

МОДЕЛИРОВАНИЕ СНЕЖНЫХ ЛАВИН ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА ПРОТИВОЛАВИННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

SNOW AVALANCHES MODELING FOR JUSTIFICATION OF A SELECTION OF SNOW AVALANCHES MITIGATION MEASURES

ЛАЗАРЕВ А.В.

Студент кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, a.v.lazarev79@gmail.com

LAZAREV A.V.

Student of the Department of Cryolithology and Glaciology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, a.v.lazarev79@gmail.com

ТУРЧАНИНОВА А.С.

Научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, alla_wave87@mail.ru

TURCHANINOVA A.S.

Research Scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, alla_wave87@mail.ru

СЕЛИВЕРСТОВ Ю.Г.

Научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, yus5@yandex.ru

SELIVERSTOV Yu.G.

Research Scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, yus5@yandex.ru

ГЛАЗОВСКАЯ Т.Г.

Ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, TG71@yandex.ru

GLAZOVSKAYA T.G.

Leading Research Scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, TG71@yandex.ru

СОКРАТОВ С.А.

Доцент кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, sokratov@geogr.msu.ru

SOKRATOV S.A.

Associate Professor of the Department of Cryolithology and Glaciology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, sokratov@geogr.msu.ru

КОМАРОВ А.Ю.

Младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, ankom9@gmail.com

KOMAROV A.Yu.

Junior Research Scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, ankom9@gmail.com

Ключевые слова: снежные лавины; моделирование; защита от лавин; RAMMS; ГИС.

Аннотация: представлены результаты исследования, направленного на совершенствование методических разработок по выбору и оценке эффективности противолавинных мероприятий с использованием математического моделирования и геоинформационного картографирования. Исследование выполнено на примере всепогодного туристско-рекреационного комплекса «Архыз» («Лунная поляна»), расположенного в Карачаево-Черкесии. В качестве инструментов использованы программа моделирования лавин RAMMS (Швейцария) и расчетные положения руководящих документов. Разработанный алгоритм оценки параметров снежных лавин для выбора инженерных противолавинных мероприятий включает в себя: выявление зон зарождения лавин, определение в них высоты снежного покрова заданной обеспеченности; моделирование лавин определенной повторяемости без и с включением в расчеты динамических характеристик лавин, влияния возможных противолавинных конструкций на местности; проверку эффективности работы выбранных мер защиты. Предложенный в работе подход может использоваться при проведении инженерных изысканий, а также проектировании и строительстве инженерных противолавинных сооружений.

Key words: snow avalanches; modeling of snow avalanches; avalanche protection; RAMMS; GIS.

Abstract: in the article, the results of study aimed to improve the methodology of selection the snow avalanches mitigation measures and assessment of their effectiveness based on numerical modeling and GIS are presented. The all-season recreation resort "Arkhyz" ("Lunnaya polyana") situated in Karachay-Cherkessia, the Caucasus, was used as an example. The snow avalanche dynamics model RAMMS (Switzerland) and Russian official engineering guidelines were the instruments of study. The resulting algorithm of snow avalanche dynamics parameters assessment for selection of mitigation measures consists of: identification of the snow avalanche release areas; estimation of the fracture snow height for an assigned return period; modeling of the snow avalanches for the assigned return period with and without effect of possible snow avalanches protection structures on the snow avalanches dynamical characteristics; verification of an effectiveness of the selected snow avalanches protection structures. The presented procedure can be implemented into the engineering practice and into the process of the decision making on the selection of the snow avalanches protection measures and the protection structures designing.

Введение

При освоении и эксплуатации горных территорий актуальной проблемой является правильный выбор мер защиты от снежных лавин. Действующие в России нормативные документы [4, 9 и др.] не дают четких рекомендаций по выбору тех или иных инженерных противолавинных сооружений, тогда как ошибки в выборе защитных мероприятий могут приводить к трагическим последствиям.

Целью проведенных исследований была разработка алгоритма выбора противолавинных мероприятий с использованием методов математического моделирования и геоинформационного картографирования. Расчет динамических характеристик возможных снежных лавин, определяемых рельефом и климатом района освоения, учет характера и уровня ответственности проектируемых объектов позволяют сделать выбор необходимых противолавинных мероприятий. Моделирование снежных лавин разной повторяемости с использованием современных программных средств до и после применения противолавинных сооружений является логичным способом получения представления об эффективности возможных мер защиты. Экономический аспект данного выбора на описываемой стадии исследования не рассматривался.

В качестве объекта исследования был выбран всесезонный туристско-рекреационный комплекс «Архыз» («Лунная поляна»), расположенный в Карачаево-Черкесии. Моделирование производилось в программе RAMMS [10, 11, 14], в основе которой лежит двумерная модель, позволяющая моделировать движение лавинного потока в условиях трехмерного рельефа и созданная на основе одномерной гидравлической модели Вельми — Зальма [12, 13] и ряда других разработок. Также были использованы расчетные положения нормативных документов [4, 8, 9].

