

РАЙОНЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАВИНООБРАЗОВАНИЯ НА БОЛЬШОМ КАВКАЗЕ ПРИ КРУПНЫХ АНОМАЛИЯХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА

© 2024 г. А. Д. Олейников

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: geo2217@mail.ru

Поступила 30 октября 2023 г.

После доработки 24 декабря 2023 г.

Принята к печати 10 апреля 2024 г.

Дано обоснование географических границ районов, которые при крупномасштабных гидрометеорологических аномалиях выделяются по интенсивности лавинопроявления среди других районов Кавказа и могут быть отнесены к «эпицентрам» лавинной деятельности.

Ключевые слова: Большой Кавказ, гидрометеорологические аномалии, особо крупные лавины, интенсивность лавинной деятельности, ледниковые кары, снежность, типы снега

DOI: 10.31857/S2076673424020059

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В горных странах существуют районы, которые можно отнести к «эпицентрам» лавинной деятельности, где во время масштабных гидрометеорологических аномалий, сопровождающихся интенсивными снегопадами, сходит наибольшее количество особо крупных лавин. Такие районы выделяются по силе разрушительного воздействия снежных лавин на социально-экономическую инфраструктуру и горные ландшафты. Выявление географических границ подобных территорий становится всё более востребованным в ходе промышленного и рекреационного освоения горных районов. Проблема рассматривается на примере Большого Кавказа — одного из наиболее изученных в лавинном отношении районов России. Её постановка стала возможна благодаря многолетним наблюдениям за снежными лавинами, которые позволили восстановить хронологию лавинных катастроф. За период снеголавинных наблюдений на Кавказе в XX—XXI вв. было отмечено две наиболее крупных лавинных катастрофы в зимы 1975/76 и 1986/87 гг. В работе предпринята попытка ответить на вопрос — почему в условиях масштабных гидрометеорологических аномалий основной удар снежной стихии повторился в географических границах одних и тех же территорий.

Физическое понятие «интенсивность» — мера количества энергии — широко используется в различных научных дисциплинах. Например, в геологии — при характеристике землетрясений,

в гляциологии — при характеристике оледенения. В лавиноведении «интенсивность» — сила разрушительного воздействия снежных лавин на хозяйственные и природные объекты. Оценка интенсивности может быть выполнена по количеству особо крупных лавин (далее — ОКЛ), к которым отнесены лавины объёмом более 300 тыс. м³. Поскольку при массовом сходе ОКЛ их прямой учёт на обширной горной территории физически невозможен, то такая оценка может быть выполнена косвенно по факторам лавинообразования, определяющим энергетическую составляющую лавинного процесса.

Для обоснования рассматриваемого положения использованы: метеорологические данные среднегорных и высокогорных станций Большого Кавказа — ГМС РФ (1950—2016), ГМС Грузии (1936—1988); материалы экспедиционных исследований разных лет; сведения о массовых лавинных катастрофах в Кавказском регионе (1950—2022); данные 54-летнего ряда наблюдений за снежными лавинами (1968—2022) на стационаре географического факультета МГУ в Приэльбрусье (Центральный Кавказ); литературные источники.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выявлении факторов, определяющих энергетическую сторону процесса лавинообразования, использована зависимость разрушительной силы лавин от её скорости и массы вовлечённого в движение снега, где скорость лавины — функция относительной

высоты рельефа, крутизны склона, а также типа снега, формирующего лавину. Масса лавины определяется толщиной и плотностью снега в лавиносборе, его площадью и снежно-аккумулирующей способностью. Ряд перечисленных параметров находятся в прямой зависимости от характера рельефа склонов. В лавиноведении, согласно морфологической классификации, выделяют три типа лавиносборов: из эрозионных врезов, денудационных воронок и древнеледниковых каров (Тушинский, 1963). Главное различие между ними состоит в размерах снегосборной воронки или очага зарождения лавины. Площадь зоны зарождения лавин в ледниковых карах может во много раз превосходить аналогичную площадь двух первых морфологических типов. Именно из ледниковых каров с полувогнутыми днищами образуются гигантские лавины объёмом в несколько миллионов кубических метров. Наличие таких форм рельефа на исследуемой территории является одним из показателей её потенциально высокой лавинной опасности.

Начавшееся с середины XIX в. сокращение горного оледенения выявило ещё одну особенность каровых форм рельефа, которая отразилась на объёмах формирующихся в них лавин. Деграция каровых ледников привела к заметному изменению морфометрии склонов, в результате чего задние стенки каров стали более крутыми, а их днища более пологими. Результаты измерений в древнеледниковых карах на Центральном Кавказе (в Приэльбрусье) показали, что крутизна их задних стенок в среднем возросла на 10° (с 30 до 40°), а их днища стали более пологими на 7° (с 30 до 23°) (Олейников, 2011). Увеличение кресловидности склонов привело к увеличению их снежно-аккумулирующей способности. В освободившихся ото льда каровых нишах стали накапливаться дополнительные массы снега, которые значительно увеличили объёмы сходящих лавин. Время, которое потребовалось для исчезновения многих каровых ледников в Кавказском регионе и превращения их

в аккумуляторы дополнительных масс снега, составило около 150 лет (с середины XIX в.). На современном этапе многие древнеледниковые кары стали представлять ещё большую лавинную угрозу для днища горных долин. По данным Каталога ледников СССР (Каталог..., 1975), 78% этих наиболее опасных для лавинообразования форм рельефа сосредоточено на южном макросклоне Западного и Центрального Кавказа в бассейнах рек Ингури и Кодори, что выделяет эту территорию среди других районов Кавказа (табл. 1).

