УДК 551.322+551.324.6

Ледниковая и лавинная опасности рекреационного комплекса «Чегетская поляна» в Приэльбрусье

© 2011 г. А.А. Алейников[1], Н.А. Володичева[2], А.Д. Олейников[2], Д.А. Петраков[2]

[1]Инженерно-технологический центр «СканЭкс»;

[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

dpetrakov@gmail.com

Статья принята к печати 8 июня 2010 г.

Дальность выброса лавины, ледяная лавина, отступание ледника, снежная лавина.
Avalanche runout distance, glacier retreat, ice avalanche, snow avalanche.

На основе анализа метеорологических данных за 1932–2007 гг. и наблюдений, проводимых на Эльбрусской учебно-научной базе географического факультета МГУ с 1957 г., восстановлена хронология схода лавин на Чегетскую поляну в конце XIX–XX вв. Для обоснования выводов проанализированы топокарты 1887, 1957 и 1987 гг., дешифрированы аэрофотоснимки 1957, 1965, 1979, 1983 гг. и космический снимок IRS-P5 Cartosat 2007 г., проведены дендрохронологические измерения, собраны наземные фотоснимки, литературные материалы и данные опросов. Построена цифровая модель рельефа изучаемой территории и создана ГИС, состоящая из серии карт и снимков. Крупные снежные и ледяные лавины сходили на Чегетскую поляну в конце 1880-х годов, в 1910–1912, 1932, 1944, 1946, 1954, 1987 и 1996 гг. Рост снежности зим, наряду с продолжающимся отступанием ледника Когутай, способствует росту лавинной и гляциальной опасности на этой территории. В зоне лавинной опасности находится вся Чегетская поляна; в зоне гляциальной опасности – автостоянка, рынок и все новые здания, построенные на данном участке в последние годы. Предложены меры по снижению лавинного и гляциального риска на Чегетской поляне.

Введение

Актуальность исследований, выполненных авторами в Приэльбрусье, определена ростом числа лавинных и ледниковых катастроф, происходящих в последние десятилетия в разных горных странах и в том числе на Кавказе. После Кармадонской катастрофы 2002 г. внимание административных органов, специалистов МЧС и местного населения было привлечено к территориям, где по внешним признакам возможно формирование подобных явлений [1, 6].

Именно в таком районе, у подножий хр. Чегет и горного массива Когутай, близ слияния рек Азау и Донгузорун, на высоте 2040–2100 м находится рекреационный комплекс «Чегетская поляна». В 1965 г. здесь были построены канатная дороги и туристическая гостиница «Чегет», что привлекло горнолыжников, спортсменов и отдыхающих со всей страны. На север с Чегетской поляны открывается прекрасный вид на ледник Терскол и Восточную вершину Эльбруса, на юг – на снежно-ледовую шапку Донгузоруна, островершинные пики Большого и Малого Когутая, на одноимённый ледник, склоны и вершины хр. Чегет. С 1960-х годов эта территория стала одним из наиболее популярных рекреационных центров СССР. В конце 1990-х годов на Чегетской поляне началась массовая бесконтрольная застройка, в результате которой практически на всей её территория были возведены 2–4-этажные здания гостиниц и торговых комплексов. Сегодня на этом участке функционирует более 40 объектов туристской инфраструктуры и строятся новые многоэтажные гостиницы. В пик сезона здесь может находиться 1,5–2 тыс. человек, в обычные дни – до 500 [1, 6]. Рекреационный комплекс «Чегетская поляна» даёт более четверти налоговых поступлений от туризма в бюджет Эльбрусского района [1]. Бесконтрольное «самовольное» строительство и рубка леса продолжаются, несмотря на то, что постройки признаны незаконными [3], а практически вся застроенная территория находится в зоне действия ледяных и снежных лавин. На пойму р. Донгузорун и прилегающие к ней участки новой застройки определённое влияние оказывают гляциальные сели и паводки.

Цель работы – оценить ледниковую и лавинную опасности Чегетской поляны в условиях интенсивного рекреационного освоения Приэльбрусья. Мы собрали и проанализированы данные о сходе снежных лавин на поляну, определили изменения ледника Когутай с 1887 по 2007 г., оценили степень риска. Мы попытались также ответить на вопрос, какая из угроз – лавинная или ледниковая – более реальна, и предложить меры по снижению опасности для людей и строений на Чегетской поляне.