Район исследования

Всесезонный туристско-рекреационный комплекс (ВТРК) «Архыз» («Лунная поляна», рис. 1) расположен на южном склоне хребта Абишира-Ахуба, в верхней части долины р. Большой Зеленчук в Карачаево-Черкесии. Бассейн этой реки традиционно относят к Западному Кавказу. Установлено, что рельеф и климат исследуемой территории крайне благоприятны для схода лавин, в том числе особо крупных [2]. Средняя многолетняя дата начала лавиноопасного периода в районе п. Архыз — 21 января, окончания — 7 марта, количество лавиноопасных дней — 46 [5]. Зона действия

лавин в бассейне р. Большой Зеленчук охватывает обширный диапазон высот — от 1 200 до 3 600 м, с крутизной склонов от 15 до 60°. Наибольшая относительная высота падения лавин колеблется в диапазоне от 1 400 до 1 700 м, объем переносимого снега — от десятков кубометров до более 1 млн м³ [6]. Максимальный зарегистрированный объем лавин здесь равен 1,5 млн м³. В бассейне р. Большой Зеленчук преобладают лотковые лавины из денудационных воронок (36%) и лотковые лавины из деформированных каров (35%), а также лотковые лавины из эрозионных врезов (25%). Наиболее лавиноопасны склоны СВ (26%), ЮЗ (18%) и СЗ (15%) экспозиций. При этом большая часть лавин останавливается на склонах (37%), а около 25% выходят на поймы рек и столько же перекрывают русла рек [6].

Комплекс «Архыз» открылся в 2013 г. и постоянно развивается. Для предотвращения образования лавин в одном из очагов были построены ряды снегоудерживающих сеток. В настоящее время в районе не проводятся профилактические мероприятия по защите от лавин и вопрос обеспечения лавинной безопасности остается нерешенным. Исследование выполнено на примере одной из очередей строительства ВТРК (рис. 2).