К климатическим факторам, определяющим степень лавинной опасности горной территории, относятся характеристика её снежности и температура воздуха. Температура холодного периода в сочетании с толщиной снежного покрова является одним из основных факторов в формировании различных типов снега. Она определяет интенсивность процессов перекристаллизации снежной толщи, её структурно-стратиграфические особенности, формирование ослабленных горизонтов разрыхления, состояние увлажнённости, т. е. всю совокупность факторов, влияющих на прочностные свойства снега и его устойчивость на склоне.

Первые обобщающие исследования по оценке снежности горных территорий были получены при составлении Карты лавиноопасных районов СССР (Лавиноопасные..., 1970). На Кавказе было выделено пять групп районов, различающихся по толщине снежного покрова — от «бесснежных» с толщиной снежного покрова от 0 до 30 см, в которых образование лавин считалось невозможным; до исключительно снежных — с толщиной снега более 1 м, в которых крупные лавины могут сходить неоднократно. В последующие годы были составлены более детальные карты, характеризующие распределение наибольших средних декадных толщин снежного покрова, которые служат информативным показателем лавинной опасности (Залиханов, 1981). На этих

Таблица 1. Распределение ледников различных морфологических типов на южном макросклоне Большого Кавказа (Каталог ледников СССР, 1975)

Бассейн реки	Тип ледников				Ледники всех типов, %	
	каровые, %		карово-долинные, %			
Бзыбь	11	6.5	—		13	3
Келасури	3	1.7	—		3	0.7
Кодори	97	58	3	3.9	120	29
Ингури	41	24	58	76.3	196	48
Хоби	—		1	1.3	2	0.1
Риони	16	9.5	14	18.4	75	18
Итого	168		76		409	

картах сведения о толщине снега представлены уже в более широком диапазоне – от 0.3 (в низогорной зоне) до 2 м (в высокогорной зоне). Значительный вклад в оценку снежности горных территорий был сделан при составлении карт для Атласа снежно-ледовых ресурсов мира (далее – АСЛРМ) (Атлас..., 1997). Методические подходы, разработанные для АСЛРМ, нашли широкое применение для решения широкого круга гляциологических задач. Так, метод гляциоклиматической индикации (Кренке, 1973) позволил оценить величины твёрдых осадков на высоте границы питания ледников и был положен в основу построения карты распределения поля твёрдых осадков на Большом Кавказе (рис. 1) (Тареева, 1981). Для более наглядной картины территориального распределения снегозапасов изолинии были перенесены на космический снимок. Расчёты показали, что в высокогорной зоне Кавказа на высоте границы питания ледников снегозапасы изменяются в диапазоне от 1200 (Восточный Кавказ) до 3200 мм (Западный Кавказ) с максимумом 3400 мм в районе Сванетского хребта (Тареева, 1981). В варианте карты, подготовленной для АСЛРМ, географические границы зоны максимального снегонакопления были уточнены. По уточнённым данным, эта зона расположена в истоках рек Уруштен, Малая Лаба и Большая Лаба (Западный Кавказ), где максимальные снегозапасы достигали 4500 мм (Атлас..., 1997). При средней плотности снега в период максимума снегонакопления, равной 400 кг/м^3 (Залиханов, 1981), следует,

что среднемноголетняя толщина снежного покрова на высоте границы питания ледников изменялась от 3 до 8 м. В аномально снежные зимы она может превышать 10 м. Так, в Приэльбрусье уже в начале зимы 1973/74 г. (декабрь) толщина снега на линии отрыва лавины в одном из ледниковых каров составила 7.6 м (Золотарев, 1980). Карта поля твёрдых осадков в АСЛРМ позволила получить данные о снежности высокогорной зоны Кавказа, которые отражали закономерности снегонакопления и в очагах зарождения лавин.

На карте-схеме (см. рис. 1) обращает на себя внимание зона повышенной снежности в бассейне р. Ингури, которая имеет форму «петли» и выдвинута навстречу влагонесущим потокам со стороны Чёрного моря. Подобный рисунок изохион наблюдается только в этом районе Большого Кавказа, что обусловлено влиянием ороклиматического эффекта и объясняет природу возникновения большого количества каровых форм оледенения в ходе эволюции горной системы.