Исходные данные и методы исследований

Для оценки лавинной и ледниковой опасности Чегетской поляны использован большой объём самых разных материалов. Это – данные зимних снеголавинных наблюдений, летних дендрохронологических изме-

Рис. 1. Склон горы Когутай в XIX–XXI вв.:
а – фото М. Деши, 1884 г.; *б* – фото Е.Н. Лукашевой, 1932 г.; *в* – фото А.Д. Олейникова, 2006 г.
Fig. 1. Northern slope of Mt. Kogutaibashi in XIX–XXI centuries:
а – photo by M. Deshi, 1884; *б* – photo by E.N. Lukashova, 1932; *в* – photo by A.D. Oleinikov, 2006

рений, дешифрирования аэрофотоснимков разных лет (1957, 1965, 1979, 1983 гг.), анализа лесотаксационных карт, фотоматериалов за 1884, 1932, 1984, 1987 гг. Использовались также литературные и опросные данные. С 1965 г. сотрудниками Эльбрусской учебно-научной базы географического факультета МГУ при участии авторов ведутся детальные снеголавинные наблюдения от поляны Азау до Чегетской поляны [3, 10]. Для получения общей картины снежности и лавинной активности на Центральном Кавказе по метеорологическим данным за период инструментальных наблюдений [4] восстановлена хронология лавинных событий в XX в. В зоне воздействия лавин выполнены дендрохронологические измерения и дешифрирование космического снимка IRS-P5 Cartosat от 12 сентября 2007 г. (с разрешением 2,2 м/пикс). На этот снимок мы наложили карты 1887 и 1965 г. (последняя составлена по материалам съёмки 1957 г.), план 1987 г., фотографии 1932 г. и аэрофотоснимок 1957 г. В результате создана ГИС, состоящая из серии карт и снимков, и получена цифровая модель рельефа изучаемой территории. Модель рельефа использована для ортотрансформирования космического и аэрофотоснимка 1957 г. Привязка проводилась в программе Scanex Image Processor со средней ошибкой 2,5 м. Дальнейшие измерения велись в программе ArcView GIS 3.2a.

Лавинная опасность Чегетской поляны. Снежные и ледяные лавины формируются на склонах островершинных пиков Большой и Малый Когутай (высота до 3820 м) и не только достигают подножий склона, но и выходят на Чегетскую поляну, что подтвердилось при освоении этой территории [3].

Лавинная опасность в горах определяется характером рельефа и снежностью территории. Анализ снеголавинных данных за 1965–2008 гг. и материалов метеорологических наблюдений за 1932–2000 гг. позволил установить особенно многоснежные зимы на северном склоне Центрального Кавказа, которые отличались повышенной лавинной опасностью и сходом катастрофических лавин. Это зимы 1911/12, 1931/32, 1933/34, 1941/42, 1944/45, 1953/54, 1955/56, 1967/68, 1969/70, 1973/74, 1975/76, 1978/79, 1986/87, 1992/93, 1996/97, 2004–2006 гг. [4]. Со склонов горы Когутай по дендрохронологическим, литературным и опросным данным особо крупные снежные лавины сходили в 1880-е годы, 1910–1912, 1932, 1944, 1946, 1954 гг. [3].

Сравнение фотографий, сделанных М. Деши в 1884 г. и Е.Н. Лукашевой в 1932 г., показало, что уже в конце XIX в. на Когутайском склоне лавинами были уничтожены сосновые леса (рис. 1). На фотографии 1884 г. видно, что на Когутайском склоне и даже в его нижней части вся поверхность занята берёзовым лесом, который растёт в зоне лавинного воздействия (см. рис. 1, *а*). На фотографии 1932 г. (см. рис. 1, *б*) видно, что в самой крутой, левой части ледника Когутай произошёл отрыв большого блока льда, который, вероятно, в виде снежной лавины обрушился на Чегетскую поляну. Следы ледяной лавины 1946 г., также достигшей

Чегетской поляны [8], были частично перекрыты снежной лавиной 1954 г.

В результате дешифрирования аэрофотосников 1957 г. и повторных дендрохронологических измерений 2003 и 2008 гг. установлены границы воздействия лавин для 1946 и 1954 гг. Они расположены достаточно близко друг от друга, но различаются по сомкнутости крон, высоте и возрасту сосен. На периферии этой генерации леса выделяется ещё одна граница с возрастом деревьев около 100 лет, что может соответствовать зимам 1910–1912 гг., которые отличались высокой снежностью и массовым сходом лавин. Эти границы упираются в лесной массив с возрастом деревьев 200–205 лет, который лежит к востоку от Чегетской поляны и не подвергался воздействию лавин в последние столетия.

В результате многократного воздействия снежных и ледяных лавин сосновые леса на Когутайском склоне и на дне долины были уничтожены, после чего и возникла сама Чегетская поляна, которая хорошо выделяется на аэрофотоснимке 1957 г., сделанном задолго до начала её освоения. Кроме того, Когутайский склон имеет ступенчатый профиль, поэтому снежные лавины приобретают здесь прыгающий характер, что усиливает их разрушительное воздействие на лес. Зоны частого лавинного воздействия лишены древесной растительности. Примерами служат почти горизонтальные поверхности под языком ледника на высоте 2400–2500 м и на конусе выноса на высоте 2150–2100 м (см. рис. 1, *в*). Здесь всегда лежат лавинные снежники, в которых можно увидеть ледяные глыбы, оторвавшиеся от края ледника. Склоны в зоне действия лавин покрыты зарослями берёзового криволесья со свежими повалами стволов и сломанных веток, вынесенными лавинами с обломками скальных пород.