Рис. 1. Лунная поляна

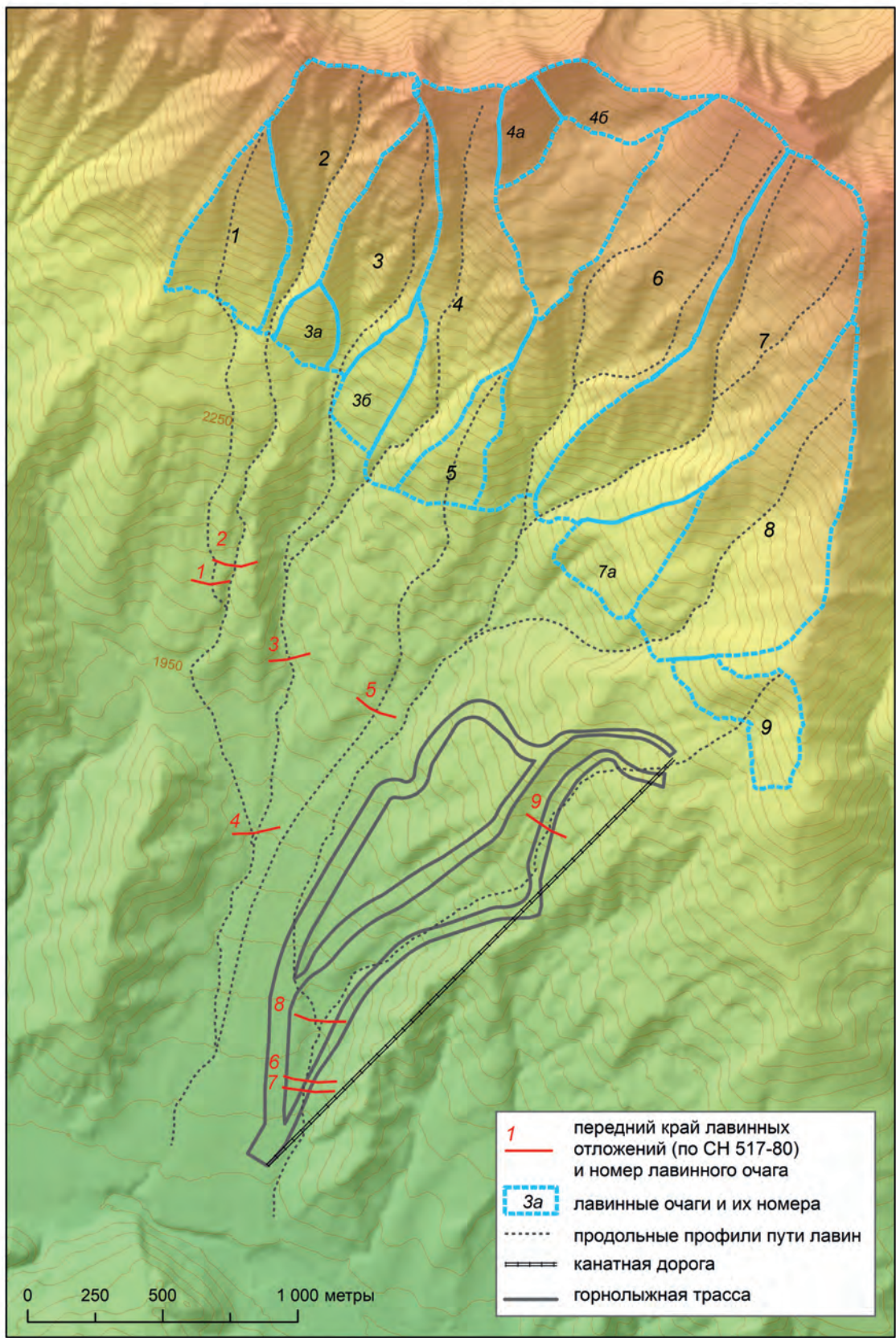


Рис. 2. Карта с результатами расчетов дальности выброса лавин по СН 517-80 в выделенных лавинных очагах

Лавинные очаги

Для выделения зон зарождения лавин и дальнейшего расчета их динамических параметров на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) выполнена оценка мор-

фометрических характеристик рельефа в среде ArcGIS. По карте углов наклона были выявлены территории, благоприятные для лавинообразования по данному показателю. Угол наклона, равный 25°, принят условно за нижний предел лавиноак-

тивных склонов, 60° — за верхний. Склоны круче 60° становятся практически безопасными в лавинном отношении, так как снег на них скапливается очень редко [1]. На следующем этапе по «перегибам» и «заломам» в горизонталях были

Таблица 1

Морфометрические характеристики лавинных очагов, расположенных на исследуемом склоне			
№ лавинного очага	Площадь, тыс. м²	Средний угол наклона, град.	Средняя абсолютная высота, м
1	186	34	2 550
2	288	38	2 780
3	239	38	2 635
4	416	33	2 625
5	94	27	2 330
6	630	30	2 720
7	706	30	2 690
8	515	26	2 520
9	118	31	2 360

Таблица 2

Максимальные значения высоты снежного покрова и объемы снежных лавин		
№ лавинного очага	Толщина снежного покрова 1%-ной обеспеченности, м	Объемы снежных лавин, млн м³
1	4,3	0,8
2	4,8	1,4
3	4,4	1,1
4	4,4	1,8
5	3,5	0,3
6	4,6	2,9
7	4,6	3,2
8	4,2	2,2
9	3,7	0,4

Таблица 3

Характеристики снежных лавин, рассчитанные по СН 517-80		
№ лавинного очага	Дальность выброса, м	Максимальная скорость, м/с
1	1 767	51
2	1 950	48
3	2 181	62
4	3 150	73
5	1 404	34
6	4 216	80
7	4 248	78
8	3 588	59
9	1 110	33

выделены характерные для лавинообразования формы рельефа. Данный процесс проводился вручную с учетом линий тока, построенных с использованием средств анализа в ArcGIS. Изучение материалов предшествующих исследований [2], космических снимков, характера растительности, а также применение инструментов программы ArcGIS 10.3 позволили выделить на исследуемом склоне

9 лавинных очагов (рис. 2), расположенных над объектами инфраструктуры ВТРК. Их морфометрические характеристики приведены в табл. 1.

Высота снежного покрова

Максимальная высота снежного покрова в зонах зарождения лавин должна определяться многолетними наблюде-

ниями [4]. Для выбираемых инженерных защитных сооружений обеспеченность максимальной высоты снежного покрова принимается равной 1%. Максимальная высота снежного покрова 1% обеспеченности на метеостанции «Архыз» (1 456 м) составляет 124 см, а на уровне зон зарождения лавин может превышать 300 см [7]. Более точные данные отсутствуют.

