

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ

УДК 504.75.06:332.362:911.9

doi: 10.31857/S2076673421030094

Оценка эффективности противолавинных мероприятий на горнолыжном курорте «Красная Поляна»

©2021 г. Д.И. Коровина*, А.С. Турчанинова, С.А. Сократов

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

*dasha.korovina1998@gmail.com

Performance evaluation of anti-avalanche measures at the «Krasnaya Polyana» ski resort

D.I. Korovina*, A.S. Turchaninova, S.A. Sokratov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*dasha.korovina1998@gmail.com

Received February 15, 2021 / Revised March 24, 2021 / Accepted June 25, 2021

Keywords: *snow avalanches, anti-avalanche (mitigation) measures, efficiency, numerical modeling, program RAMMS, remote avalanche control system Gazex.*

Summary

For the first time, a qualitative and quantitative evaluation of the effectiveness of anti-avalanche measures was carried out for the territory of the «Krasnaya Polyana» ski resort, located in the Western Caucasus on the Aibga ridge. The following materials were used for this work: the results of field survey in 2019, which made it possible to map the resort's infrastructure exposed to possible snow avalanches and protected by existing preventive (anti-avalanche) measures, experience of similar studies from other regions as well as identification of the avalanche release zones by means of digital elevation model and analysis of remote sensing data, archive data on the snow avalanches regime at the site, and numerical modeling of the snow avalanches with different starting conditions. Modeling of the avalanches was performed in the RAMMS program basing on three scenarios: 1) taking account of the successful operation of existing anti-avalanche measures; 2) with regard for the failures in the work of existing anti-avalanche measures that were recorded earlier during the operation of the resort; 3) without considering any anti-avalanche measures, which corresponded to the conditions at the stage of the territorial planning of the resort. Differences in the impact of simulated avalanches on the resort infrastructure were interpreted as «high», «medium» and «low» effectiveness of existing anti-avalanche measures. It was found that the dynamical characteristics of the local avalanches (run-out distance, volume, velocity, and pressure) had different importance for different types of the infrastructure with regard to the effectiveness of anti-avalanche measures. Under existing conditions of the relief, climate and vegetation of the investigated territory the artificial triggering (at the ski resort it is mainly made by the Gazex systems) is the most efficient. Snow-retaining structures often do not perform their functions, while dams and avalanche cutters can be successful only in combination with the properly functioning artificial triggering. It was found that there are areas where the run-out distance of artificially controlled avalanches is smaller than that of possible natural avalanches, and these areas can still be dangerous for the infrastructure of the resort due to the high values of the avalanche speed and pressure.

Citation: Korovina D.I., Turchaninova A.S., Sokratov S.A. Performance evaluation of anti-avalanche measures at the «Krasnaya Polyana» ski resort. *Led i Sneg. Ice and Snow.* 2021. 61 (3): 359–376. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673421030094.

Поступила 15 февраля 2021 г. / После доработки 24 марта 2021 г. / Принята к печати 25 июня 2021 г.

Ключевые слова: *снежная лавина, противолавинные мероприятия, эффективность, математическое моделирование, программа RAMMS, система сброса лавин Gazex®.*

Впервые на основе предложенного в работе комплексного подхода выполнена оценка инженерно-географической эффективности всех видов противолавинных мероприятий, применяемых на горнолыжном курорте «Красная Поляна», с использованием метода математического моделирования лавин. В условиях рельефа, климата и растительности исследуемой территории искусственно регулируемый сброс лавин (в основном осуществляемый системами Gazex®) наиболее эффективен. Снегоудерживающие сооружения не всегда выполняют свои функции, в то время как дамбы и лавинорезы могут быть эффективными только в комплексе с искусственно регулируемым сбросом лавин. Предложенная авторами методика оценки эффективности методов защиты от лавин может использоваться при планировании противолавинных мероприятий, позволяя снижать экономические затраты при организации и функционировании курортов.

Введение

Промышленное и рекреационное освоение горных территорий России требует обоснования целесообразности тех или иных способов обеспечения лавинной безопасности объектов инфраструктуры в случае невозможности их расположения вне лавиноопасных зон. Однако утверждённой методики оценки эффективности противолавинных мероприятий и сооружений как в отечественной нормативной документации, так и в мировой практике пока нет.