Исследованная нами лавина 1987 г. сошла 9 января, в конце интенсивного снегопада, продолжающегося с 21 декабря 1986 г. три недели. Сразу после схода лавины уточнены границы дальности её выброса, толщина снега на линии отрыва (средняя 2,9 м) и в лавинных отложениях на конусе выноса (3,4 м), отмечены возникшие разрушения, выполнена фототеодолитная съёмка. На основании полученных материалов составлена карта лавиносбора в масштабе 1:10 000. Площадь лавинных отложений была равна 200 тыс. м^2, объём – 680 тыс. м^3. Напомним, что лавина перекрыла всю Чегетскую поляну, достигла гостиничного комплекса «Чегет» (рис. 2), разрушила хозяйственные строения, выдавила стёкла в здании ресторана, а действие снеговоздушной волны было обнаружено и на верхних этажах гостиницы [3].

Лавиносбор Когутайской лавины имеет сложное двухкамерное строение. Лавина 1987 г. сошла с крутого склонового ледника, расположенного в левой части лавиносбора. При условии формирования лавины со всей поверхности лавиносбора, одновременно из правой и левой камер, она может достигнуть максимальных размеров и иметь катастрофический характер. Полученные данные и выполненные расчёты показали, что параметры лавин, которые сходили в конце XIX и в первой половине XX в., превышали параметры лавины 1987 г. Следы лавинного воздействия чётко фиксируются в разных возрастных генерациях соснового леса, растущего на Чегетской поляне (см. рис. 2). При этом лавины 1932, 1946, 1954 гг. имели близкие значения дальности выброса (2085 м), площади (290 тыс. м^2) и объёма лавинных отложений (900–1000 тыс. м^3). Максимальные расчётные параметры лавин, которые могут формироваться на склонах Когутайского ледника, превышают границы этих лавин на 50–70 м, а объём лавин может достигнуть 1,1–1,3 млн м^3 [3].

В конце 1996 г. в результате интенсивного снегопада, продолжавшегося с 22 по 29 декабря, Приэльбрусье было буквально блокировано многочисленными снежными лавинами. Над Чегетской поляной нависли снежные массы, готовые обрушиться на многочисленных отдыхающих, приехавших на празднование Нового года. 30 декабря около 14 ч мы увидели, как огромное снежное облако стремительно надвигается на Чегетскую поляну. Однако, изменив траекторию движения, лавина прошла не по центру поляны, а в её восточной части. Перекрыв всю долину, лавинное облако достигло Иткола, не причинив серьёзных разрушений. Вероятно, именно такую траекторию движения имели лавины 1910 и 1946 гг.

В условиях изменяющегося климата и увеличения снежности зим сохраняется опасность схода особо крупных снежных лавин на территорию Чегетской поляны, интенсивное освоение которой продолжается и в настоящее время. Следует признать, что все современные рекреационные объекты, построенные здесь за последние 10 лет, находятся в зоне высокой лавинной опасности.

Ледниковая опасность Чегетской поляны. Понятие «ледниковая опасность» обычно включает в себя вероятность поражения территории всеми опасными процессами гляциального генезиса. В случае Чегетской поляны ледниковая опасность связана с возможным сходом ледяной лавины с ледника горы Когутай. Некоторые специалисты [6] ставят это под сомнение, однако полностью исключить её нельзя, тем более что факты ледовых обвалов известны и подтверждены в ходе исследований [8]. По утверждению Г.К. Тушинского, для Чегетской поляны огромную опасность «представляет ледник Когутай, лежащий на крутом склоне под вершинами Когутайбаши. Левая часть языка ледника, обвалившаяся в сентябре 1946 г., создала большую ледяную лавину, уничтожившую сосновый лес между реками Азау и Донгузорун. Вполне возможно повторение таких обвалов» [8]. Небольшие по объёму ледяные обвалы от нижней части Когутайского ледника происходят ежегодно, но они не достигают поляны.

Под термином «ледяная лавина» понимают срыв масс фирна и льда с ледника в результате его движения по крутому склону [5]. Ледяные лавины – один из типичных процессов расхода вещества с висячих лед-