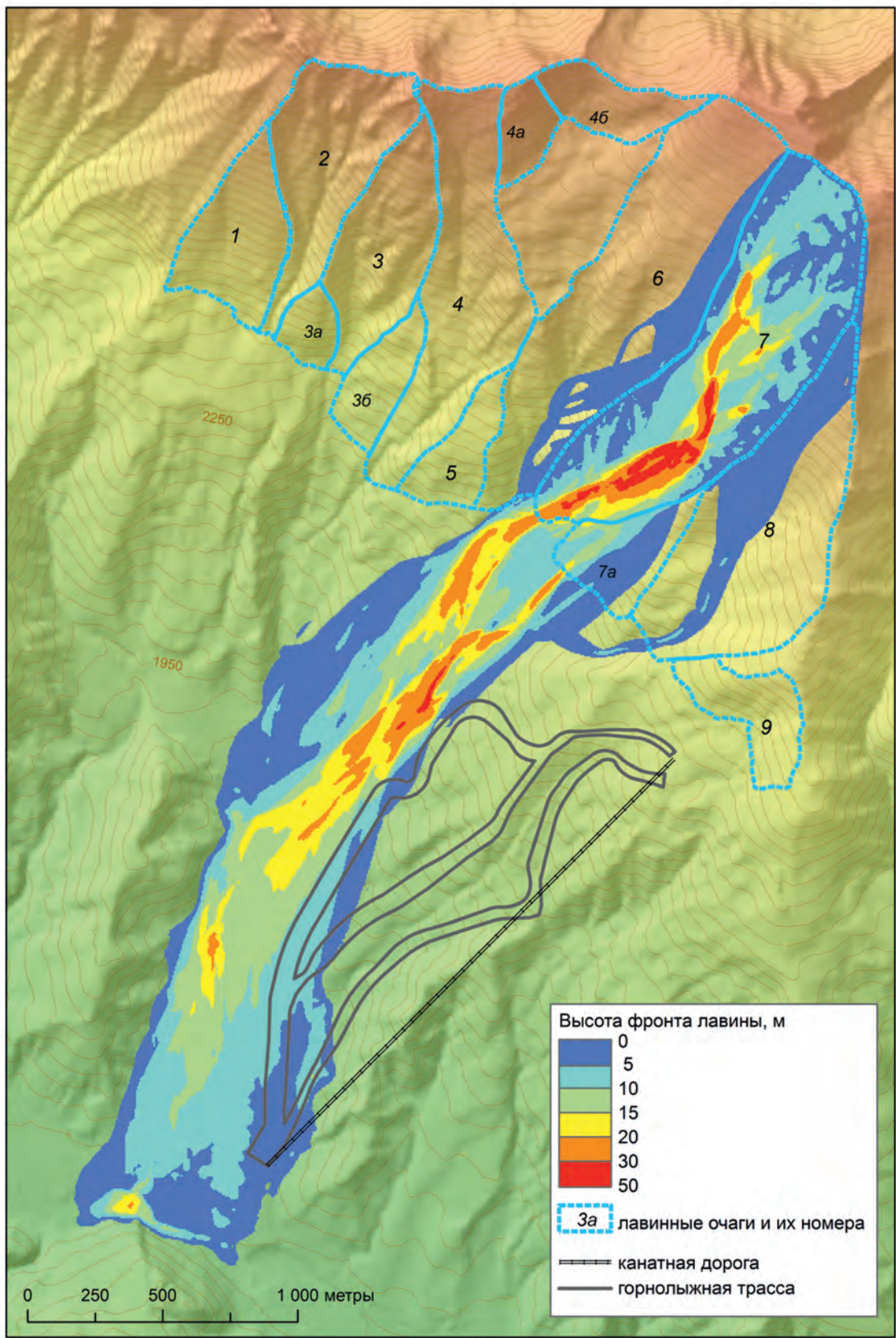


Рис. 3. Карта максимальной высоты фронта лавины, смоделированной в RAMMS (на примере лавинного очага № 7)

Для обоснования выбора инженерных противолавинных мероприятий были рассчитаны максимальные значения высоты снежного покрова 1%-ной обеспеченности по вертикальному градиенту снежности, полученному по данным

прямых наблюдений [7] за период 1979–1990 гг., и объемы снежных лавин для выделенных лавинных очагов (табл. 2). Расчет выполнялся от значения высоты снежного покрова на метеостанции «Архыз» (1 456 м). Объемы снежных лавин

были рассчитаны по данным о площади лавинного очага (см. табл. 1) и толщине снежного покрова 1%-ной обеспеченности (см. табл. 2) в нем. Рядом исследователей [1, 3 и др.] предложены расчетные методы определения максимального

Таблица 4

Характеристики снежных лавин, рассчитанные в RAMMS			
№ лавинного очага	Высота фронта, м	Скорость, м/с	Давление, кПа
1	21	57	1006
2	44	74	1644
3	37	67	1367
4	46	72	1596
5	10	39	471
6	47	71	1552
7	50	74	1684
8	47	55	925
9	21	42	551

объема снежных лавин, учитывающие доли сносимого снега, как по площади лавинного очага, так и по высоте сносимого снега. В настоящее время пока еще достоверно не определены эти доли для расчета максимальных значений объемов особо крупных снежных лавин, поэтому и было принято решение не учитывать их в данном исследовании, а рассмотреть в работе самый негативный из возможных сценариев.

Моделирование снежных лавин определенной повторяемости

Для определения границ лавиноопасных зон в интересах выбора эффективных противолавинных мероприятий в работе выполнены расчеты динамических характеристик лавин с применением: а) традиционно востребованной в нашей стране одномерной модели из СН 517-80 [8]; б) двумерной модели RAMMS 1.6.20 [10, 11, 14].

В соответствии с рекомендациями СН 517-80 [8] по продольным профилям были рассчитаны дальности выброса и максимальные скорости движения лавин с повторяемостью реже, чем раз в 50 лет. Анализ полученных результатов (табл. 3, см. рис. 2) показал, что объекты (горнолыжная трасса и опоры канатной дороги) находятся в зоне воздействия лавин из очагов № 6, 7, 8, 9.