Другой климатический фактор, влияющий на состояние снежного покрова и процессы лавинообразования, – температура воздуха. На Большом Кавказе ослабление континентальности климата с востока на запад сопровождается увеличением увлажнённости и ростом температуры воздуха. На Западном Кавказе при более высоких среднезимних температурах воздуха снежная толща подвержена активным процессам оседания и уплотнения, что приводит к формированию более устойчивого типа снега на

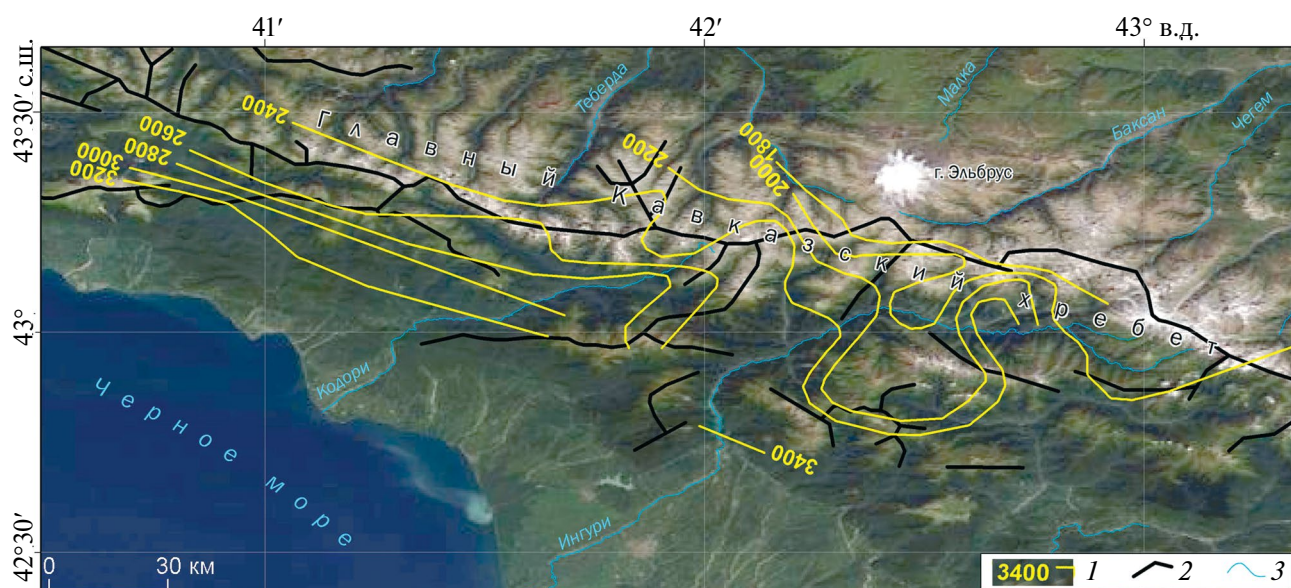


Рис. 1. Распределение твердых осадков на ледниках южного склона Западного и Центрального Кавказа в 1970-е годы по данным (Тареева, 1981). Визуализация на космическом снимке MODIS/TERRA (29.07.2018): 1 – изолинии осадков (мм); 2 – линии основных хребтов; 3 – реки

Fig. 1. Distribution of solid precipitation on glaciers on the southern slope of the Western and Central Caucasus in the 1970s according to data from (Tareeva, 1981). Visualization on the MODIS/TERRA satellite image (29.07.2018): 1 – precipitation isolines (mm); 2 – lines of the main ridges; 3 – rivers

горных склонах. Различия в прочностных свойствах снега между долготными секторами Кавказа могут быть охарактеризованы по данным о критической величине осадков, при достижении которой происходит обрушение особо крупных лавин.

Известно, что лавины объёмом в сотни тысяч куб. метров, как правило, относятся к лавинам из свежеснежавшего снега и наблюдаются во время интенсивных снегопадов. По результатам исследований Высогогорного геофизического института на Центральном Кавказе (Приэльбрусье) установлено, что месячное количество осадков, необходимое для обрушения таких лавин, составляет 135 мм, из которых 90 мм должны приходиться на долю обильных снегопадов (Куваева, 1979). В абсолютном выражении эта величина в разных районах Кавказа будет иметь собственные значения. Для характеристики схода лавин подобного типа нами был предложен относительный показатель, названный месячным коэффициентом аномалии осадков, который рассчитывается по доступным месячным данным (Волдичева, Олейников, 1989):

$$K_m = \frac{\sum X_i}{\sum X_{\text{ср.хол.пер.}}},$$

где $\sum X_i$ — сумма осадков i -го месяца; $\sum X_{\text{ср.хол.пер.}}$ — среднее многолетнее количество осадков холодного периода (согласно рекомендациям ВМО норма осадков рассчитана за 30-летний период 1961—1990 гг.). Наблюдения на Западном и Центральном Кавказе (в Архызе и Приэльбрусье) показали, что коэффициент, соответствующий двукратной месячной норме осадков, в 80% случаев реализуется в сход особо крупных лавин, что даёт основание рассматривать данный показатель в качестве индикатора обрушения лавин этого типа:

$$K_{\text{м.кр.}} = 2 \frac{\sum X_{\text{ср.хол.пер.}}}{N},$$

где $K_{\text{м.кр.}}$ — критический коэффициент аномалии осадков; $\sum X_{\text{ср.хол.пер.}}$ — среднее многолетнее количество осадков холодного периода; N — число месяцев в холодном периоде. В Приэльбрусье при норме осадков 282 мм и продолжительности холодного периода около 5 месяцев $K_{\text{м.кр.}}$ равен 112 мм, что согласуется с данными Г. М. Куваевой (135 мм за месяц и 90 мм за один снегопад). Принимая $K_{\text{м.кр.}}$ в качестве индикатора схода ОКЛ в Кавказском регионе, его величина была рассчитана для среднегорных и высокогорных метеорологических станций Западного и Центрального Кавказа (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что в тёплых и влажных условиях Западного Кавказа величина $K_{\text{м.кр.}}$ находится в диапазоне от 300 до 662 мм (Ачишхо, Красная Поляна, Гагрский хребет); на Центральном Кавказе — от 112 до 223 мм (Терскол, Казбеги в/г, Алибек, Эрмани,

Шови, Херга, Крестовый перевал). Таким образом, критическая величина осадков и, соответственно, внешней нагрузки, необходимой для обрушения катастрофических лавин на Западном Кавказе, оказывается в 2—3 раза выше по сравнению с более континентальными условиями Центрального Кавказа. Причина этого явления обусловлена различиями в типах снега между долготными секторами региона.

