

**Ключевые слова:** ледяная лавина, снежная лавина, лёдник, риск.

**Key words:** ice avalanche, snow avalanche, glacier, risk.

**Аннотация:** на основе наблюдений и расчетов проведена оценка лавинной и ледниковой опасности рекреационного комплекса «Чегет» в Приэльбрусье. Катастрофические снежные лавины сходили на поляну в конце 1880-х, в 1910–1912, 1932, 1944, 1954, 1987 и 1996 гг., но защитные сооружения так и не были созданы. Сход ледяной лавины с ледника Когутай был отмечен в 1946 г. Современные изменения ледника и увеличение снежности зим ведут к возрастанию лавинной и ледниковой опасности, хотя ледниковая опасность пока невысока. Путем численного моделирования динамики ледяных и снежных лавин было установлено, что рекреационный комплекс находится в опасной зоне. Предложены меры по снижению лавинного и ледникового риска на Чегетской поляне.

**Abstract:** we present an assessment of snow avalanche and glacial hazard for Cheget recreation complex in Prielbrusie (Kabardino-Balkaria, Russia). Catastrophic snow avalanches impacted area in end of 1880-s, 1910–1912, 1932, 1944, 1987 and 1996 years, but protection constructions are still not created. Ice avalanche from Kogutai glacier affected area in 1946. Current glacier change and growth of solid precipitation lead to increase of snow and ice avalanche hazard, but for ice avalanche it is still low. We calculated runout distances for potential ice and snow avalanches using numerical simulation and defined, that recreation complex is in hazardous zone. Measures to mitigate risk and reduce vulnerability for study area are proposed.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты 06-05-64787, 07-05-00481, при содействии Программы поддержки ведущих научных школ РФ, проект НШ-500.2008.5 и при помощи программы Science for Peace, проект 982143, проект РФФИ 09-05-00934

**АЛЕЙНИКОВ А.А.**  
Ведущий инженер ИТЦ, «СканЭкс», канд. геогр. наук  
**ВОЛОДИЧЕВА Н.А.**

Доцент, географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, канд. геогр. наук  
**ОЛЕЙНИКОВ А.Д.**

Старший научный сотрудник,  
географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, канд. геогр. наук

**ПЕТРАКОВ Д.А.**

Старший научный сотрудник,  
географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, канд. геогр. наук

## Проблемы защиты рекреационного комплекса «Чегетская поляна» в Приэльбрусье от ледяных и снежных лавин

Рис. 1

В последние десятилетия в горных районах по всему миру, в том числе и на Кавказе, отмечается увеличение числа лавинных и ледниковых катастроф. После Кармадонской катастрофы 2002 г. внимание органов власти, специалистов МЧС и местного населения было привлечено к территориям, где возможно возникновение подобных явлений [1, 6].

### Чегетская поляна

В Приэльбрусье, у подножий хребта Чегет и горного массива Когутай, в долине реки Баксан на высоте 2040–2100 м расположен рекреационный комплекс «Чегетская поляна». Начиная с 1960-х гг. эта территория была одним из наиболее популярных горнолыжных и туристических центров Советского Союза. В 1965 г. здесь была построена канатная дорога и гостиница «Чегет», что привлекло сюда спортсменов из нашей страны и из-за рубежа.

В конце 1990-х гг. на Чегетской поляне началась массовая бесконтрольная застройка, в результате которой практически вся ее территория превратилась в стройплощадку. На сегодняшний день здесь имеется более 40 объектов туристической инфраструктуры, рынок, множество кафе, ресторанов и торговых то-

чек, строятся новые многоэтажные гостиницы (рис. 1). В зимний сезон на территории комплекса может находиться до 1,5–2 тысяч человек [1, 6].

Рекреационный комплекс «Чегетская поляна» дает более четверти налоговых поступлений от туризма в бюджет Эльбрусского района [1]. Бесконтрольное строительство и вырубка леса продолжают, несмотря на то что застройка в ряде случаев признана незаконной [3], а практически вся территория находится в лавиноопасной зоне.

### Исходные данные и методы исследований

Для оценки лавинной и ледниковой опасности на Чегетской поляне были использованы литературные и опросные данные, материалы зимних снежолавинных наблюдений, летних дендрохронологических измерений, дешифрирования аэрофотоснимков разных лет (1957, 1965, 1979, 1983 гг.), анализ лесотаксационных карт и фотоматериалы за 1884, 1932, 1984, 1987–2007 гг. Для получения общей картины снежности и лавинной активности на Центральном Кавказе была восстановлена хронология лавинных событий в XX веке [4].