Отличие от одномерных моделей из СН 517-80 [8] и ВСН 02-73 [4] заложенная в программу RAMMS двумерная модель позволяет моделировать образование лавин с разной площадью и высотой обрушающегося пласта снега, а также движение лавинного потока в условиях трехмерного рельефа. Программа дает возможность рассчитать значения динамических характеристик снежных лавин (высоту потока, ско-

рость, силу удара) для всей поверхности лавиносбора, а не на отдельно выбранном продольном профиле. Для моделирования в RAMMS необходимо иметь ЦМР и задать: зону зарождения лавины, осредненную высоту снежного покрова заданной обеспеченности в ней, а также коэффициенты трения μ (сухое трение, -) и ζ (турбулентное или вязкое трение, м/с²) [11, 14]. В моделировании использовались данные о высоте снежного покрова 1%-ной обеспеченности из табл. 2 и ЦМР, которая была составлена по данным SRTM.

В работе [10] было установлено, что для моделирования особо крупных лавин с применением заложенной в программу RAMMS модели в Приэльбрусье следует использовать те же коэффициенты трения (μ (-) и ζ (м/с²)), что и в Швейцарии. В связи с отсутствием требуемой для более точного определения этих коэффициентов статистики при моделировании снежных лавин в Архызе были использованы те же значения ($0,15 \leq \mu \leq 0,28$; $1\,500 \leq \zeta \leq 4\,000$), что и в Швейцарии и Приэльбрусье [10, 11, 14].

Для каждого лавинного очага (рис. 3) были рассчитаны: дальность выброса, высота фронта, скорость движения и давление лавин с повторяемостью 1 раз в 100 лет (табл. 4). Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что хозяйственно-рекреационные объекты района могут быть подвержены воздействию лавин из лавинных очагов № 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9. Самые разрушительные характеристики имеют лавины из лавинных очагов № 6 и 7. Их максимальные скорости превышают 70 м/с, значения давления составляют 1 500–1 600 кПа. Максимальные значения динамических характеристик лавин наблюдаются в зоне транзита, где про-

ходит горнолыжная трасса. Результаты моделирования в RAMMS показали, что лавины могут доходить до нижней станции канатной дороги с обслуживающими курорт постройками (см. рис. 3), где расчетная высота фронта составляет около 4–5 м, сила удара — 145 кПа.

Результаты расчетов дальности выброса лавин с использованием СН 517-80 и RAMMS сильно отличаются, что обусловлено разным периодом повторяемости, заданным при расчетах в двух разных моделях (в RAMMS — 1 раз в 100 лет; в СН 517-80 — реже 1 раза в 50 лет). Исходя из необходимости обеспечения лавинной безопасности проектируемых объектов и наличия сведений о том, что снежные лавины в прошлом достигали русла р. Большой Зеленчук [6], при выборе инженерных противолавинных мероприятий будем руководствоваться результатами расчетов, выполненных в RAMMS.

Выбор и оценка эффективности противолавинных сооружений

Анализ особенностей рельефа и климата района исследования, а также моделирование лавин определенной повторяемости позволили сделать выбор противолавинных мероприятий и определить места размещения и параметры инженерных сооружений в соответствии с требованиями нормативных документов [8, 9], регулирующих инженерные изыскания в строительстве.

Для обеспечения лавинной безопасности горнолыжного курорта рекомендуется применение профилактических и защитных инженерных мероприятий.

Предлагаемые профилактические мероприятия: организация мониторинга состояния снежного покрова; разра-