Применительно к решаемой задаче под типом снега понимается совокупность структурно-текстурных и прочностных свойств снега, которые формируются под влиянием физико-географических условий местности. В очагах зарождения лавин всю толщу снега во время снегопада условно можно разделить на два типа — новый свежеснежавший и старый зернистый снег; по прочностным и структурно-текстурным свойствам — благоприятный и неблагоприятный для массового обрушения особо крупных лавин. В условиях Кавказа типы снега на качественном уровне могут быть охарактеризованы следующим образом: свежеснежавший благоприятный для формирования ОКЛ представлен фациями сухого рыхлого снега небольшой плотности (до 100 кг/м³) либо метелевым уплотнённым снегом (200—250 кг/м³); старый благоприятный тип снега — сложно стратифицированный с прослоями разрыхления в вертикальном разрезе, подверженный хрупкому разрушению под воздействием внешней нагрузки. Свежеснежавший неблагоприятный тип снега формируется при относительно высоких температурах воздуха, имеет более высокую плотность и подвержен активному оседанию в период снегопада; неблагоприятный старый тип снега представлен однородной слабо стратифицированной снежной толщей плотностью 400 кг/м³ и выше, устойчиво залегающей на склоне.

Проведённый анализ факторов лавинообразования показывает, что, рассматривая роль рельефа и климата изолированно друг от друга, мы не можем получить однозначного ответа на вопрос о районах наибольшей интенсивности лавинопроявления. При раздельном рассмотрении факторов к таким районам (с позиций рельефа) должны быть отнесены бассейны рек Ингури и Кодори, где сосредоточено до 80% ледниковых каров южного макросклона; с позиций климата — районы наиболее высокой заснеженности — это истоки рек Уруштен, Малая Лаба, Большая Лаба (Западный Кавказ), где толщина снежного покрова может превышать 10 м. Решение поставленной задачи необходимо рассматривать во взаимодействии этих двух факторов на примере конкретных зим, в данном случае зим экстремальной снежности. На Западном и Центральном Кавказе к ним относятся зимы 1975/76 и 1986/87 гг., которые считаются самыми снежными и лавинными за весь период метеорологических наблюдений. Ниже приводится краткое описание снеголавинной обстановки, сложившейся на Кавказе в зиму 1986/87 г.

Таблица 2. Сведения о критической величине месячного коэффициента аномалии осадков ($K_{м.кр.}$) на среднегорных и высокогорных метеорологических станциях Западного и Центрального Кавказа

Название станций	Абсолютная высота, м	Координаты		Холодный период	Макро-экспозиция склона	Долготный сектор	Критический коэффициент аномалии осадков, мм
<i>Ачицхо*</i>	1880	43.70	40.20	XII—III	южный	западный	662
Красная Поляна**	565	43.60	40.20	XII—II	южный	западный	409
Гагрский хребет	1664	43.21	40.17	XII—III	южный	западный	322
Клухорский перевал	2037	43.30	41.80	XI—III	северный	западный	295
Архыз	1450	43.60	41.30	XII—III	северный	западный	137
Местиа	1441	43.05	42.45	XII—III	южный	центральный	128
Лебарде	1610	42.44	42.29	XII—III	южный	центральный	351
Крестовый перевал	2395	42.30	44.27	XI—IV	южный	центральный	223
Гудаури	2194	42.28	44.29	XII—III	южный	центральный	205
Херга	1137	42.27	43.04	XII—III	южный	центральный	198
Шови	1507	42.42	43.41	XII—III	южный	центральный	169
Эрмани	2240	42.50	44.30	XII—III	южный	центральный	140
Барисахо	1325	42.28	44.56	XII—III	южный	центральный	116
Алибек	1745	42.24	43.56	XII—III	южный	центральный	115
<i>Казбеги высокогорная</i>	3653	42.41	44.32	XI—IV	северный	центральный	148
Терскол	2141	43.20	42.50	XI—III	северный	центральный	112

Примечание. *Курсивом выделены станции, которые были закрыты в 1988 г. или изменили государственный статус в связи с преобразованием СССР. Для этих станций расчёт $K_{м.кр.}$ выполнен по норме за 1961—1988 гг.