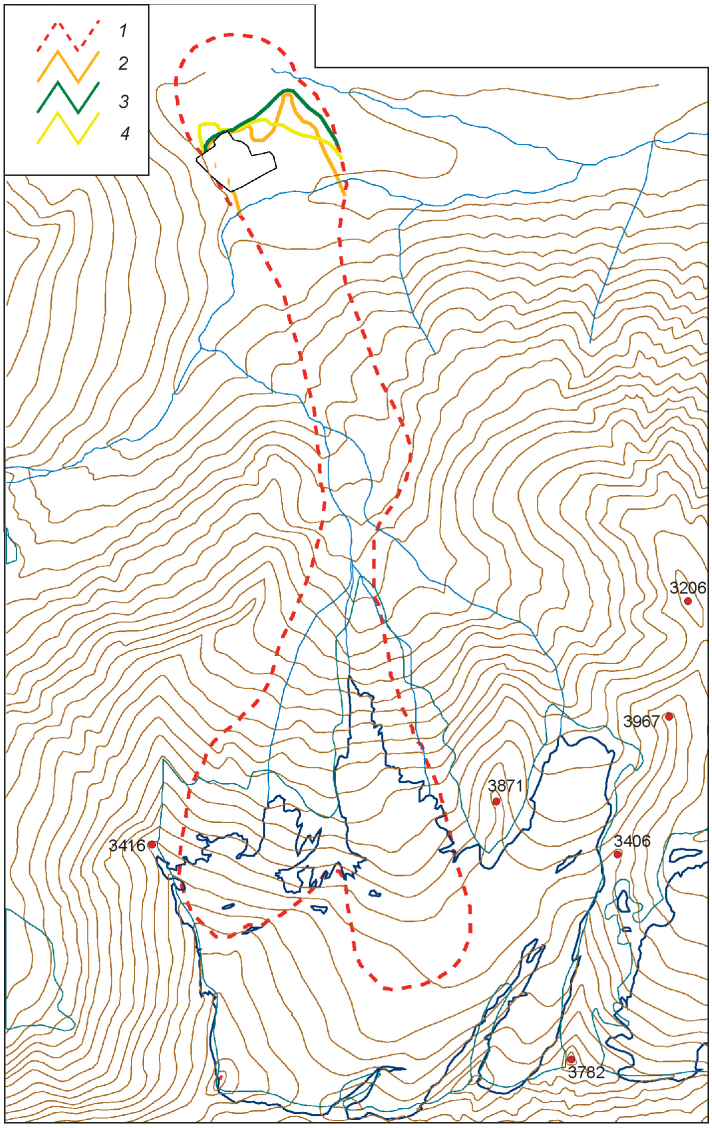

Рис. 2. Реальные и расчётная границы зон лавинного воздействия на Чегетской поляне:
1 – максимально возможная; *2* – 1932 г.; *3* – 1954 г.; *4* – 1987 г.
Fig. 2. Real and simulated snow avalanche runout limit:
1 – maximum possible; *2* – 1932; *3* – 1954; *4* – 1987

ников. Во время падения лёд обычно дезагрегируется до мельчайших кусков и ледяной пыли, т.е. по внешнему виду, а в некоторых случаях и разрушительному действию ледяные лавины похожи на снежные.

Ледяные лавины, как и снежные, на ледниках могут случаться в любое время года. Однако наиболее опасны они зимой, когда падение даже небольших масс льда может спровоцировать сход большой снежной лавины. В Альпах ледяные лавины – один из основных источников гляциальной опасности, в ряде случаев их сход приводил к массовой гибели людей. В августе 1597 г. ледяная лавина с ледника Хоматту (Швейцария) разрушила деревню Эгга. Погибли 81 человек, а лёд на дне долины таял семь лет. Сход ледяной лавины с ледника Аллалин (Швейцария) летом 1965 г. вызвал гибель 88 человек, работающих на строительстве ГЭС [16]. Отметим, что главным критерием выбора места для строительной площадки этой ГЭС было отсутствие опасности снежных лавин. В Гималаях, Кордильерах и Андах ледяные лавины неоднократно приводили к прорыву ледниковых озёр и разрушительным прорывным паводкам и селям. Так, угроза схода ледяной лавины в оз. Палькакоча (Перу) в 2003 г. привела к панике среди жителей г. Уарас, расположенного ниже, и многомиллионным убыткам из-за сокращения числа туристов [13]. К счастью, катастрофы не произошло. В России до настоящего времени не было зафиксировано схода ледяных лавин, повлёкших за собой значительные человеческие жертвы или материаль-