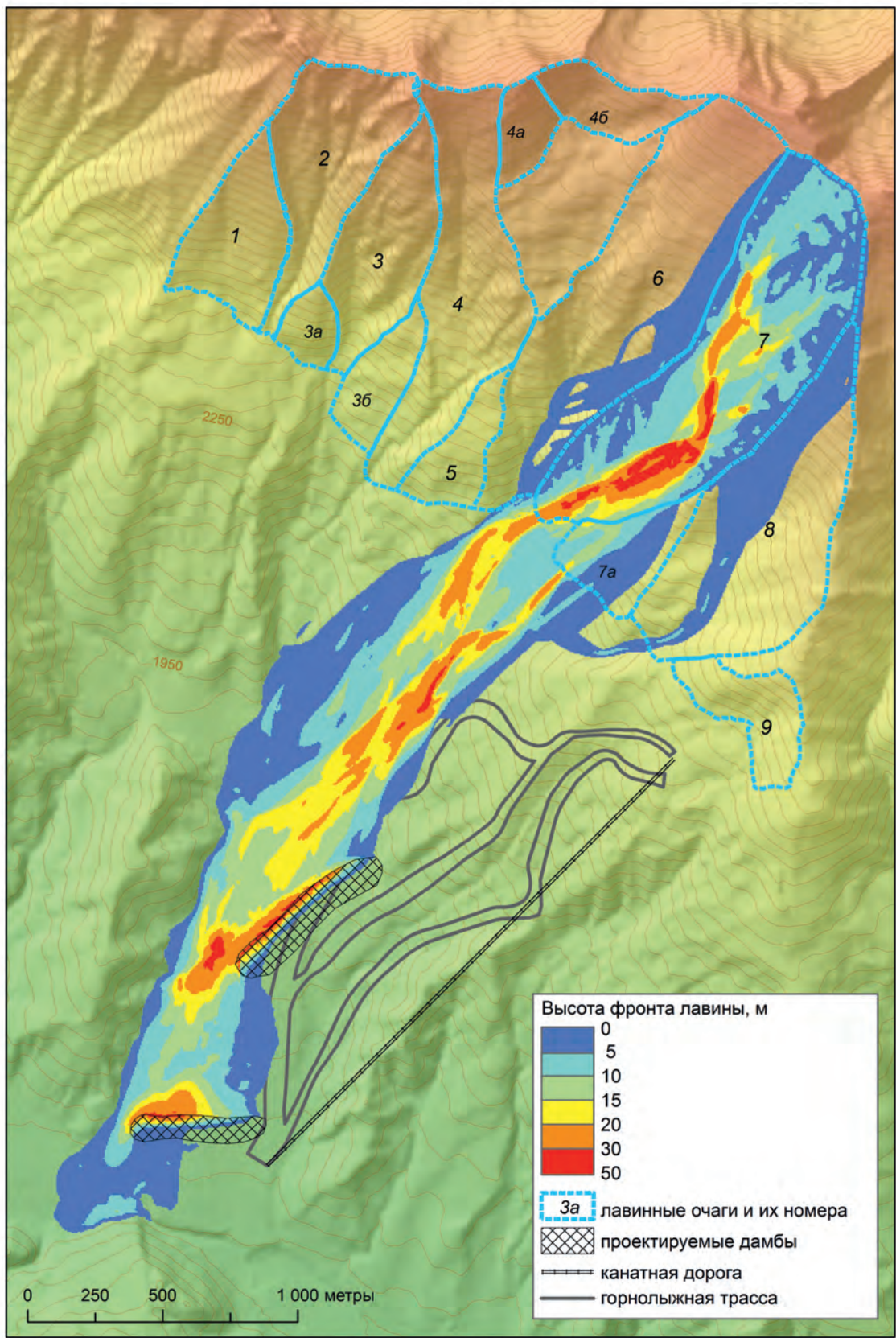


Рис. 4. Карта максимальной высоты фронта лавины, смоделированной в RAMMS с учетом противолавинных дамб (на примере лавинного очага № 7)

ботка прогнозов времени схода лавин; закрытие трасс в периоды лавинной опасности; проведение предупредительных спусков лавин. Отдельные участки горнолыжных трасс предлагается перенести.

Для защиты нижней станции канатной дороги от лавин рекомендуется строительство двух дамб (первая дамба: длина 650 м, высота 35 м; вторая дамба: длина 500 м, высота 30 м). Направляющие дамбы целесообразно

устанавливать под углом 20–30° к движению лавин [9] при крутизне склона менее 23° [10]. Анализ ранее полученных в работе материалов позволил рассчитать параметры дамб и определить места их установки

(рис. 4), разместив таким образом, чтобы, по возможности, сохранить видовые характеристики ландшафта и полностью не перегородить склон, оборудованный для горнолыжного катания. Тем не менее одну из трасс, проложенную в месте предполагаемого размещения отбойной дамбы (см. рис. 3), рекомендуется перенести. Для оценки эффективности противолавинных дамб выполнено повторное моделирование лавин в RAMMS с «встроенными» в цифровую модель рельефа защитными сооружениями (см. рис. 4). «Встраивание» дамб в исходную ЦМР исследуемого склона проводилось в ArcGIS 10.3 с помощью специально разработанного алгоритма. Результаты повторного моделирования показали, что дамбы с рассчитанными в работе характеристиками удовлетворительно выполняют свои защитные функции.

Выводы

Внедрение двумерной модели в процесс выбора инженерных противолавинных мероприятий позволяет получить представления об изменении значений динамических характеристик лавин, а также характера их движения и воздействия на проектируемые объекты в результате применения предлагаемых способов защиты. Так, один из возможных вариантов противолавинных мероприятий, который предусматривает строительство двух дамб, был проанализирован в данной работе и показал свою эффективность: сооружения не допускают выход лавин (с повторяемостью 1 раз в 100 лет) на канатную дорогу.

Предложенный алгоритм, в основе которого лежат использование методов геоинформационного картографирования, математического моделирования и учет рекомендаций нормативных доку-

ментов РФ в области инженерных изысканий в лавиноопасных районах, может позволить сделать выбор защитных инженерных сооружений более обоснованным, а их работу более эффективной. При практическом применении такого метода возможен учет и экономической целесообразности при выборе мер защиты путем моделирования конструкций различной стоимости и эффективности.

Предложенный подход может быть учтен при усовершенствовании нормативных документов, регулирующих инженерные изыскания в строительстве, а также при проектировании и строительстве инженерных противолавинных сооружений. 