**Для станций со стандартным шрифтом расчёт $K_{м.кр.}$ выполнен по климатической норме ВМО за 1961—1990 гг.

По исследованиям (Сванидзе, Абдушелишвили и др., 1989) в 1986/87 г. обильные снегопады наблюдались на большей части территории горной Грузии, где на многих метеорологических станциях январские нормы осадков были превышены на 300–650%. В северной части Грузии толщина снежного покрова на днищах горных долин достигала 5 м при суточных приростах до 1.2 м. В этот же период на северном макросклоне Западного и Центрального Кавказа также были зафиксированы рекордные величины снегонакопления. На метеостанциях Крестовый перевал, Терскол, Архыз, Теберда, Клухорский перевал зимняя аномалия снежности, по нашим оценкам, достигла значений 114, 102, 212, 186 и 102% соответственно. В условиях экстремального снегонакопления начался массовый сход катастрофических лавин, охвативший обширные территории Западного и Центрального Кавказа. Больше всего от лавин пострадали горные районы Грузии, где специалистами ЗаКНИГМИ было зарегистрировано более 700 случаев схода лавин. Резонансным событием зимы 1986/87 г. оказался срыв сроков по запуску Транскавказской магистрали через Рокский перевал, запланированный на конец декабря 1986 г. Его причиной стал сход крупных лавин по обе стороны тоннеля, который привёл к разрушению нескольких противолавинных галерей.

Общая картина зимних событий 1986/87 г. была дополнена материалами летней экспедиции 1987 г., организованной Институтом географии АН СССР и Институтом географии КазССР, одним из участников которой был автор статьи. В ходе экспедиции удалось посетить многие районы, недоступные в зимний период, и получить новые данные о катастрофических лавинах региона. За время экспедиции были обследованы участки четырёх перевальных дорог через Главный Кавказский хребет: Военно-Грузинской (Крестовый перевал); Военно-Осетинской (Мамисонский перевал); Военно-Сухумской (Клухорский перевал); Транскавказской магистрали (Рокский перевал). В Западной Грузии были обследованы бассейны крупных рек с их притоками — р. Риони, р. Ингури (реки Ненскра, Накра, Долра, Местиачала, Мулхура), р. Мзымта, р. Бзыбь (р. Авадхара), р. Кодори (реки Гвандра, Клыч, Клухор); в Восточной Грузии — верховья Алазанской долины с её боковыми притоками р. Ламазури и р. Хороджос-Цкали (Олейников, Володичева, 2020). Обобщение материалов зимних (1986/87 г.) и летних наблюдений (1987 г.) показало, что зоной схода наибольшего числа особо крупных лавин на двух макросклонах Западного и Центрального Кавказа стали бассейн р. Ингури и верховья р. Кодори, где в районе Нахарского перевала лавинами было разрушено большое количество опор трассы ЛЭП-500, имевшей важное значение в энергоснабжении южных республик.

Один из возможных ответов на вопрос — почему основной удар снежной стихии пришёлся на одну и ту же территорию в 1975/76 и 1986/87 гг. — следует из

комплексного анализа факторов лавинообразования. Анализ показал, что самая высокая интенсивность лавинной деятельности была отмечена в районах, где одновременно наблюдалась реализация трёх факторов лавинообразования: наличие большого количества крупных лавиносборов; высокая снежность; благоприятный для формирования ОКЛ тип снега. Эти три фактора одновременно реализуются на южном макросклоне Кавказа в бассейне р. Ингури и верховьях р. Кодори, где сосредоточено наибольшее количество крупных лавиносборов; приросты снега в очагах зарождения лавин за снегопад могут достигать 5 м и более; типы снега в середине зимы, на которую приходится наибольшее число случаев экстремального лавинообразования, формируются при температурах от -5 до -10 °C (Климатический атлас СССР, 1960). В этом температурном диапазоне выпадает сухой рыхлый снег низкой плотности (до 100 кг/м^3), а при метелях формируются лавины из «снежных досок».

На Западном Кавказе из трёх названных факторов реализуются только два — большое количество крупных лавиносборов и высокая снежность. Этот сектор Кавказа отличается многообразием каровых форм рельефа, которые по-разному проявляют себя в лавинообразовании. Широкое распространение здесь получили каровые лестницы, кары с переуглублённым днищем и ледниковыми озёрами на дне, а также относительно молодые формы каров с полувогнутыми днищами (Шукин, 1960). Рельеф первых двух типов каров имеет чётко выраженный ступенчатый характер, что приводит к ослаблению лавинной деятельности. Только в третьем типе каров формируются особо крупные лавины, представляющие угрозу для днища долин. Следует отметить, что фактор высокой снежности, свойственный Западному Кавказу, во многом нивелируется фоном повышенных зимних температур, которые в 2–2.5 раза выше по сравнению с Центральным Кавказом и составляют от -2 до -4 °C (Климатический атлас СССР, 1960). В этих температурных условиях снежная толща развивается по типу уплотнения с пиком лавинной активности в зимне-весенний период. Объёмы сходящих в это время лавин из влажного снега также могут достигать сотен тысяч и млн куб. м, однако их поражающий эффект в значительной степени уступает лавинам из сухого свежеевыпавшего снега, которые имеют большую скорость, силу удара и дальность выброса. Именно сход наибольшего числа ОКЛ из сухого снега будет являться индикатором эпицентра лавинной деятельности.