Проблеме оценке эффективности противолавинных мероприятий уделялось внимание в работах Е.С. Трошкиной и К.Ф. Войтковского [1], А.А. Жигульского [2, 3], С.М. Мягкова [4], где приводились главным образом качественные оценки, основанные на анализе специфики лавинообразования в отдельных горных районах. Так, для предварительного выбора способов защиты К.Ф. Войтковским и Е.С. Трошкиной [5] была предложена методика прогнозной оценки эффективности противолавинных мероприятий на территорию СССР, основу которой составляли фоновые осреднённые характеристики влияния региональных особенностей природных условий и снеголавинного режима на работоспособность основных видов защитных мероприятий и сооружений. Эффективность противолавинных мероприятий оценивалась качественно по трёхбалльной шкале – высокая, средняя, низкая.

Другой подход был принят в рамках проекта PROTECT в Швейцарии и соседних странах, где эффективность противолавинного сооружения определялась количественно изменением площади лавиноопасной территории для лавин разной повторяемости в результате применения противолавинных мероприятий [6, 7], а степень лавинной опасности – количественными характеристиками возможных лавин. В качестве метода оценки эффективности рассматривались и прямые затраты на различные комплексы противолавинных мероприятий на определённой территории и соответствующий им индивидуальный риск [8]. Кроме того, эффективность противолавинных мероприятий рассчитывалась и через отношение числа лавин, вызвавших ущерб или приведших к жертвам, а также без них [9], или через количественный расчёт доли объёма лавины, которую существующее защитное со-

оружие способно задержать [10]. Проблемы эффективности защиты от лавин комплексно рассмотрены в работе [11].

А.А. Жигульским [3] предложено определение «эффективности» как показателя целесообразности и результативности применения защитных сооружений при заданных природных условиях, характеризующееся совокупностью таких свойств, как надёжность, результативность и экономичность. В методическом отношении оценка эффективности защитных мероприятий тесно связана с оценкой параметров лавинной опасности и ущерба, предотвращаемого с помощью противолавинных мероприятий. Выбор противолавинных мероприятий и сооружений и соответствующая им эффективность определяются не только факторами лавинообразования и параметрами самих лавин, но и характером промышленного освоения, типами и значимостью защищаемых объектов, их уязвимостью [12]. Очевидно, что инвестирование средств в противолавинную защиту требует экономических оценок. Таким образом, оценка эффективности противолавинных мероприятий включает в себя два основных аспекта: инженерно-географический и экономический [3].

В настоящей работе на основе собранных данных по использованию противолавинных мероприятий и сооружений выполнена оценка их инженерно-географической эффективности (далее называемой «эффективностью») на примере горнолыжного курорта (ГЛК) «Красная Поляна» (ранее «Горки Город» и «Горная Карусель»), расположенного на хр. Аибга в районе Красной Поляны (Западный Кавказ). Территория курорта интересна тем, что на относительно небольшой площади с общими факторами лавинообразования для защиты объектов инфраструктуры одновременно применяется практически полный спектр существующих противолавинных мероприятий (профилактические, лавинопредотвращающие и лавинозащитные) с наибольшим распространением систем предупредительного спуска лавин Gazex® [13, 14].

Район исследования

После XXII Олимпийских зимних игр 2014 г. район Красной Поляны стал крупным современным центром зимних видов спорта. Терри-

тория горнолыжного курорта «Красная Поляна» расположена на северном склоне хр. Аибга, простирающегося с северо-запада на восток параллельно Главному хребту Западного Кавказа в долине р. Мзымта. Орография исследуемого района определяется средне- и высокогорным рельефом с перепадом абсолютных отметок от 550 м (в статье везде даются абсолютные высоты) на днище долины р. Мзымта до 2200–2450 м на хр. Аибга. Верхняя часть хребта представлена скалистыми гребнями с карами, денудационными воронками, эрозийными врезами, часто с отвесными склонами. Глубина расчленения рельефа превышает 1900 м. В геоморфологическом отношении рельеф территории относится к альпийскому. На исследуемой территории значительные площади представлены склонами с углами наклона 25–60°, что благоприятно для зарождения и движения лавин [15].

Район исследования относится к субтропической черноморской области с избыточным увлажнением [16], где преобладают процессы западной и юго-западной циркуляции в системах атлантических средиземноморских и черноморских циклонов. Количество осадков возрастает с северо-запада на юго-восток, а также с увеличением высоты. Это позволяет отнести район исследования к «субтропическому типу лавинного режима» [17], который характеризуется развитием процессов лавинообразования в условиях положительных температур холодного периода и интенсивных продолжительных снегопадов, приводящих к значительному снегонакоплению [17]. Оба фактора способствуют высокой лавинной активности.