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ 16-1700104 «Лавинный и селевой риск на территории России: оценка, прогноз и меры по его снижению».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благовещенский В.П. Определение лавинных нагрузок. Алма-Ата: Гылым, 1991. 115 с.
2. Володичева Н.А., Олейников А.Д. Анализ условий снежности и лавинной деятельности Архызского района (Западный Кавказ) за 47 лет (1932–1979 гг.) // Труды ВГИ. 1984. Вып. 52. С. 110–117.
3. Войтковский К.Ф. Лавиноведение. М.: Изд-во МГУ, 1989. 157 с.
4. ВСН 02-73 Указания по расчету снеголавинных нагрузок при проектировании сооружений. М.: Московское отделение Гидрометеоздата, 1973. 24 с.
5. Залиханов М.Ч. Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1981. 376 с.
6. Заруднев В.М. Лавинная опасность в бассейне р. Большой Зеленчук // Сб. работ РГМО. Л.: Гидрометеоздат, 1980. Вып. 17. С. 17–33.
7. Заруднев В.М., Салтагаров А.Д., Хома И.И. Лавинно-селевая опасность бассейнов рек Теберда, Большой Зеленчук, Мзымта и защита от снежных лавин и селей горнолыжных комплексов Домбай, Архыз, Красная Поляна // Труды Тебердинского государственного заповедника. Кисловодск: Северо-Кавказское издательство «МИЛ», 2007. Вып. 46. 287 с.
8. СН 517-80. Инструкция по проектированию и строительству противолавинных защитных сооружений. М.: Стройиздат, 1980. 17 с.
9. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. М.: Минрегионразвития, 2012. 59 с.
10. Турчанинова А.С., Селиверстов Ю.Г., Глазовская Т.Г. Моделирование снежных лавин в программе RAMMS в России // Геориск. 2015. № 4. С. 50–55.
11. Christen M., Bartelt P., Kowalski J. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain // Cold Regions Science and Technology. 2010. № 63. P. 1–14.
12. Salm B. Contribution to avalanche dynamics. International Association of Scientific Hydrology Publication 69 // Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches: Symposium in Davos 1965. Wallingford: IAHS Press, 1966. P. 199–214.
13. Voellmy A. Über die Zerstörungskraft von Lawinen // Schweizerische, Bauzeitung. 1955. Vol. 73. P. 212–285.
14. RAMMS. Rapid mass movement simulation: официальный сайт, посвященный программе RAMMS. [Электронный ресурс]: URL: <http://ramms.slf.ch/ramms/>.

SNOW AVALANCHES MODELING FOR JUSTIFICATION OF A SELECTION OF SNOW AVALANCHES MITIGATION MEASURES

LAZAREV A.V.

Student of the Department of Cryolithology and Glaciology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, a.v.lazarev79@gmail.com

TURCHANINOVA A.S.

Research Scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, alla_wave87@mail.ru

SELIVERSTOV Yu.G.

Research Scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, yus5@yandex.ru

GLAZOVSKAYA T.G.

Leading Research Scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, TG71@yandex.ru

SOKRATOV S.A.

Associate Professor of the Department of Cryolithology and Glaciology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, sokratov@geogr.msu.ru

KOMAROV A.Yu.

Junior Research Scientist of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, ankorm9@gmail.com

Summary

Selection of effective snow avalanches mitigation measures is among the most important problems for the snow avalanches-endangered territories. The development of a procedure for the selection protection constructions using numerical modeling and GIS was the main goal of the conducted research. The all-season recreation resort "Arkhyz" ("Lunnaya polyana") situated in Karachay-Cherkessia, the Caucasus, was used as an example. The snow avalanche dynamics model RAMMS (Switzerland) and Russian official engineering guidelines were the instruments of study.

The resulting algorithm of snow avalanche dynamics parameters assessment for selection of mitigation measures

consists of: identification of the snow avalanche release area; estimation of the fracture snow height for an assigned return period; modeling of the snow avalanches for the assigned return period with and without effect of possible snow avalanches protection structures on the snow avalanches dynamical characteristics; verification of an effectiveness of the selected snow avalanches protection structures.

Temporary preventive as well as structural protective avalanche protection measures are recommended for the avalanche safety support in the investigated region. The offered temporary measures: snowpack properties monitoring; avalanche forecast and warning; closure of ski pistes during the avalanche hazard periods; artificial avalanche triggering. Certain sites of ski pistes are offered to transfer to safe places. The verification of recommended structural measures was done by adding the selected snow avalanches protection structures to DEM (as dam included in GIS). The interpretation of RAMMS simulations with dams incorporated by the expert opinion (based on the Russian official engineering guidelines) has been made in order to assess their reliability and to confirm the dams' protective function.

The implementation of the two-dimensional avalanche numerical model to the avalanche protection measures decision making allows receiving data on the avalanche dynamics characteristics and the flow behavior change as a result of possible structural avalanche protection measures application. So, one of possible avalanche protection scenarios (based on the Russian official engineering guidelines) which assume the construction of two avalanche protection dams has shown that the offered structures protect the ski lift against avalanches with 100 years return period.