С 1965 г. в Приэльбрусье проводятся наблюдения за лавинами на Эльбрус-

ской учебно-научной базе географического факультета МГУ (при участии авторов статьи) [3, 10]. В зоне возможного воздействия лавин были проведены дендрохронологические измерения. Также было произведено дешифрирование космического снимка IRS-P5 Cartosat от 12 сентября 2007 г. с разрешением 2,2 м/пикс. На этот снимок были «наложены» топографические карты 1887, 1965 и 1987 гг., фотографии 1932 г. и аэрофотоснимок 1957 г. В результате была создана географическая информационная система (ГИС), состоящая из серии карт и снимков, и получена цифровая модель рельефа изучаемой территории, которая была использована для построения ортофотоплана на основе космического снимка и аэрофотоснимка 1957 г. Привязка проводилась в программе Scanex Image Processor со средней ошибкой 2,5 м. Дальнейшие измерения были произведены в программе ArcView GIS 3.2a.

### Лавинная опасность на Чегетской поляне

Лавинная опасность в горах определяется характером рельефа и снежностью территории. Анализ снежолавинных данных за 1965–2008 гг. и материалов метеорологических наблюде-



Рис. 2.1

ний за период 1932–2000 гг. позволил выявить особенно снежные зимы на северном склоне Центрального Кавказа, которые характеризовались повышенной лавинной опасностью и были отмечены сходом катастрофических лавин: 1911/1912, 1931/1932, 1933/1934, 1941/1942, 1944/1945, 1953/1954, 1955/1956, 1967/1968, 1969/1970, 1973/1974, 1975/1976, 1978/1979, 1986/1987, 1992/1993, 1996/1997, 2004/2005 гг. [4]. По дендрохронологическим, литературным и опросным данным, со склонов горы Когутай снежные лавины особо крупных размеров сошли в 1880-е гг., в 1910–1912, 1932, 1944, 1946, 1954 гг. [3].

Сравнение фотографий 1884 г. (М. Деши) и 1932 г. (Е.Н. Лукашевой) показало, что уже в конце XIX века на Когутайском склоне лавинами были уничтожены сосновые леса (рис. 2.1, 2.2). На фотографии 1932 г. видно, что в самой крутой (левой) части ледника Когутай произошел отрыв большого блока льда, который, вероятно, в виде снежно-ледовой лавины обрушился на Чегетскую поляну. Ледовый обвал 1946 г., также достигший Чегетской поляны [8], вероятно, был перекрыт лавиной 1954 г.

В результате дешифрирования аэрофотоснимков 1957 г. (рис. 3) и повторных дендрохронологических измерений, проведенных в 2003 и 2008 гг., были установлены границы воздействия лавин 1954 и 1946 гг. Они расположены достаточно близко друг к другу, но различаются по сомкнутости крон, высоте и возрасту сосен. На периферии этой генерации леса выделяется еще одна граница — с возрастом деревьев около 80 лет, что соответствует зимам 1910–1912 гг., которые отличались высокой снежностью и массовым сходом лавин (рис. 4). Эти

границы упираются в лесной массив возрастом 200–205 лет, который расположен к востоку от Чегетской поляны и не подвергался воздействию лавин в последние столетия.

Под многократным воздействием снежных и ледовых лавин сосновые леса на Когутайском склоне и на дне долины были уничтожены, в результате чего и возникла сама Чегетская поляна, которая хорошо видна на аэрофотоснимке 1957 г., то есть задолго до начала ее освоения (см. рис. 3).