Для высокогорья Западного Кавказа (>2000 м) характерна фрагментарная нивальная растительность, альпийские и субальпийские луга с кустарниками рододендрона, которые не препятствуют зарождению лавин и определяют высокую степень лавинной опасности. В средне- и низкогорье (1000–2000 м) преобладает берёзовое и буковое криволесье, кустарниковые заросли и редкие хвойные и широколиственные леса. Лесная растительность представлена хвойными и широколиственными древесными породами, которые, согласно некоторым исследованиям, не всегда препятствуют лавинообразованию в рассматриваемом районе [18].

Особенности лавинного режима

Согласно данным, собранным и предоставленным авторам статьи противолавинной службой курорта «Красная Поляна», на хр. Аибга снежный покров образуется уже в октябре, в долине первый снег отмечается в начале декабря, а устойчивый снежный покров формируется через месяц. Число дней со снежным покровом в среднем составляет: в пос. Красная Поляна – 78 дней, на гребнях и седловинах хр. Аибга – 200–215 дней. Время разрушения снежного покрова – май–июнь. Толщина снежного покрова в зоне отрыва лавин на курорте «Красная Поляна» может достигать более 300 см, но в среднем варьирует от 100 до 270 см. Температуры воздуха с ноября–декабря имеют отрицательные значения (до –7,2 °С в январе), иногда наблюдаются оттепели. В апреле температура устойчиво переходит в сторону положительных значений.

Большинство лавин зарождается в высотном диапазоне 1800–2200 м. Зоны отложения расположены главным образом на высоте 1000–1500 м, однако лавины больших объёмов достигают отметок 600 м. Важную роль в формировании лавин исследуемого региона, по данным Н.А. Казакова и др. [18], играет перекристаллизация снежной толщи. Под воздействием сильных ветров и метелей на вершинном гребне хр. Аибга образуются многометровые карнизы, обрушение которых нередко становится причиной формирования снежных лавин [19]. На территории горнолыжного курорта граница леса расположена на высоте от 1800 до 2100 м. Наличие густого леса снижает возможность образования лавин крупных объёмов, однако в лесу, на склонах крутизной более 35°, не исключено формирование небольших лавин, способных нанести ущерб человеку и небольшим сооружениям.

Анализ данных противолавинной службы курорта «Красная Поляна» показал, что на долю сухих лавин снегопадов и метелей приходится более 50% (62% – зимний период 2008/09 г., 73% – зимний период 2011/12 г.). Обычно эти лавины сходят после обильных снегопадов с приростом снега толщиной более 1 м. Такие снегопады в районе исследования наблюдаются регулярно – несколько раз за холодный период. Лавинная опасность в рассматриваемом районе определяется лавинами практически всех генетических

типов (из свежеснежавшего снега, инсоляционные и адвекционные, перекристаллизации, метелевые). Лавины из свежеснежавшего снега в исследуемом районе могут достигать катастрофических объёмов – до 1 млн м³ [20]. При анализе лавинного режима территории курорта «Красная Поляна» необходимо учитывать происходящие в результате его освоения реформации рельефа и растительности, приводящие к изменению динамических характеристик возможных лавин и появлению новых лавиноопасных территорий [21].

Методика и материалы

В процессе работы использованы следующие методы: полевых исследований; математической статистики; математического моделирования лавин; геоинформационного картографирования. Расчёты динамических характеристик снежных лавин выполнены с учётом рекомендаций действующего нормативного документа [15]. Моделирование лавин проведено с применением программы RAMMS [22]. В результате предложен алгоритм, который может быть положен в основу оценки эффективности как действующих, так и планируемых противолавинных мероприятий и сооружений в горных районах России. Предложенный алгоритм позволил оценить инженерно-географическую эффективность применяемых противолавинных мероприятий на территории горнолыжного курорта «Красная Поляна».