The offered procedure based on the application of the numerical modeling and GIS accounting Russian official engineering guidelines is able to make avalanche protection measures selection more relievable and their application more effective. The account of economic feasibility is possible in the process of the decision making on the selection of the snow avalanches protection measures in the practice by modeling of different avalanche protection scenarios of different cost.

The presented procedure can be implemented into the engineering practice and into the process of the decision making on the selection of the snow avalanches protection measures and the protection structures designing. 

REFERENCES

1. *Blagoveshhenskiy V.P.* Opredelenie lavinnyh nagruzok [Snow Avalanche Load Determination]. Alma-Ata: Gylym, 1991. 115 s. (Rus.)
2. *Volodicheva N.A., Olejnikov A.D.* Analiz uslovij snezhnosti i lavinnoj deyatel'nosti Arhyzskogo rajona (Zapadnyj Kavkaz) za 47 let (1932–1979 gg.) [Analysis of the Conditions of the Snowiness and Avalanche Activity in the Arkhyz region (Western Caucasus) during 47 years (1932–1979)] // *Trudy VGI* [Proceedings of the High-Mountain Geophysical Institute]. 1984. Vol. 52. S. 110–117. (Rus.)
3. *Vojtkovskij K.F.* Lavinovedenie [Avalanche Studies]. M.: Izd-vo MGU, 1989. 157 s. (Rus.)
4. VSN 02-73. Ukazaniya po raschetu snegolavinnyh nagruzok pri proektirovanii sooruzhenij [Instructions for Calculating Snow Avalanche Loads in the Design of Constructions]. M.: Moskovskoe otdelenie Gidrometeoizdata, 1973. 24 s. (Rus.)
5. *Zalihanov M.Ch.* Snezhno-lavinnyj rezhim i perspektivy osvoeniya gor Bol'shogo Kavkaza [Snow Avalanche Regime and Perspectives of Development of the Greater Caucasus Mountains]. Rostov n/D: Izd-vo RGU, 1981. 376 s. (Rus.)

6. *Zarudnev V.M.* Lavinnaya opasnost' v bassejne r. Bol'shoj Zelenchuk [Snow Avalanche Hazard in the Bolshoy Zelenchuk River Basin] // Sb. rabot RGMO [Proceedings of RGMO]. L.: Gidrometeoizdat, 1980. Vol. 17. S. 17-33. (Rus.)
7. *Zarudnev V.M., Salpagarov A.D., Homa I.I.* Lavinno-selevaya opasnost' bassejnov rek Teberda, Bol'shoj Zelenchuk, Mzymta i zashhita ot snezhnyh lavin i selej gornolyzhnyh kompleksov Dombaj, Arhyz, Krasnaya Polyana [Snow Avalanche and Debris Flow Hazard of the Teberda, Bolshoy Zelenchuk and Mzymta River Basins. Snow Avalanche and Debris Flow Preventive Measures for Dombay, Arkhyz and Krasnaya Polyana Ski resorts] // Trudy Teberdinskogo gosudarstvennogo zapovednika [Proceedings of the Teberda Nature Reserve]. Kislovodsk: Severo-Kavkazskoe izdatel'stvo «MIL», 2007. Vol. 46. 287 s. (Rus.)
8. SN 517-80. Instrukciya po proektirovaniyu i stroitel'stvu protivolavinyh zashhitnyh sooruzhenij [Instruction for the Design and Construction of Avalanche Protection Structures]. M., 1980. 17 s. (Rus.)
9. SP 116.13330.2012. Inzhenernaya zashhita territorij, zdaniy i sooruzhenij ot opasnyh geologicheskikh processov. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 22-02-2003 [Engineering Protection of Territories, Buildings and Structures from Dangerous Geological Processes. Basic principles. Revised edition of the SNiP 22-02-2003]. M., 2012. 59 s. (Rus.)
10. *Turchaninova A.S., Seliverstov Yu.G., Glazovskaya T.G.* Modelirovanie snezhnyh lavin v programme RAMMS v Rossii [Modeling of Snow Avalanche Using RAMMS in Russia] // Georisk [Georisk]. 2015. № 4. S. 50–55. (Rus.)
11. *Christen M., Bartelt P., Kowalski J.* RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain // Cold Regions Science and Technology. 2010. № 63. P. 1–14.
12. *Salm B.* Contribution to avalanche dynamics. International Association of Scientific Hydrology Publication 69 // Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches: Symposium in Davos 1965. Wallingford: IAHS Press, 1966. P. 199–214.
13. *Voellmy A.* Über die Zerstörungskraft von Lawinen // Schweizerische, Bauzeitung. 1955. Vol. 73. P. 212–285.
14. RAMMS. Rapid mass movement simulation: RAMMS official web site. [Electronic resource]. URL: <http://ramms.slf.ch/ramms/>.