На Восточном Кавказе, как и на Западном, также реализуются два показателя, но в ином соотношении — это большое количество крупных лавиносборов и благоприятный для формирования лавин тип снега. Среди форм лавиносборов здесь преобладают крупные денудационные воронки, которые уступают по площади деформированным карам. Отличительной чертой Восточного Кавказа служит его

малая снежность. На метеорологических станциях Хунзах (1685 м), Кумух (1552 м), Гуниб (1551 м), Уркарх (1548 м) за период массовых метеорологических наблюдений (1936–1988 гг.) максимальная декадная толщина снежного покрова не выходила за пределы 0.24–0.33 м и составляла 0.24; 0.27; 0.33 и 0.3 м соответственно. В условиях континентального климата Восточного Кавказа снег такой мощности быстро преобразуется в сыпучую рыхлую массу, благоприятную для лавинообразования, но его количества явно недостаточно для образования особо крупных лавин.

Высокая интенсивность лавинной деятельности также наблюдается в осевой зоне Главного Кавказского хребта, которая на карте лавиноопасных районов СССР отнесена к районам высокой лавинной опасности (Лавиноопасные..., 1970).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Снежные лавины относятся к дискретным природным явлениям, что позволяет проиллюстрировать рассматриваемую проблему на примере артиллерийского обстрела территории. Интенсивность артиллерийского обстрела будет тем выше, чем крупнее калибр орудия, из которого производится обстрел, чем больше из него выпущено снарядов и чем больше взрывная мощность этих снарядов. В данном сравнении калибру орудия будет соответствовать размер лавиносборов (эрозионные врезы, денудационные воронки, древнеледниковые кары); количеству снарядов — число сошедших лавин; взрывной мощности снарядов — тип снега и его количество в лавиносборе. Последний пункт о взрывной мощности снарядов требует пояснения. В современных моделях движения лавин типы снега являются параметром, который оказывает влияние на их скорость и силу удара. Поскольку данный параметр трудно поддаётся формализации, то его влияние учитывается косвенно при помощи эмпирических коэффициентов трения (Божинский, Лосев, 1987; Благовещенский, 1991). Поэтому в районах, где наблюдаются более благоприятные для формирования лавин типы снега, динамические характеристики лавин будут иметь более высокие значения. В рамках рассматриваемой аналогии наибольшей интенсивности лавинного «обстрела» будет подвержена та территория, где сосредоточено наибольшее количество крупных лавиносборов (калибр орудия); где наблюдается высокая снежность, выполняющая роль поставщика «лавиных снарядов», и где благоприятные ТС совместно с его количеством в лавиносборе представляют аналог взрывной мощности снарядов. Как показал проведённый анализ, этим критериям соответствует территория в бассейне р. Ингури, верховьях р. Кодори и водораздельная зона Главного Кавказского хребта.

Отметим также, что в рамках рассматриваемого вопроса об «эпицентре» лавинной деятельности

природой дважды был поставлен «эксперимент» на примере зим аномально высокой снежности 1975/76 и 1986/87 гг. В обоих случаях высокая снежность стала следствием обширной гидрометеорологической аномалии, итогом которой был массовый сход особо крупных лавин в среднегорной и высокогорной зонах Кавказа. Сопоставление картины снеголавиновых событий двух зим показывает, что наиболее высокая интенсивность лавинной деятельности была отмечена в границах приблизительно одних и тех же территорий.

Нельзя обойти вниманием и тот факт, что в XXI в. на Большом Кавказе не было отмечено ни одного случая массовых лавинных катастроф, которые бы одновременно наблюдались на двух его макросклонах и охватывали не менее двух долготных секторов. По нашим оценкам, одной из причин уменьшения повторяемости лавинных экстремумов стало общее потепление, сопровождающееся изменением в режиме выпадения интенсивных осадков. Согласно лавинной статистике, 80% крупных лавинных катастроф связано с интенсивными затяжными снегопадами, приходящимися на середину зимы (январь) (Олейников, Володичева, 2019). Именно январь как самый холодный месяц представляет наибольшую потенциальную угрозу при обрушении особо крупных лавин, что обусловлено значительными приростами свежеснежного покрова в очагах зарождения (4 м и более) и образованием на склонах особого типа снега в виде «снежных досок». На рубеже XX–XXI вв. обильные январские снегопады стали редким явлением. Так, на Центральном Кавказе по данным метеостанции Терскол (2141 м) повторяемость подобных снегопадов в 1955–1992 гг. составляла 15%, на современном этапе 1993–2016 гг. она уменьшилась до 4%. На Западном Кавказе, по данным метеостанции Клухорский перевал (2037 м), в те же временные интервалы она составила 11 и 0% соответственно. Аналогичная тенденция наблюдается и на других метеостанциях региона. Смещение пика зимних осадков на зимне-весенний период отразилось на режиме схода лавин — их генетических типах, размерах, повторяемости. Если в холодных условиях января такие снегопады сопровождались сходом гигантских лавин большой разрушительной силы и дальности выброса, то в более тёплых условиях марта — апреля их разрушительный потенциал существенно снизился.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постановка вопроса об «эпицентре» лавинной деятельности на Большом Кавказе актуальна для периодов развития масштабных гидрометеорологических аномалий, когда особенно заметны региональные различия в интенсивности лавинопроявления. В этих условиях наибольшее число особо крупных лавин наблюдается в районах с оптимальным сочетанием факторов лавинообразования: большим количеством

лавинооборотов в виде ледниковых каров, которые освободились ото льда и превратились в гигантские очаги зарождения лавин; высокой снежностью; благоприятными типами снега для обрушения особо крупных лавин. Отмеченные в работе особенности в формировании лавинных экстремумов проецируются как на современный период, так и на предстоящие десятилетия. С позиций рельефа продолжающаяся деградация оледенения ведёт к дальнейшей трансформации каров и является благоприятным фактором для увеличения числа катастрофических лавин.