Полевое обследование. В летний период 2019 г. выполнено полевое рекогносцировочное обследование территории курорта «Красная Поляна» и установленных там противолавинных сооружений с целью их каталогизации, анализа соответствия установленным в нашей стране нормам проектирования и эксплуатации с учётом специфики лавинообразования в рассматриваемом районе. На основе собранных в полевых условиях материалов составлена карта применяемых на территории ГЛК «Красная Поляна» противолавинных мероприятий и сооружений (рис. 1), на которой показаны места расположения: противолавинных инженерных сооружений; систем предупредительного спуска лавин (Gazex®: шелтеров и эксплодеров); горнолыжных трасс; канатных дорог; зданий и сооружений; зон зарождения лавин, угрожающих защищаемым

объектам. Установлено, что на территории горнолыжного курорта применяются практически все известные виды противолавинных мероприятий и сооружений (таблица). Ключевую роль в обеспечении лавинной безопасности курорта играет лавинная служба, которая занимается: мониторингом состояния снежного покрова на склонах – определением его высоты, строения и механических свойств; прогнозом лавинной опасности; проведением предупредительных спусков лавин; оповещением.

Широкое распространение в районе курортов «Красной Поляны» и на территории рассматриваемого курорта получила система Gazex® [14], применяемая для предупредительного (искусственно-регулируемого) спуска лавин небольших объёмов, которая состоит из двух основных блоков: эксплодера (детонатор) и шелтера (резервуар с взрывчатой смесью: пропан и кислород) (рис. 2). На территории горнолыжного курорта «Красная Поляна» установлено 11 шелтеров и 38 эксплодеров (см. рис. 1), применяемых для защиты всей инфраструктуры (горнолыжные трассы; канатно-кресельные дороги; станции и опоры; здания и сооружения). Каждый эксплодер обрабатывает один или два лавинных очага. Ежегодно сотрудники противолавинной службы рассматриваемого горнолыжного курорта проводят технический осмотр каждой установки Gazex® с целью устранения технических неисправностей и замены газовых баллонов.

На территории горнолыжного курорта применяют следующие виды инженерных противолавинных сооружений (см. рис. 1 и таблицу): снегоудерживающие сети (см. рис. 1, А–В); лавинорезы; снеговывудающие столы; направляющие дамбы. В период полевых исследований на основе комплекса прямых и косвенных признаков были выявлены зоны зарождения лавин (лавинные очаги), угрожающие защищаемым объектам и обрабатываемые системами предупредительного спуска Gazex®. Для уточнения границ лавинных очагов в камеральных условиях использовали следующие результаты: дешифрирования [23] космических снимков (спутниковое покрытие ESRI); анализа цифровой модели рельефа (производных карт морфометрических характеристик: уклона и экспозиции) с учётом линий тока (ArcGIS Spatial Analyst); результаты ранее опубликованных работ по оценке лавинной опас-