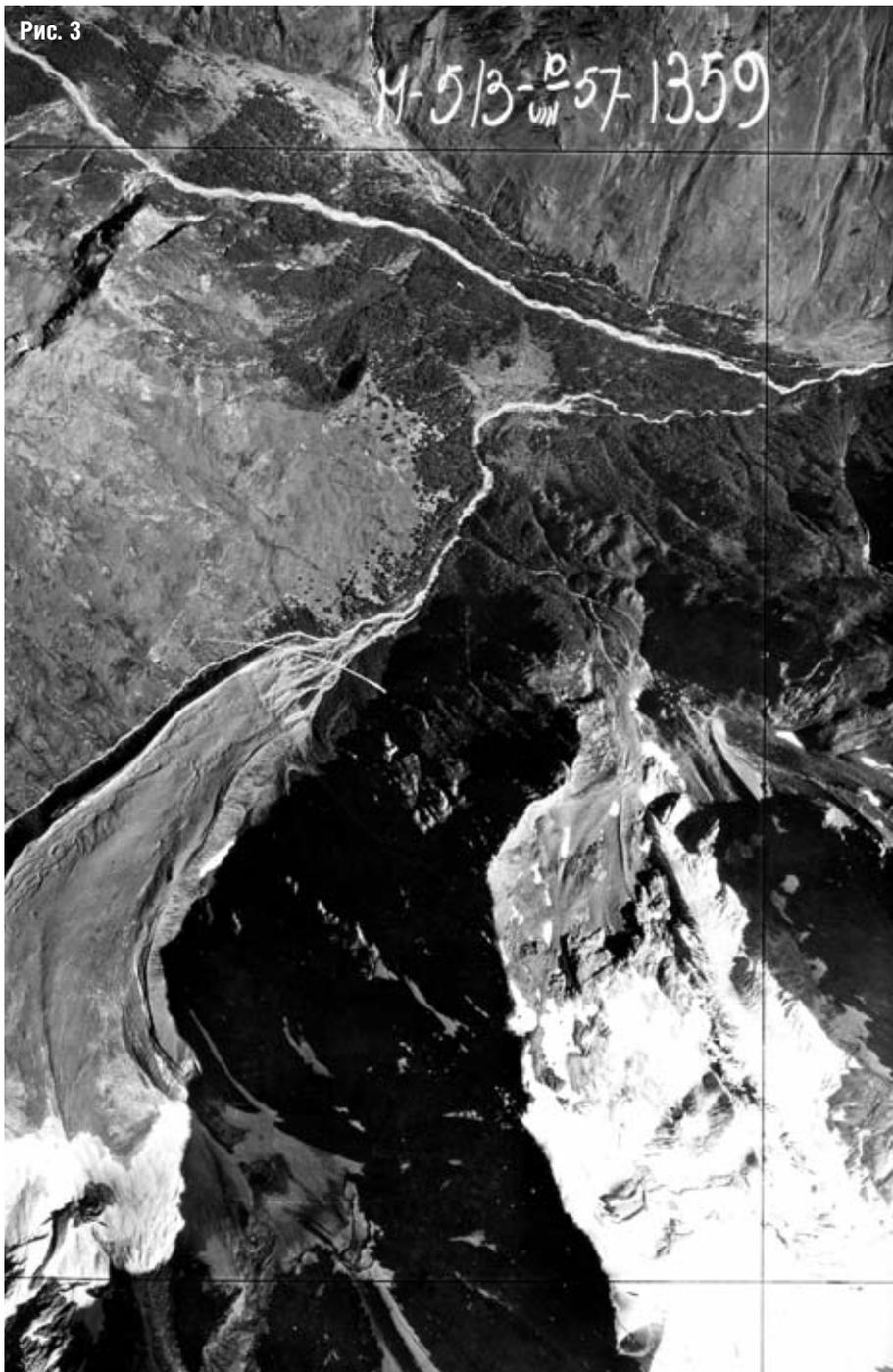
9 января 1987 г. после продолжительного снегопада на Чегетскую поляну сошла катастрофическая лавина. Сразу после этого были определены

параметры лавины — границы дальности выброса, толщина снега на линии отрыва (в среднем 2,9 м) и в лавинных отложениях на поляне (3,4 м). Также была проведена фототеодолитная съемка, что позволило создать карту лавины в масштабе 1:10 000. Площадь лавинных отложений составила 200 тыс. м<sup>2</sup>, объем лавины — 680 тыс. м<sup>3</sup>. Лавина перекрыла всю Чегетскую поляну, достигла гостиничного комплекса «Чегет», разрушила хозяйственные постройки, выдавила стекла в здании ресторана. Следы воздействия снеговоздушной волны были обнаружены даже на верхних этажах гостиницы. В лавине погиб один человек — сторож [3].



Рис. 2.2

Рис. 3



Лавиносбор Когутайской лавины имеет сложное двухкамерное строение: левая камера расположена на крутом склоне, правая — на поверхности висячего ледника. Лавина 1987 г. сошла с крутой поверхности склонового ледника, расположенного в левой камере. При условии возникновения лавины одновременно и из правой, и из левой камер она может достигнуть максимальных размеров и приобрести катастрофический характер.