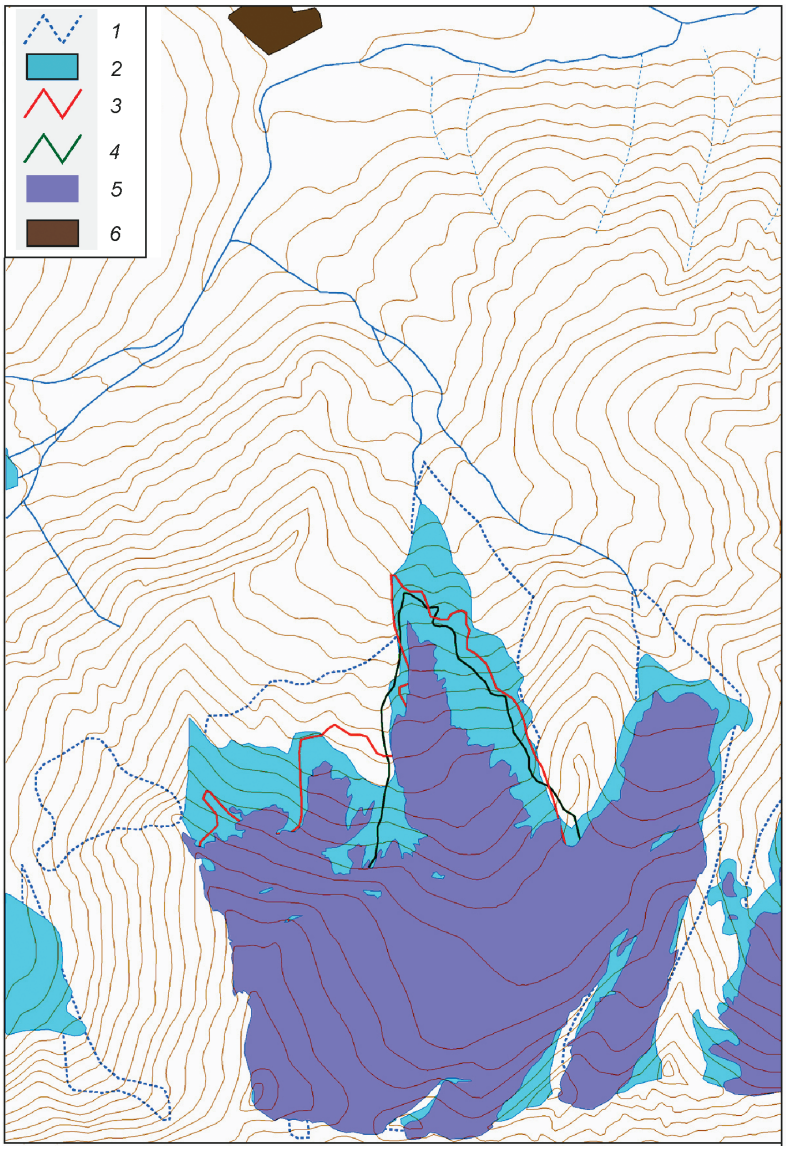

Рис. 3. Изменения ледника Когутай в 1887–2007 гг.
Граница ледника: *1* – в 1887 г.; *2* – в начале 1930-х годов; *3* – в 1957 г.; *4* – в 1987 г.; *5* – в 2007 г.; *6* – зона застройки
Fig. 3. Changes of Kogutai Glacier in 1887–2007
Glacier margin: *1* – in 1887; *2* – in early 1930s; *3* – in 1957; *4* – in 1987; *5* – in 2007; *6* – built-up area

ный ущерб. В то же время сход ледяных лавин со склонов г. Джимарай-хох стал одним из факторов, приведших к перегрузке ледника Колка и Геналдонской катастрофе 2002 г. в Северной Осетии.

Ледник Когутай – каровый ледник с висячим языком. Он расположен на северном склоне одноимённой горы высотой 3820 м. Ледник имеет ступенчатый профиль, область его питания расположена в большом каре северной экспозиции; оттуда вытекают два языка, разделённые скалистым гребнем (см. рис. 1, *в*). Правый язык заканчивается на высоте около 3200 м, немного выше бараньих лбов, его поверхность полога и в настоящее время он не опасен. Левый (основной) язык спускается ниже и оканчивается на крутом скальном ригеле на высоте 2850 м. Левая периферия ледника представлена маломощным склоновым ледником, на поверхности которого выступают скальные участки. Именно здесь находится лавиносбор, из которого чаще всего на Чегетскую поляну сходят особо крупные и катастрофические лавины.

Как и другие ледники Кавказа, ледник Когутай отступает. Если в 1887 г. его площадь составляла 2,60 км^2, а в 1957 г. – 2,48 км^2, то в 2007 г. она уменьшилась до 1,94 км^2 (рис. 3). Это не согласуется с данными Каталога ледников СССР [7], где существенно занижены его параметры. В 1887–1957 гг. площадь ледника сокращалась преимущественно за счёт отступания его левой периферии, в 1957–2007 гг. – за счёт быстрой

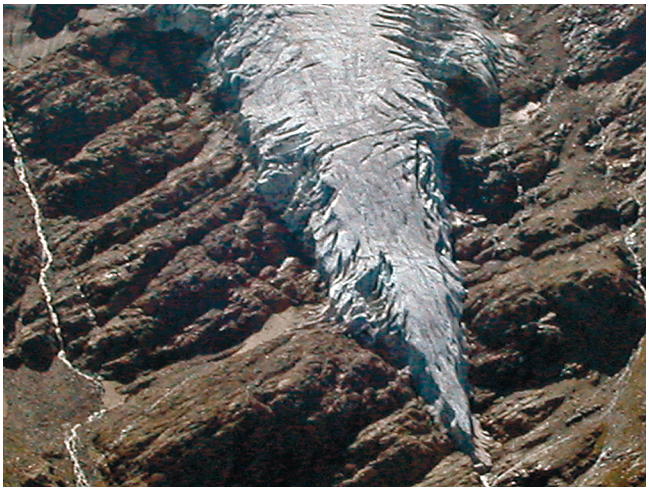

Рис. 4. Нижняя часть языка ледника Когутай в 2007 г. Фото А.А. Алейникова
Fig. 4. Lower part of Kogutai Glacier snout in 2007. Photo by A.A. Aleinikov

деградации языка, потерявшего подпитку слева. Если с 1887 по 1957 г. язык отступил на 150 м, то за последние 50 лет – на 420 м. Темп отступания фронта ледника Когутай увеличился в 4 раза: с 2 до 8 м/год (см. рис. 3).