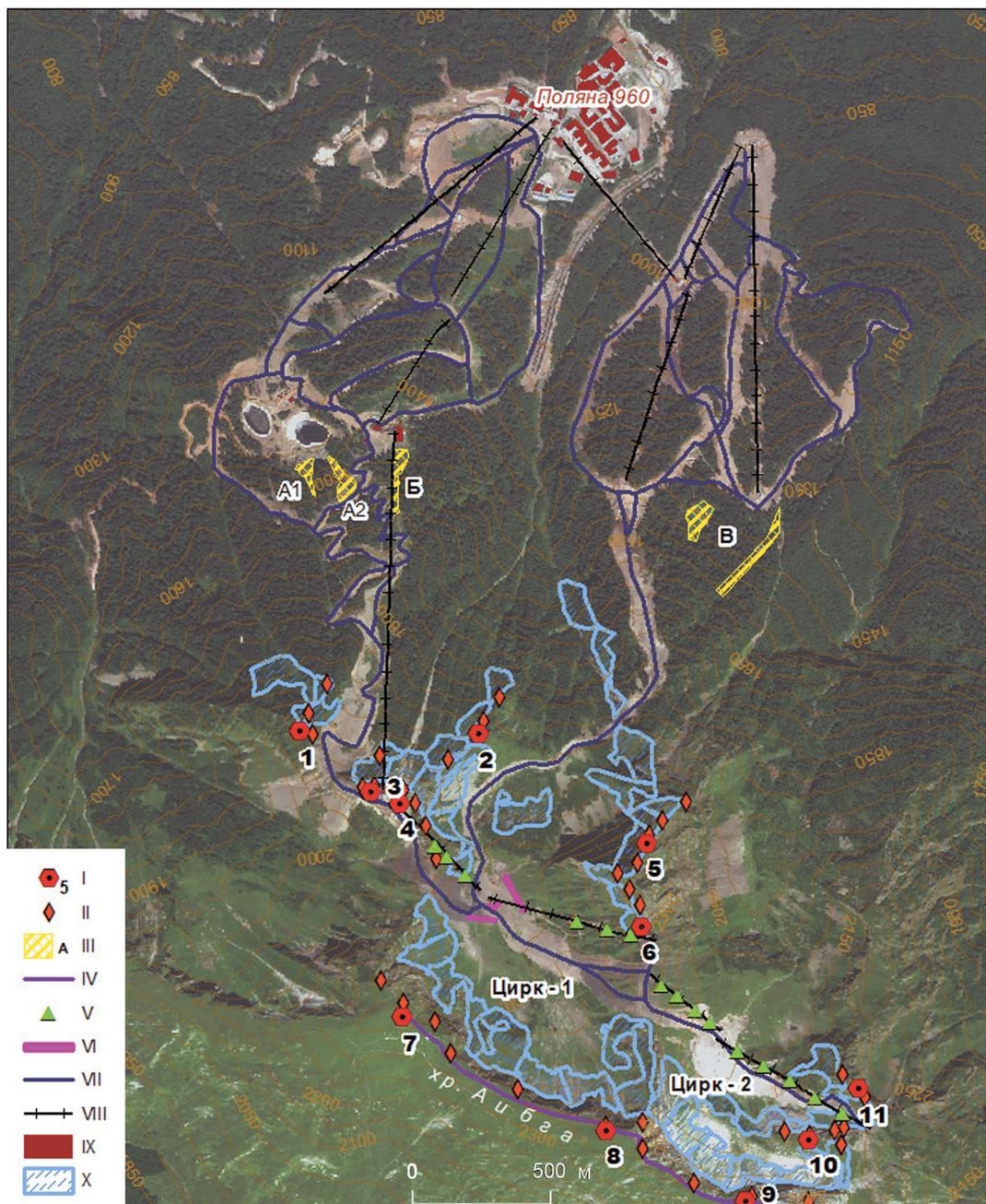


Рис. 1. Инфраструктура, лавинные очаги и противолавинные мероприятия, применяемые на территории горнолыжного курорта «Красная Поляна»:

I – шелтеры (1–11 на карте); II – эксплодеры; III – снегоудерживающие сети (А, Б, В на карте); IV – снеговыдувающие столы; V – лавинорезы; VI – направляющие дамбы; VII – горнолыжные трассы; VIII – канатно-кресельные дороги; IX – здания и сооружения; X – лавинные очаги

Fig. 1. Infrastructure, avalanche release zones and avalanche protection used at the territory of the «Krasnaya Polyana» ski resort:

I – shelter (1–11 on the map); II – exploder; III – snow supporting nets (A, B, B on the map); IV – wind baffles; V – avalanche breakers; VI – deflecting dams; VII – ski pistes; VIII – ski lifts; IX – buildings and structures; X – avalanche release zones

ности исследуемой территорий [24]. К зонам зарождения лавин (лави́нным оча́гам, см. рис. 1) отнесены склоны с уклоном 25–60° [15]. Углы на-

клона классифицированы следующим образом: более 60° – склоны, на которых снег не удерживается; 25–60° – склоны, благоприятные для об-

Противолавинные мероприятия, применяемые на территории горнолыжного курорта (ГЛК) «Красная Поляна», и их инженерно-географическая эффективность

Назначение и тип	Высота расположения защитных сооружений, м	Тип защищаемого объекта	Инженерно-географическая эффективность
<i>Профилактические мероприятия</i>			
Организация службы наблюдения, прогноза и оповещения	Весь диапазон высот курорта	Вся инфраструктура ГЛК	Высокая
Искусственно-регулируемый сброс (система Gazex®)	2050–2400		
<i>Инженерные мероприятия</i>			
1 – лавинопредотвращающие			
Снегоудерживающие сети	1500	Горнолыжные трассы, станции канатно-кресельных дорог, здания и сооружения, дренажная система, эксплодеры (относящиеся к шелтерам 7–9 на рис. 1)	Низкая
Снеговывдувающие столы	2200–2400		Средняя
2 – лавинозащитные			
Лавинорезы	2000–2300	Опоры канатно-кресельной дороги в цирке-1 и цирке-2 (см. рис. 1)	Средняя
Направляющие дамбы	2050	Объекты инфраструктуры (горнолыжные трассы, канатно-кресельные дороги, станции канатно-кресельных дорог, здания и сооружения) в цирке-1 (см. рис. 1)	

разования лавин; менее 25° – склоны, на которых вероятность образования лавин крайне мала [15].