Полученные данные и произведенные расчеты показали, что параметры некоторых лавин, сошедших в конце XIX и в первой половине XX века, превышали размеры лавины 1987 г. Следы лавинного воздействия четко зафиксированы в разных возрастных генерациях соснового леса, растущего на Чегетской поляне (см. рис. 4). При этом лавины

1932, 1946 и 1954 гг. имели близкие значения дальности выброса (2085 м), площади (290 м<sup>2</sup>) и объема лавинных отложений (0,9–1,0 млн м<sup>3</sup>). Максимальные значения расчетных параметров для лавин Когутайского склона показали, что дальность выброса может быть еще на 50–70 м больше, а объем лавин может достигать 1,1–1,3 млн м<sup>3</sup> [3].

Зимой 1996/1997 г. вновь возникла угроза схода крупной лавины на Чегетскую поляну. В результате интенсивного снегопада, продолжавшегося с 22 по 29 декабря 1996 г., Приэльбрусье было блокировано многочисленными снежными лавинами. 30 декабря примерно в 14 часов огромное снежное облако высотой более 200 м обошло, по счастливой случайности, Чегетскую поляну стороной, затронув только ее восточную часть. Перекрыв всю долину, ла-

винное облако достигло Иткола, но, к счастью, не произвело там серьезных разрушений (рис. 5). Это событие вызвало панику среди многочисленных туристов, приехавших в Приэльбрусье на встречу Нового года. Вероятно, лавины 1910–1912 гг. и 1946 г. имели ту же самую траекторию движения.

Опасность схода особо крупных снежных лавин на территорию Чегетской поляны сохраняется, если не возрастает, и в современных условиях изменяющегося климата и увеличения снежности зим. Приходится признать, что все рекреационные объекты, построенные на Чегетской поляне за последние 10–15 лет, находятся в зоне лавинной опасности.

### Ледниковая опасность на Чегетской поляне

Под ледниковой опасностью обычно подразумевается вероятность поражения территории всеми опасными процессами ледникового происхождения. То, что Чегетской поляне угрожает опасность схода ледяной лавины с ледника Когутай, ставится под сомнение некоторыми специалистами [6], однако исключить этого нельзя, тем более что факты ледовых обвалов известны и подтверждены в ходе исследований [8]. Небольшие по объему ледяные обвалы в нижней части ледника происходят ежегодно, но они не достигают поляны.

Когутай является каровым ледником с висячим языком. Он расположен на северном склоне одноименной горы высотой 3820 м. Правая камера лавиносбора, откуда чаще всего на Чегетскую поляну сходят особо крупные снежные лавины, находится в области питания именно этого ледника. Ледник имеет ступенчатый профиль, область его питания расположена в большом каре северной экспозиции, откуда вытекают два языка, разделенные скалистым гребнем (рис. 6). Правый язык заканчивается на высоте около 3200 м, имеет слабо наклонную поверхность и не представляет опасности на современном этапе. Левый (основной) язык оканчивается на крутом скальном ригеле на высоте 2850 м и, возможно, представляет опасность схода ледяной лавины.

Как и другие ледники Кавказа, Когутай отступает: в 1887 г. его площадь составляла 2,60 км<sup>2</sup>, в 1957 г. — 2,48 км<sup>2</sup>, а в 2007 г. — уже только 1,94 км<sup>2</sup> (рис. 7). Эти данные уточняют сведения Каталога ледников СССР [7], которые были существенно занижены. В 1887–1957 гг. сокращение площади ледника происходило преимущественно за счет отступления его левой ветви, расположенной на крутом склоне, а в 1957–2007 гг. — за счет быстрой деградации висячего языка, потерявшего подпитку слева. Если с 1887 по 1957 г. язык отступил на 150 м, то за последние

50 лет — на 420 м. Темп отступления фронта ледника увеличился в четыре раза: с 2 до 8 м/год.

Отступление языка ледника Когутай за последние 120 лет привело к увеличению угла наклона зоны транзита потенциальной ледяной лавины (от фронта ледника до гостиницы «Чегет») на  $6^\circ$ . В настоящее время язык ледника лежит на ригеле крутизной  $37^\circ$ . Кстати, в схожей ситуации в середине XX века оказалась левая часть ледника. В результате ее быстрого отступления фронт ледника оказался на крутом склоне, что, вероятно, стало одной из причин формирования ледяной лавины 1946 г. [8].