С позиций климата наблюдается противоположная тенденция. Потепление на Большом Кавказе привело к заметным изменениям в режиме выпадения интенсивных осадков и смещения их сезонного пика с середины зимы на зимне-весенний период, что кардинально отразилось на характере снегонакопления и лавинной деятельности. В первые десятилетия XXI в. не было отмечено ни одного случая массового схода крупных лавин, которые бы одновременно наблюдались в двух секторах Кавказа. Вместе с тем, современное потепление, сопровождающееся ростом климатической изменчивости, не исключает появления в будущем отдельных зим по типу 1975/76 и 1986/87 гг.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке РФФИ по проекту № 20-05-00280а.

Acknowledgments. This work was supported by RFBR project № 20-05-00280а.

ЛИТЕРАТУРА

- Атлас снежно-ледовых ресурсов мира // Ред. В. М. Котляков. М.: Российская академия наук, 1997. 392 с.
- Благовещенский В. П. Определение лавинных нагрузок // Алма-Ата, Гылым, 1991. 115 с.
- Божинский А. Н., Лосев К. С. Основы лавиноведения // Л.: Гидрометеиздат, 1987. 280 с.
- Володичева Н. А., Олейников А. Д. Коэффициент аномалии осадков как показатель массового лавинообразования и схода катастрофических лавин // Тр. 3-го Всес. совещания по лавинам. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 128–135.
- Залиханов М. Ч. Снежно-лавиновый режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа // Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1981. 376 с.
- Золотарев Е. А. Изучение снега и лавин в Приэльбрусье фотограмметрическим методом // Лавины Приэльбрусья. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. С. 47–62.
- Каталог ледников СССР. Т. 9. Вып. 1. М. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. 88 с.
- Климатический атлас СССР. Т. 1. // М.: Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, 1960. 181 с.
- Кренке А. Н. Климатические условия существования современного оледенения Средней Азии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1973. № 1. С. 20–35.
- Куваева Г. М. Общие сведения о снегопадах Приэльбрусья в связи со сходом катастрофических лавин // Тр. ВГИ. Вып. 43. 1979. С. 49–55.
- Лавиноопасные районы Советского Союза / Ред. Г. К. Тушинский. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1970. 199 с.
- Олейников А. Д. Снежные лавины из ледниковых каров в условиях быстро меняющегося климата // Лёд и Снег. 2011. № 3 (115). С. 79–84.
- Олейников А. Д., Володичева Н. А. Современные тенденции изменения снеголавинового режима Центрального Кавказа (на примере Приэльбрусья) // Лёд и Снег. 2019. № 2. С. 191–200.
- Олейников А. Д., Володичева Н. А. Зимы лавинного максимума на Большом Кавказе за период инструментальных наблюдений (1968–2016 гг.) // Лёд и Снег. 2020. № 4. С. 521–532.
- Сванидзе Г. Г., Абдушелишвили К. Л., Калдани Л. А., Папинашвили Л. К., Салуквадзе М. Е., Цомая В. Ш. Особенности формирования стихийных явлений в Грузии в 1987 г. // Материалы гляциол. исследований. Вып. 66. 1989. С. 60–65.
- Тареева А. М. Количество твердых осадков на ледниках Кавказа // Материалы гляциол. исследований. Вып. 40. 1981. С. 128–132.
- Тушинский Г. К. Ледники, снежники, лавины. М: Изд-во Географической литературы, 1963. 311 с.
- Шукин И. С. Общая геоморфология. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1960. 615 с.

Citation: Oleynikov A.D. Areas of maximum intensity of avalanche formation in the Greater Caucasus associated with large anomalies of temperature and humidity regime. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2024, 64 (2): 221–230. [In Russian]. doi 10.31857/S2076673424020059

Areas of maximum intensity of avalanche formation in the Greater Caucasus associated with large anomalies of temperature and humidity regime

A. D. Oleynikov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: geo2217@mail.ru

Received October 30, 2023 / Revised December 24, 2023 / Accepted April 10, 2024

The purpose of this paper is to substantiate the geographical boundaries of areas which are distinguished in the Greater Caucasus by the intensity of avalanche formation at the large-scale hydrometeorological anomalies and can be classified as “epicentres” of the avalanche activity. For the period of snow avalanche observations in the Caucasus in the 20th century, the Nature did twice demonstrate “experiments” in the winters of 1975/76 and 1986/87, during which especially intensive releases of avalanches occurred in the same areas of the southern macro-slope of the Central Caucasus. This work is an effort to answer the question – why the main impacts of the snow disasters occurred within the boundaries of the same territories. The results of the analysis show that the highest intensity of avalanche activity is observed in those areas where three factors of avalanche formation are simultaneously realized: a big number of large avalanche catchments, including ancient glacial cirque zones (corries); high snowiness; types of snow favourable for the mass releases of especially strong avalanches. In the Caucasus, these criteria are met by the usually identified watershed zone of the Main Caucasus Range and, as the analysis showed, the territory of mountainous Georgia in the Inguri River basin (with tributaries of the Nenskra, Nakra, Mestia-Chala, Dolra, Mulkhura rivers), as well as the upper reaches of the river Kodori (Abkhazia). According to the USSR Glacier Inventory (1986), up to 80% of the corrie relief forms of the southern macro-slope of the Caucasus are concentrated in the basins of the Inguri and Kodori rivers, many of which are centres of origin of especially strong avalanches. The high snowiness of this territory, as compared to neighbouring areas, is conditioned by the influence of the orography and the climate effect, that is seen on the map of the solid precipitation distribution in the Atlas of Snow and Ice Resources of the World (1997). Only in this sector of the Greater Caucasus is there a kind of “peninsula” of high snowfall extending for tens of kilometers towards the moisture-bearing airflows from the Black Sea. Temperature conditions in the zone of increased snow accumulation are the factor contributing to the avalanche formation, which is manifested in its structural, textural and strength properties.