Во время полевых исследований установлены недочёты в проектировании ряда противолавинных сооружений, связанные с недооценкой физико-географических условий рассматриваемого района, особенностей лавинообразования и динамики возможных лавин. К ним можно отнести: а) не соответствующее требованиям СП 116.13330.2012 [25] расположение снегоудерживающих сооружений на склонах; б) высоту снегоудерживающих сооружений, не отвечающую возможной толщине снежного покрова в районе исследования. Так, ряд снегоудерживающих сетей (см. рис. 1, А2) на высоте 1500 м, построенных для защиты горнолыжных трасс и дренажной системы, расположен в зоне действия лавин из расположенных выше лавинных очагов (на высоте 2000–2200 м), что в зимний период 2018/19 г. привело к их частичному разрушению лавиной (рис. 3, а). Кроме того, снегоудерживающие сети (см. рис. 1, В) имеют выраженный наклон в сторону склона, что не соответствует нормам их проектирования [25], согласно которым их следует располагать перпендикулярно направлению сползания снежного покрова. По некоторым данным, эти сети при

проектировании и не рассматривались как снегоудерживающие (по устному сообщению Н.А. Володичевой). Ряд сетей (см. рис. 1, Б) имеет недостаточную высоту, что может приводить к их заполнению снегом и переполнению, как это уже фиксировалось ранее (см. также рис. 6, а).

Наблюдалось также повреждение снеговывдувающих конструкций, установленных на гребне хр. Аибга (см. рис. 3, в) на высоте 2200–2400 м для предотвращения образования снежных карнизов и защиты установленных ниже систем Gazex®. Повреждение произошло зимой 2018/19 г. из-за смены преобладающих ветров (были ветры северной экспозиции). Невыполнение снеговывдувающим сооружением своих функций привело к повышенному снегонакоплению ниже по склону, в месте расположения эксплодеров (относящихся к шелтерам 7–9, см. рис. 1) системы Gazex®, опора одного из которых в результате не выдержала снеговой нагрузки и была выведена из строя. Собранные в поле и проанализированные материалы использованы для оценки эффективности применяемых на территории горнолыжного курорта «Красная Поляна» противолавинных мероприятий и сооружений.

Расчётные методы. Для оценки эффективности систем предупредительного спуска Gazex®



Рис. 2. Система искусственного сброса лавин Gazex®, установленная на территории горнолыжного курорта «Красная Поляна» (фото Д.И. Коровиной):

1 – эксплодер; 2 – шелтер

Fig. 2. Remote avalanche control system Gazex® at the territory of «Krasnaya Polyana» ski resort (photo D.I. Korovina):

1 – exploder; 2 – shelter

принято следующее содержание относительного показателя инженерно-географической эффективности ε , основанное на принципе [3, 10]:

$$\varepsilon = (a - b)/a,$$

где a – значение показателя лавинной активности, которая не оказывает воздействия на защищаемый объект (например, зарегулированный объём лавины, спущенной системой Gazex®); b – значение показателя лавинной активности, выходящее за пределы «безопасной для воздействия зоны» (например, объём снежной массы, который вышел за пределы предполагаемого спуска).

В качестве показателей лавинной активности могут быть использованы такие характеристики лавин, как дальность выброса и объём, а также скорость и давление лавины при ударе. Показатели дальности выброса и объёма будут в большей мере определять возможность выхода лавин в зоны расположения защищаемых объектов, а скорость и давление лавины при ударе – их разрушительный эффект, который был параметризован в работах [26, 27].

Для оценки эффективности по приведённой формуле в качестве показателя лавинной активности выбран объём. Рассмотрены различные возможные сценарии образования лавин с разной

толщиной слоя отрыва. Параметры a и b рассчитаны в программе RAMMS [22]. В программе задавались выделенные зоны зарождения лавин (из которых 46 – обрабатываемые системой Gazex®) и предполагаемая в рамках каждого рассматриваемого сценария высота оторвавшегося в них слоя, а также область вычислений (Calculation Domain) по границам объектов инфраструктуры (охватывающая только участки склонов без какой-либо инфраструктуры). Таким образом, параметр b рассчитывался как часть объёма лавины, которая покинула заданную в программе RAMMS зону вычислений (Calculation Domain). Параметр a рассчитывался как разность общего объёма лавины и значения параметра b . Моделирование снежных лавин выполнено с коэффициентами трения, заложенными в программу по умолчанию [28]. При моделировании учитывали лесную растительность на пути движения лавин, границу которой задавали на основе дешифрирования космических снимков с учётом данных полевых наблюдений. Кроме значений параметров a и b , смоделированы (рассмотрены различные сценарии) дальность выброса лавин, высота лавинного потока, скорость и давление лавин.