Для оценки ледниковой опасности на Чегетской поляне были использованы преимущественно эмпирические методы и одномерное гидродинамическое моделирование [11, 12, 13]. По эмпирическим данным, критический угол, необходимый для зарождения ледяной лавины, составляет  $25^\circ$  на теплых и  $45^\circ$  на холодных ледниках [11]. Ледник Когутай относится к ледникам теплого типа. Обильное таяние или жидкие осадки могут способствовать снижению трения на ложе ледника и соответственно уменьшению критического угла. Угол наклона в зоне зарождения потенциальной ледяной лавины составляет  $37^\circ$ , протяженность этого участка равна 350 м, поэтому нельзя отрицать возможность формирования здесь крупной ледяной лавины. Косвенно это подтверждается множеством небольших ледяных лавин, которые обычно останавливаются в 300–500 м ниже фронта ледника на участке крутизной  $15\text{--}19^\circ$ .

Одним из индикаторов вероятного формирования ледяной лавины является образование в 2007 г. поперечной трещины, отсекающей нижнюю часть висячего ледника, что может свидетельствовать о нарастании напряженности [15]. В 2006 г. широких поперечных трещин на языке ледника Когутай не наблюдалось. Объем возможной ледяной лавины был определен как объем льда, лежащего ниже трещины. Площадь и толщина ледника ниже трещины были рассчитаны по космическому снимку IRS. С учетом угла наклона поверхности объем льда ниже трещины составляет около  $0,350$  млн  $\text{м}^3$ .

Для предварительной оценки максимальной дальности выброса ледяных лавин обычно используют средний угол наклона зоны транзита [14]. (Например, в Альпах не отмечалось ледяных лавин с углом наклона зоны транзита менее  $17^\circ$  [11].) В большинстве случаев использование такого подхода приводит к завышению дальности выброса ледяных лавин, поэтому применение динамических моделей для определения опасных зон выглядит предпочтительнее. Ледяные лавины обычно моделируются теми же способами, что и сухие снежные лавины [13].

