистрированные сетью станций ГФЦЭД в сентябре 2002 года

№ п/п	Дата (день/ месяц/ год) Время (час/мин/сек)	Станция	Наличие в каталоге РФ	Магнитуда, М	Эпицентральное расстояние, $\Delta$ , км	Максимальная амплитуда /скорость/ UD
1	07.09.02 7:15:01	Чикола	+	4,4	135	2553
2	07.09.02 7:19:57	Владикавказ	+	4,4	75	1940
3	08.09.02 0:19:01	Чикола	+	4,4	232	450
4	17.09.02 16:21:32	Чикола	+	5	217	2007
5	17.09.02 16:22:38	Заманкул	+	5	184	3619
6	17.09.02 16:22:54	Ардон	+	5	208	1916
7	17.09.02 16:22:58	Фиагдон	+	5	168	5953
8	20.09.02 15:56:29	Владикавказ 31	-	-	35	710
10	20.09.02 15:56:29	Чикола	-	-	67	376
11	20.09.02 16:08:14	Чикола	-	-	67	1278
12	20.09.02 16:08:35	Фиагдон	-	-	18	13144
13	20.09.02 16:08:05	Владикавказ 31	-	-	35	3168
14	20.09.02 16:08:05	Владикавказ 37	-	-	35	3086
15	20.09.02 16:00:00	Заманкул	-	-	68	3088
16	22.09.02 18:02:27	Владикавказ 31	+	4,6	116	6642
17	22.09.02 18:02:18	Фиагдон	+	4,6	151	3952
18	22.09.02 18:02:18	Заманкул	+	4,6	116	6753
19	30.09.02 7:45:43	Владикавказ	+	3,9	76	856

Следует отметить, что ранее при исследованиях формирования нелинейных явлений, обусловленных воздействиями различного энергетического уровня, было установлено, что при сейсмических событиях с магнитудой, превышающей  $M=3$ , в грунтах начинают отчетливо проявляться нелинейные эффекты [11]. Таким образом, землетрясение с  $M=3,9$  не может быть отнесено к малым событиям.

Расчеты показывают (табл. 2), что интенсивность проявления Рачинского землетрясения могла составить в районе ледника Колка 5–6 баллов по сейсмической шкале MSK-64. При таких интенсивностях вполне могли иметь место деформации горных пород, смерзшихся (после зимнего сезона) с телом висячего ледника. При этом в г. Владикавказе т.н. фоновая интенсивность проявления данного землетрясения составила 4 балла [6].

При Барисахском землетрясении интенсивность проявления сейсмического воздействия в районе ледника Колка могла составить 5 баллов. Появившиеся в результате обоих сильных воздействий трещины в поверхностной части относительно выветрелых горных пород г. Джимарай-хох после явлений многократного процесса смерзания–таяния вполне могли

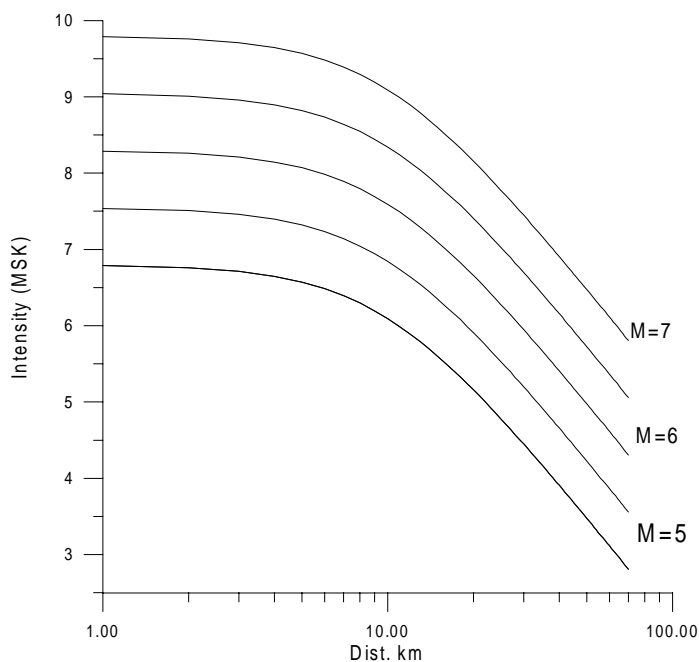


Рис.1. Модель затухания интенсивности (шкала MSK-64).

в течение 10–11 последующих лет значительно увеличиться. Несмотря на то, что землетрясения отделены большим периодом времени от рассматриваемого события (сход ледника Колка), нужно учитывать, что при «ложной» пульсации ледника в 1969 г. система «висячий ледник – ледник Колка» должна была сохранить некоторую часть своего тела.

Таблица 2.

Расчет интенсивностей проявления различных землетрясений.