Keywords: the Greater Caucasus, hydrometeorological anomalies, particularly great avalanches, intensity of avalanche activity, glacial kars, snowyness, types of snow

REFERENCES

- Atlas snezhno-ledovykh resursov mira. World Atlas of Snow and Ice Resources. Moscow: Russian Academy of Sciences, 1997: 392 p. [In Russian].
- Blagoveshchensky V. P. Opredelenie lavinnich nagruzok. Determination of avalanche loads. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1991: 115 p. [In Russian].
- Bozhinsky A. N., Losev K. S. Osnovi lavinovedeniya. Basics of avalanche science. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1987: 280 p. [In Russian].
- Volodicheva N. A., Oleynikov A. D. Koefficient anomalii osadkov kak pokazatel massovogo lavinoobrazovaniya i schoda katastroficheskikh lavin. Precipitation anomaly coefficient as an indicator of mass avalanche formation and catastrophic avalanches. Proc. of the 3rd All-Union Conference on Avalanches. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1989: 128–135. [In Russian].
- Zalikhanov M. Ch. Snegno-lavinniy regim i perspektivi osvoeniya gor Bolchogo Kavkaza. Snow-avalanche regime and prospects for development of the Greater Caucasus Mountains. Rostov-on-Don: Publishing house of Rostov University, 1981: 376 p. [In Russian].
- Zolotarev E. A. Izuchenie snega i lavin v Prielbrusie fotogrammetricheskimi metodami. Study of snow and avalanches in the Elbrus region using the photogrammetric

- method. Avalanches of the Elbrus region. Moscow: University of Moscow. 1980. 47–62. [In Russian].
- Katalog lednikov SSSR. USSR Glacier Inventory. V. 9. Is. 1. Moscow–Leningrad: Hydrometeoizdat, 1975: 88 p. [In Russian].
- Climatic atlas of the USSR. Moscow: Main Directorate of Hydrometeorological Service under the Council of Ministers of the USSR, 1960 (1): 181 p. [In Russian].
- Krenke A. N. Klimaticheskie uslovia souchestvovaniya sovremennogo oledeneniya Sredney Azii. Climatic conditions of the existence of modern glaciation in Central Asia. News of the Academy of Sciences. Geography series. 1973, 1: 20–35. [In Russian].
- Kuvaeva G. M. Obchie svedeniya o snegopadach Prial'brou-sia v svyazi so schodom katastroficheskikh lavin. General information about snowfalls in the Elbrus region in connection with catastrophic avalanches. Proc. of VGI. 1979, 1: 49–55. [In Russian].
- Lavinoopasnye rayoni USSR. Avalanche-prone areas of the Soviet Union. Moscow: University of Moscow. 1970: 199 p. [In Russian].
- Oleynikov A. D. Snegnye laviny iz lednikovech karov v usloviyakh bistro menyachegosia klimata. Snow avalanches from glacial ice caps in a rapidly changing climate. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2011, 3 (115): 79–84. [In Russian].
- Oleynikov A. D., Volodicheva N. A. Recent trends of snow avalanche regime in the Central Caucasus (Elbrus region as an example). *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2019, 2 (59): 191–200. [In Russian].
- Oleynikov A. D., Volodicheva N. A. Zimy lavinnogo maksimuma na Bolchom Kavkaze za period instrumental'nykh nabludeniy (1968–2016). Winters of the avalanche maximum in the Greater Caucasus during the period of instrumental observations (1968–2016). *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2020, 4 (60): 521–532. [In Russian].
- Svanidze G. G., Abdushelishvili K. L., Kaldani L. A., Papi-nashvili L. K., Salukvadze M. E., Tsomaia V. Sh. Oso-bennosti formirovaniya stihiyneykh yavleniy v Gruzii v 1987. Features of the formation of natural phenomena in Georgia in 1987. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1989, 66: 60–65. [In Russian].
- Tareeva A. M. Kolichestvo tverdekh osadkov na lednikakh Kavkaza. The amount of solid precipitation on the glaciers of the Caucasus. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1981, 40: 128–132. [In Russian].
- Tushinsky G. K. Ledniki, snegniki, lavini. Glaciers, snow-fields, avalanches. Moscow: Publishing House of Geographical Literature, 1963: 311 p. [In Russian].
- Shchukin I. S. Obshchaya geomorfologiya. General geomorphology. Moscow: Moscow State University. 1960, 1: 615 p. [In Russian].