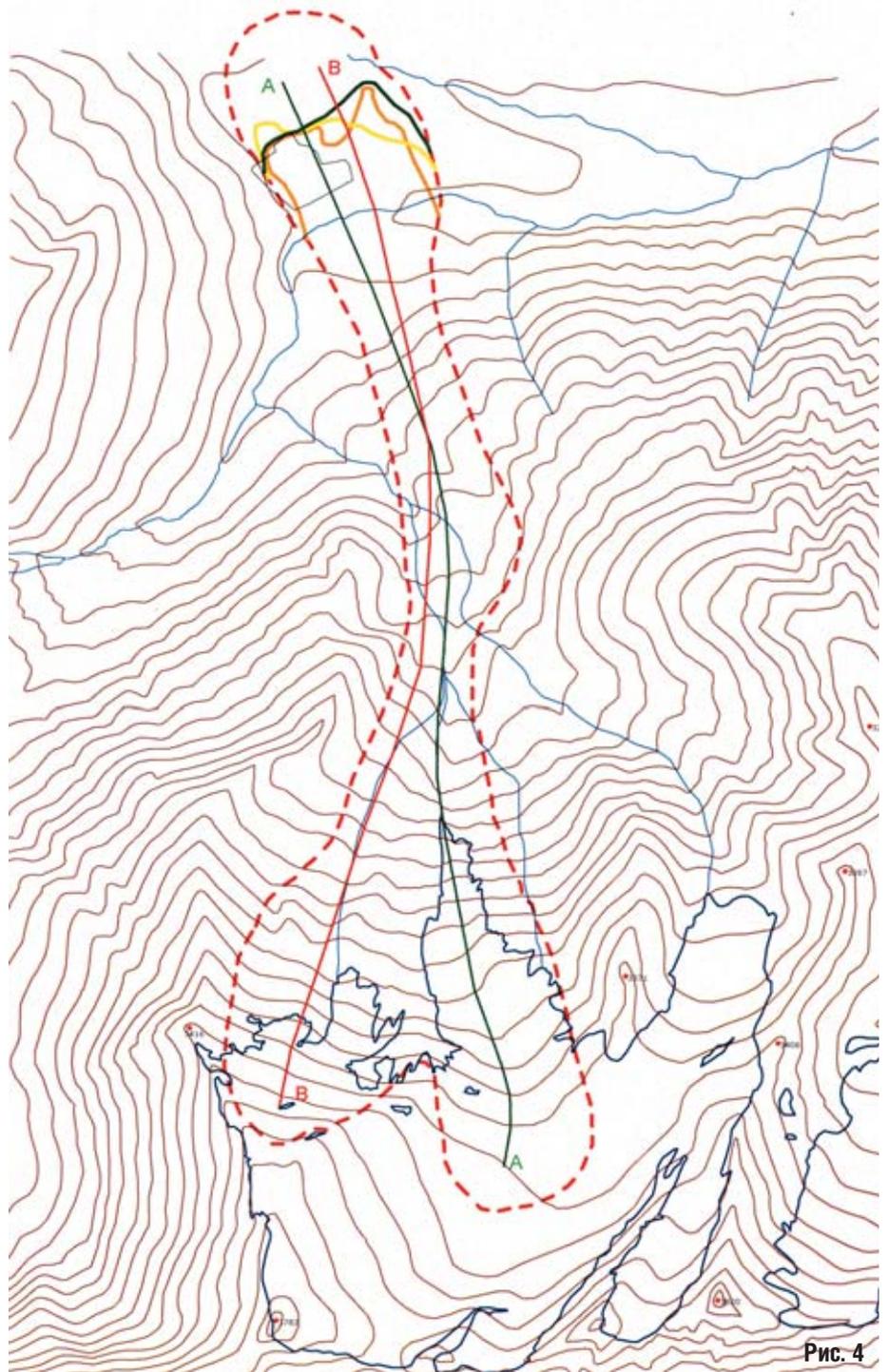


Рис. 4



Рис. 5

Рис. 6

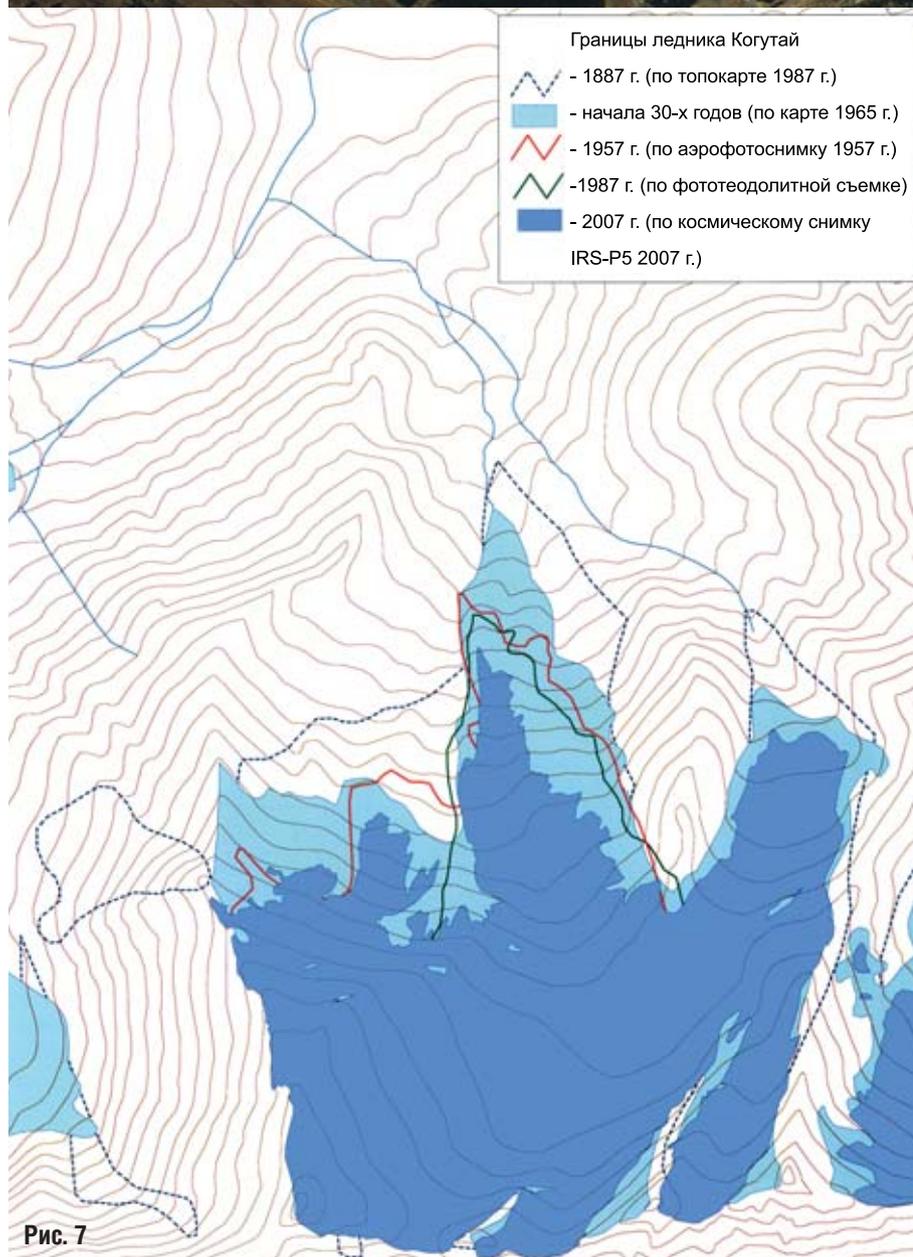


Рис. 7

Для оценки скорости и дальности выброса потенциальной ледяной лавины с ледника Когутай использовалась упрощенная одномерная модель гидравлического типа [2, 9]. Расчет производился поэтапно для зоны транзита и для конуса выноса лавины. Начальная толщина лавины была принята равной половине толщины ледника в соответствии с рекомендациями [13], что в данном случае составляет 10 м. Коэффициенты кинетического ( $\mu$ ) и турбулентного ( $\zeta$ ) трения приняты равными 0,2 и  $750 \text{ м/с}^3$  соответственно. Средняя крутизна ледниковой поверхности от геометрического центра потенциальной ледяной лавины до фронта ледника равна  $37^\circ$  (при максимуме  $45^\circ$ ), а средняя крутизна склона до вершины конуса выноса —  $24^\circ$  (рис. 8.1). Рассчитанная на основании этих исходных параметров скорость лавины при выходе на конус выноса составляет  $54 \text{ м/с}$  (рис. 8.2). Отложения ледяной лавины имеют плотность примерно вдвое меньшую, чем плотность ледникового льда [13], поэтому максимальный возможный объем Когутайской ледяной лавины на конусе выноса в результате разуплотнения может достигнуть  $0,7 \text{ млн м}^3$ . При таком объеме дальность выброса ледяной лавины от верхней точки конуса выноса (на высоте  $2140 \text{ м}$ ) может достигать  $560 \text{ м}$ . Лавина перейдет через реку Донгузорун, разрушит ряд строений,