Отступание языка ледника Когутай привело к быстрому росту угла наклона зоны транзита потенциальной ледяной лавины (от фронта ледника до гостиницы Чегет). За последние 120 лет он увеличился на 6°. В настоящее время язык ледника лежит на ригеле крутизной 37°. Откол глыб льда от его фронта приводит к формированию ледяных лавин. В схожей ситуации в середине XX в. оказалась левая часть ледника. В результате её быстрого отступания фронт ледника оказался на крутом склоне, что, вероятно, стало одной из причин ледяной лавины 1946 г. [8].

Для оценки ледниковой опасности Чегетской поляны использованы преимущественно эмпирические методы и одномерное гидродинамическое моделирование [11, 14, 15, 17]. Опасность ледяной лавины обычно оценивается в три этапа: определение опасных ледников; предварительная оценка опасных зон; детальные исследования [17]. Такой подход и был применён нами на примере Когутайского ледника.

По эмпирическим данным, критический угол, необходимый для зарождения ледяной лавины, составляет 25° на тёплых и 45° на холодных ледниках [11]. Обильное таяние или жидкие осадки могут привести к снижению трения на ложе ледника и соответственно к уменьшению критического угла. Когутай относится к ледникам тёплого типа. Угол наклона в зоне зарождения потенциальной ледяной лавины равен 37°, а протяжённость этого участка – 350 м, поэтому нельзя отрицать возможность формирования здесь крупной ледяной лавины. Косвенно это подтверждается множеством небольших ледяных лавин, обычно останавливающихся на более пологом участке крутизной 19–20° в 300–500 м ниже фронта ледника. Раньше здесь отмечались крупные ледяные лавины [8]. По характеру зарождения выделяют два типа ледяных лавин: откол пластин льда с фронтального обрыва ледника; соскальзывание части ледника вниз по склону [11, 14, 17]. Лавины первого типа имеют небольшой объём и часто возникают на висячих ледниках, в том числе и на Когутае. Объём ледяных лавин второго типа иногда достигает нескольких миллионов кубических метров, и они могут приводить к многочисленным жертвам и разрушениям [16].

Один из индикаторов вероятного формирования таких лавин – образование поперечной трещины, отсекающей часть языка висячего ледника [15]. Трещина может свидетельствовать о нарастании нестабильности нижележащей части ледника, однако для корректных выводов необходимы данные о скоростях движения льда выше и ниже трещины. В 2006 г. широких поперечных трещин на языке ледника Когутай не наблюдалось (см. рис. 1, *в*). В августе 2007 г. через весь язык ледника пролегла поперечная трещина (рис. 4). Потенциальный объём ледяной лавины был определён как объём льда, лежащего ниже трещины. Площадь и толщина ледника ниже трещины рассчитывались по космическому снимку IRS. С учётом угла наклона поверхности объём льда ниже трещины составляет около 0,35 млн м^3.

Для предварительной оценки максимальной дальности выброса ледяных лавин обычно используют средний угол наклона зоны транзита [17]. По эмпирическим данным в Альпах не отмечалось ледяных лавин с углом наклона зоны транзита менее 17° [11]. Отметим, что такой низкий угол наклона зоны транзита был только у крупных ледяных лавин объёмом несколько миллионов кубических метров. Данные по другим районам подтверждают это мнение [12]. При использование рассматриваемого подхода в большинстве случаев дальность выброса ледяных лавин завышается, поэтому для определения опасных зон предпочтительнее применять динамические модели.

Специалисты, исследующие Альпы, обычно моделируют ледяные лавины теми же способами, что и сухие снежные лавины [15]. Для оценки скорости и дальности выброса потенциальной ледяной лавины с ледника Когутай мы использовали упрощённую одномерную модель гидравлического типа [2, 9]. Расчёт проведён поэтапно для зоны транзита и конуса выноса лавины. Начальная толщина лавины принята равной половине толщины ледника в соответствии с рекомендациями [15], что составляет 10 м. Коэффициенты кинетического μ и турбулентного ξ трения приняты равными соответственно 0,2 и 750 м/с^3. Средняя крутизна ледниковой поверхности от геометрического центра потенциальной ледяной лавины до фронта ледника составляет 37° при максимуме 45°, а средняя крутизна склона до вершины конуса выноса – 24°. Рассчитанная на основании этих исходных параметров скорость лавины при выходе на конус выноса составляет 54 м/с (рис. 5). Полученное

значение, по всей вероятности, близко к скорости, максимально возможной в современных условиях. При толщине лавины 10 м скорость понижается до 41 м/с, а при 5 м – до 29 м/с. В отличие от снежных лавин, плотность отложений ледяной лавины вдвое меньше, чем плотность ледникового льда [15], и возможный максимальный объём Когутайской ледяной лавины на конусе выноса в результате разуплотнения может достигать 0,6–0,7 млн м^3.