Землетрясение /дата/	Магнитуда, $M$	Глубина а очага, $h$ , км.	Расстояние до ледника Колка, $\Delta$ , км.	Интенсивность расчетная	
				эпицентр, $I_0$ , балл	район ледника Колка, $I$ , балл
14.07.2002 г.	3,9	9	25	7	3-4*
22.08.200 г.	5,1	11	74	7	3-4*
17.09.2002 г.	5	1	250	-	2
29.04.1991 г. Рачинское (основной толчок)	6,9	4,4	70	9,5	6
15.06.1991 г. Рачинское (афтершок)	6,2	20	56	8	5
23.10.1992 г. Барисахское	6,5	19	52	8	6

Таким образом необходимо отметить, что сильные землетрясения (Рача–Джава, Барисахо) должны были значительно воздействовать на «прочность» системы ледника, включающей тела т.н. висячих ледников, связанных с коренными породами. Последние, по нашему мнению, могли получить такие внутренние повреждения в виде трещин, что их развитие в условиях многократных сезонных таяний и обледенения обводненных пустот, возможно, и привело к их последующим отрыву и падению.

В связи с этим необходимо отметить, что величина интенсивности, рассчитанная для июльского землетрясения с магнитудой  $M=3,9$ , составляла 3–4 балла в районе ледника Колка (реальной ситуации, очевидно, более соответствует нижний предел в 3 балла). Такой же интенсивностью характеризовалось августовское событие (табл. 2). Но такие воздействия не могли реализовать сдвиг ледово-каменного обвала такого уровня. Другими словами, более чем слабое воздействие можно связать с явлением, только когда оно будет или должно рассматриваться лишь в качестве триггера или «спускового крючка», т.е. движение ледника могло быть обусловлено лишь его критическим состоянием. Это критическое состояние определяется целым рядом явно неравнозначных факторов. Более того, указанные события не могли вызвать движение ледника через два или даже один месяц. Однако при этом могли иметь место частичные обвалы висячих ледников, являющихся естественным поставщиком материала для формирования ледника Колка.

### О ВЗАИМОСВЯЗИ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ СО СХОДОМ ЛЕДНИКА КОЛКА

Анализируя неожиданность схода ледника Колка, необходимо отметить, что цикл пульсаций ледника, определенный специальной комиссией [13] в 67 лет, следует считать ненадежным. На это обращали внимание и мы, и другие авторы [14, 15]. Так, согласно теории вероятности, минимальное число событий, для которых вообще имеет смысл использование положений статистики, должно быть не менее 9 [16]. Такое число событий (пульсаций) неизвестно или явно недостоверно в условиях Северного Кавказа. С другой стороны, если явления 1902 г. и 2002 г. по своим основным проявлениям были аналогичны, то процесс 1969 г. характеризовался другим проявлением и, на наш

взгляд, имел совершенно другую природу. Исключение из статистических расчетов катастрофы 1969 г. заметно меняет частоту их повторяемости пульсаций. При этом еще более значительной становится неопределенность, когда делаются попытки различить особенности проявления, исторических пульсаций, о которых известно еще меньше или практически ничего.

Согласно заключению Государственной комиссии по леднику Колка в 1970 г., «если к 2000 г. произойдет увеличение осадков хотя бы на 10%, следует ожидать очередной пульсации ледника Колка не через 65–70 лет, а через 55–60 лет» [4]. Норма снежного покрова в 2001–2002 гг. была заметно превышена [14]. В июне 2002 г. норма осадков была превышена, по крайней мере, на 30%. А все это при линейной корреляции укорачивает повторяемость пульсаций до 35–40 лет (т.е. ожидаемый сход должен был быть в 2004–2009 гг.). Именно стремительное леодообразование могло создать условия для ускоренного формирования критической массы ледника. Таким образом, если мы согласимся, что период повторяемости пульсаций определен достаточно обоснованно, то следует, очевидно, признать достаточно обоснованными и выводы об «аномальном укорачивании» временной цикличности пульсации.

С другой стороны, могло иметь место непосредственное воздействие какого-либо другого события на включение станций [12]. Этот вопрос будет уточняться при проведении дальнейших исследований. Важно отметить, что землетрясений такой силы, как Рачинское 1991 г., не было зафиксировано в указанном регионе в течение последней 1000 лет. Могло ли оно значительно изменить ритм «созревания» ледника? Очевидно, могло. И на это следует обратить внимание.

В то же время, совершенно нельзя исключить и возможную активизацию вулканизма, что, вероятно, и обусловило наличие горячих источников в пределах Кармадонской горной долины.

Анализ всех имеющихся фактических данных, приведенных в литературе и посвященных сходу ледника, показывает всю сложность и до определенной степени невозможность полной реконструкции процесса. Это обусловлено, с одной стороны, многофакторностью процесса, а с другой – совершенным отсутствием любого вида постоянных или длительных наблюдений, исключая сейсмические наблюдения ГФЦЭД. Следует отметить, что не призванная решать такие задачи указанная локальная