находящихся на Чегетской поляне, и остановится в 150–200 м от гостиницы «Чегет». Расчет, произведенный по другим сценариям, приводит к дальности выброса, меньшей на 50–100 м.

Для калибровки применяемой модели была сделана попытка рассчитать дальность выброса ледяной лавины 1946 г., используя те же исходные параметры. Вероятно, эта лавина сошла при срыве больших масс льда с орographically левой части ледника, а не с его языка. Максимальная дальность выброса от вершины конуса выноса для этой лавины составила около 600 м при толщине лавинных отложений 10 м. Это значение хорошо совпало с реальной геоботанической границей, установленной на Чегетской поляне (в 570 м от вершины конуса выноса).

Таким образом, значительная часть Чегетской поляны может оказаться в зоне прямого воздействия ледяной лавины. Надо сказать, что при расчете еще не учитывалось возможное формирование снеговоздушного потока при сходе ледяной лавины, который, очевидно, накроет большую площадь.

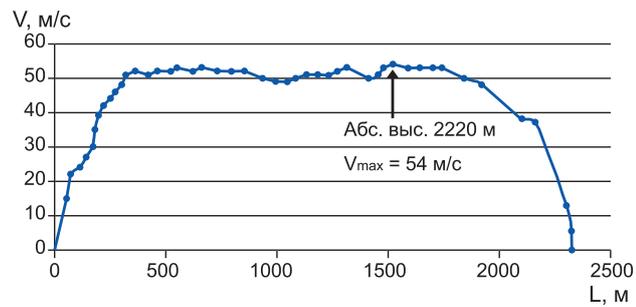
### Выводы и рекомендации

В ходе проведенных исследований было установлено, что вся территория Чегетской поляны находится в зоне лавинной опасности и прямого воздействия возможной ледяной лавины. Дальность выброса потенциальной ледяной лавины будет возрастать по мере отступления языка ледника Когутай вверх по крутому склону.