При решении обратной задачи (вписать этот объём в Чегетскую поляну с учётом дальности выброса) средняя толщина отложений получается близкой к 10 м. При использовании как меньшей, так и большей толщины лавинных отложений их модельный объём становится меньше (или больше) реального за счёт уменьшения (увеличения) дальности выброса. При толщине отложений 10 м дальность выброса ледяной лавины от верхней точки конуса выноса (h = 2140 м) может достигать 560 м. В этом случае лавина перехлестнёт р. Донгузорун, разрушит ряд строений, находящихся на её левом берегу, и остановится в 150–200 м перед гостиницей «Чегет» (рис. 6). Расчёт по другим сценариям приводит к уменьшению дальности выброса на 50–100 м.

Для калибровки применяемой модели мы попробовали рассчитать дальность выброса ледяной лавины 1946 г. на основе тех же исходных параметров (толщина лавинных отложений, кинетическое и турбулентное трение). Вероятно, эта лавина сошла при срыве больших масс льда с орографически левой части ледника, а не с его языка. Максимальная дальность выброса от вершины конуса выноса для лавины 1946 г. составила около 600 м при толщине лавинных отложений 10 м. Это значение согласуется с реальной геоботанической границей, обнаруженной нами на Чегетской поляне в 570 м от вершины конуса выноса (см. рис. 6). К сожалению, участок с деревьями возрастом 60 лет невелик, так как на большей части поляны этот лес был уничтожен снежной лавиной 1954 г., имевшей бóльшую дальность выброса. Можно предположить, что ледяная лавина 1946 г. не

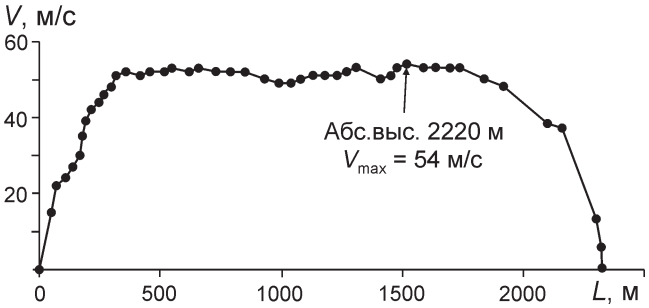

Рис. 5. Скорость движения ледяной лавины V в зависимости от расстояния L от линии отрыва, рассчитанная путём одномерного гидравлического моделирования

Fig. 5. Ice avalanche velocity V depending on the distance from start point, simulated using 1-D hydrodynamic model

Рис. 6. Граница зоны воздействия ледяной лавины 1946 г. (жёлтая линия) и расчётная дальность выброса ледяной лавины (красная линия)

Fig. 6. Ice avalanche maximum runout in 1946 (yellow line) and runout, simulated for modern conditions (red line)

вписалась в поворот тальвега на участке выполаживания и отклонилась вниз по долине. Отметим, что подобная картина наблюдалась и при сходе снежной лавины 30 декабря 1996 г. Таким образом, значительная часть Чегетской поляны может оказаться в зоне прямого воздействия ледяной лавины (см. рис. 6). В опасной зоне находится бóльшая часть автостоянки и все сооружения, расположенные на поляне в непосредственной близости к р. Донгузорун. При расчёте не учитывалось возможное при сходе ледяной лавины формирование снеговоздушного облака, которое накроет существенно более значительные территории.

Рекомендации и выводы

Выполненные исследования позволили установить, что вся территория Чегетской поляны представляет собой зону высокой лавинной опасности. Кроме того, бóльшая часть автостоянки и все сооружения, расположенные к югу от неё, находятся в зоне прямого воздействия ледяной лавины. Если для оценки зоны поражения ледяной лавиной использовать минимальные эмпирические значения [11], то в опасной зоне оказывается вся территория Чегетской поляны. По мере отступания языка ледника Когутай вверх по крутому склону дальность выброса потенциальной ледяной лавины будет возрастать.

Защитные сооружения на Чегетской поляне отсутствуют, а профилактический обстрел склона ледника Когутай, бывший раньше единственной мерой борьбы с лавинной опасностью на этой территории, сейчас не проводится. По мнению сотрудников МЧС, обстрел может спровоцировать сход гигантской ледяной лавины с этого ледника. В то же время, при отсутствии профилактических мероприятий по снижению лавинной опасности, сход снежной лавины может вызвать многочисленные человеческие жертвы и разрушения.