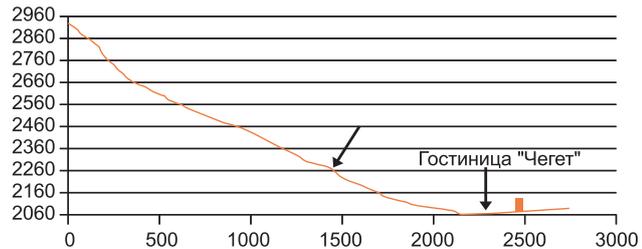
Защитные сооружения на Чегетской поляне отсутствуют, а профилактический обстрел Когутайского склона, бывший ранее единственной мерой борьбы с лавинной опасностью на этой территории, в настоящее время не проводится. По мнению сотрудников МЧС, обстрел может спровоцировать сход гигантской ледяной лавины с Когутайского ледника. Авторы считают, что обстрел лавиноопасного участка для профилактического спуска снежной лавины не повлечет за собой схода ледяной лавины. Между тем отсутствие профилактических мероприятий увеличивает вероятность схода снежной лавины, которая может привести к многочисленным жертвам и разрушениям.

В сложившейся ситуации необходимо проведение комплекса мероприятий, направленных на обеспечение безопасности местных жителей и отдыхающих и защиту рекреационного комплекса от стихийно-разрушительных процессов нивально-гляциального генезиса. Такие мероприятия должны включать административно-организационные, профилактические и инженерные меры. Необходимо прекратить дальнейшее строительство на Чегетской поляне. Местные жители и отдыхающие должны быть проинформированы о

Рис. 8



Скорость движения лавины по продольному профилю при моделировании обвала Когутайского ледника: V — скорость (м/с), L — горизонтальное положение (м)



Продольный профиль склона на участке предполагаемого ледового обвала концевой области ледника Когутай

возможной угрозе и четко знать, что следует делать в опасной ситуации. В ближайшее время необходимо провести проектирование и строительство противолавинных сооружений для защиты Чегетской поляны.

Возможно, следует возобновить обстрел лавиноопасного участка для про-

филактического спуска снежных лавин. Выполнение этих мероприятий поможет избежать катастрофических последствий при сходе особо крупных снежных и ледяных лавин и будет способствовать рациональному и безопасному использованию рекреационного потенциала Чегетской поляны.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атакуев Ж.К. Районирование лавиноопасных территорий республик Северного Кавказа на основе усовершенствованной методики оценки эффективности противолавинных мероприятий: Автореф. дисс. ... канд. геол. наук. Нальчик, 2007. 22 с.
2. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 280 с.
3. Володичева Н.А., Золотарев Е.А., Ефремов И.Ю., Миронова Е.М., Олейников А.Д. Применение численного моделирования для описания движения снежных лавин. М.: МГИ, 1990. Вып. 69. С. 19–24.
4. Володичева Н.А., Олейников А.Д. Зимы повышенной лавинной опасности на Большом Кавказе // В сб.: Снежный покров в горах и лавины. М.: Наука, 1987. С. 118–126.
5. Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. Л.: ГИМИЗ, 1984. 527 с.
6. Гусейнов О. По типу Колки произойти не может // Газета Юга. 2006. 9 февр. № 6 (623). Нальчик, 2006. 10 с.
7. Каталог ледников СССР. Т. 8: Северный Кавказ. Ч. 5: Бассейны рек Малки, Баксана. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 146 с.
8. Оледенение Эльбруса / Под ред. проф. Г.К. Тушинского. М.: Изд-во МГУ, 1968. 345 с.
9. Снег: Справочник / Под ред. Д.М. Грей, Д.Х. Мэйл. Л.: ГИМИЗ, 1986. 751 с.
10. Урумбаев Н.А. Основные черты лавинного режима Приэльбрусья // В сб.: Лавины Приэльбрусья / Под ред. Е.С. Трошкиной. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 24–40.
11. Alean, J. Ice avalanches: some empirical information about their formation and reach // Journal of Glaciology. 1985. Vol. 31. No.109. P. 324–333.
12. Huggel C., Haeblerli W., Kaab A., Bieri D., Richardson S. Assessment procedures for glacial hazards in the Swiss Alps // Canadian Geotechnical Journal. 2004. Vol. 41 (6). P. 1068–1083.
13. Margreth S., Funk M. Hazard mapping for ice and combined snow/ice avalanches — two case studies from the Swiss and Italian Alps // Cold Regions Science and Technology. 1999. Vol. 30. P. 159–173.

1/2009

ISSN 1997-8669

март

# ГеоРиск