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. Такой комплекс должен предусматривать административно-организационные, профилактические и инженерные меры:

1) необходимо ограничить дальнейшее строительство на Чегетской поляне;

2) местные жители и отдыхающие должны быть проинформированы о возможной угрозе и чётко знать, что следует делать в опасной ситуации;

3) обстрел лавиноопасного участка для профилактического спуска снежной лавины, по нашему мнению, не повлечёт за собой сход ледяной лавины; при ожидаемом накоплении больших толщ снега необходимо применять превентивные меры;

4) в ближайшее время необходимо выполнить проектирование и строительство противолавинных сооружений.

Предлагаемые рекомендации переданы в Главное управление МЧС России по Кабардино-Балкарской Республике и администрацию Эльбрусского района. Проведение этих мероприятий поможет избежать катастрофических последствий и будет способствовать рациональному и безопасному использованию рекреационного потенциала Чегетской поляны.

Работа выполнена: при поддержке РФФИ, проекты 09-05-00934 и 07-05-00481; при содействии Программы поддержки ведущих научных школ РФ, проект НШ-3271.2010.5; при помощи программы Science for Peace, проект 982143.

Литература

1. *Атакуев Ж.К.* Районирование лавиноопасных территорий республик Северного Кавказа на основе усовершенствованной методики оценки эффективности противолавинных мероприятий: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук / Высокогорный геофиз. ин-т., Нальчик, 2007. 22 с.
2. *Божинский А.Н., Лосев К.С.* Основы лавиноведения. Л.: Гидрометеоиздат, 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 // МГИ. 1990. Вып. 69. С. 19–24.
4. *Володичева Н.А., Олейников А.Д.* Зимы повышенной лавинной опасности на Большом Кавказе // Снежный покров в горах и лавины. М.: Наука, 1987. С. 118–126.
5. Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 527 с.
6. *Гусейнов О.* По типу Колки произойти не может // Газета Юга. 09.02.2006. С. 10.
7. Каталог ледников СССР: Т. 8. Северный Кавказ. Ч. 5. Бассейны рек Малки, Баксана. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 146 с.
8. Оледенение Эльбруса / Под ред. Г.К. Тушинского. М.: Изд-во МГУ, 1968. 345 с.
9. Снег: Справочник / Ред. Д.М. Грей, Д.Х. Мэйл. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 751 с.
10. *Урумбаев Н.А.* Основные черты лавинного режима Приэльбрусья // Лавины Приэльбрусья. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 24–40.
11. *Alean J.* Ice avalanches: some empirical information about their formation and reach // Journ. of Glaciology. 1985. V. 31. № 109. P. 324–333.
12. *Caplan-Auerbach J., Huggel C.* Precursory seismicity associated with frequent, large ice avalanches on Iliamna volcano, Alaska, USA // Journ. of Glaciology. 2007. V. 53. № 180. P. 128–140.
13. *Carey M.* Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru // Global and Planetary Change. 2005. № 47. P. 122–134.
14. *Huggel C., Haeberli W., Kaab A., Bieri D., Richardson S.* Assessment procedures for glacial hazards in the Swiss Alps // Canadian Geotechn. Journ. 2004. V. 41. № 6. P. 1068–1083.
15. *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. № 30. P. 159–173.
16. *Richard D., Gay M.* GLACIORISK. Survey and prevention of extreme glaciological hazards in European mountainous regions. EVG1 2000 00512 Final report (01.01.2001–31.12.2003). http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr
17. *Salzmann N., Kaab A., Huggel C., Allgower B., Haeberli W.* Assessment of the hazard potential of ice avalanches using remote sensing and GIS-modelling. Norsk Geografisk Tidsskrift–Norwegian // Journ. of Geography. 2004. V. 58. P. 74–84.

Summary

We present an assessment of snow avalanche and glacier hazard for Cheget recreation complex near Elbrus (Kabardino-Balkaria, Russia). Using meteorological data in 1932–2007 and direct observations on avalanche activity based on the Elbrus research station since 1957 we have shown up an avalanche history in late XIX–XX centuries. To verify drawn conclusions we have analyzed topographic maps (1887, 1957, 1987), identified aerial (1957, 1965, 1979, 1983) and high-resolution satellite IRS-P5 Cartosat (2007) images, compiled numerous ground photos, literature and poll data, created DEM and GIS for study area. Catastrophic snow and ice avalanches affected area in the end of 1880-s, 1910–1912, 1932, 1944, 1946, 1954, 1987 and 1996. Recent increase of solid precipitation and continuing glacier retreat leads to growth of avalanche and glacier hazard for the study area. All recreation complexes are prone to snow avalanche hazard. There are parking, souvenir market, some hotels and restaurants in glacier hazard zone. We propose measures to mitigate snow avalanche and glacier risk for study area.