Для оценки эффективности каждого шелтера территория курорта «Красная Поляна»



Рис. 3. Повреждённые инженерные противолавинные сооружения на территории горнолыжного курорта «Красная Поляна»:

а – снегоудерживающие сети (см. рис. 1, А2), разрушенные лавиной в зимний период 2018/19 г. (фото Д.И. Коровиной);
б – не соответствующая требованиям [25] установка снегоудерживающих сетей (см. рис. 1, В) (фото С.А. Колесникова);
в – повреждённая снеговывающая конструкция (см. рис. 1, IV) (фото Д.И. Коровиной)

Fig. 3. Damaged avalanche protection structures at the territory of the «Krasnaya Polyana» ski resort:
a – snow supporting nets (see Fig. 1, A2), destroyed by avalanche in winter 2018/19 (photo D.I. Korovina); *b* – nonnormative [25] installation of a snow supporting nets (see Fig. 1, B) (photo S.A. Kolesnikov); *v* – destroyed wind baffle (photo D.I. Korovina) (see Fig 1, IV)

была условно разделена на 11 участков, соответствующих нумерации зон действия шелтеров (см. рис. 1) – в сумме 46 зон зарождения лавин. По приведённой здесь формуле был рассчитан относительный показатель эффективности ε для всех систем Gazex® при двух сценариях:

1) высота оторвавшегося слоя 20 см с периодом повторяемости один раз в 10 лет (минимально возможный в программе). Высота задана из условия, что использование системы Gazex® на территории курорта по умолчанию происходит при регистрируемом приросте снежного покрова на 20 см;

2) высота оторвавшегося слоя 70 см с периодом повторяемости один раз в 10 лет. В данном случае моделируется ситуация, когда нет возможности проведения профилактического спуска лавин в срок. Такие ситуации фиксировались ранее в случае выхода из строя установки Gazex® и приводили к образованию более крупных лавин.

Отдельно был рассмотрен «критический» сценарий при отсутствии противолавинных мероприятий с определением стандартных для инженерных изысканий параметров максимальных за год лавин с периодом повторяемости один раз в 100 лет в соответствии с требованиями, предъявляемыми для сооружений повышенного уровня ответственности (обеспеченность 1%) [25, 29]. Алгоритм, предлагаемый в работах [15, 30], допускает накопление снега в районе исследования более 2–2,5 м на высотах больше 2000 м, приводя к расчётной толщине отрыва 1%-й обеспеченности в 160 см. Для оценки разрушительной способности лавин или возможного ущерба при каждом сценарии использована градация объёма и давления в соответствии с классификацией лавинной опасности по А.Н. Божинскому и К.С. Лосеву [27].

Для оценки эффективности лавинопредотвращающих сооружений, рассмотренных в таблице, и возможности разрушения инфраструктуры курорта, расположенного под застроенными снегоудерживающими сооружениями, лавинными очагами выполнено моделирование снежных лавин из этих очагов в программе RAMMS. В качестве основного параметра, определяющего разрушительную способность лавин, выбрано их максимальное давление при ударе в местах взаимодействия с существующими объектами инфраструктуры. С учётом свидетельств о возможности переполнения имеющихся снегоудер-

живающих сетей (см. рис. 6, а) и случаев «неконтролируемого» отрыва лавин под эксплодерами системы Gazex® в качестве критических значений были выбраны также высоты отрыва снежного покрова 20 и 70 см, по которым моделировался сценарий схода лавин поверх сетей.

Для оценки эффективности направляющих дамб, защищающих канатно-кресельную дорогу и здания, в программе RAMMS смоделированы лавины из зон зарождения, расположенных над ними, по сценариям 1 и 2 (см. ранее). В качестве основного параметра эффективности дамб выбраны: а) уклон в месте установки защитных сооружений, составлявший от 12 до 22°, что соответствовало требованиям нормативных документов (менее 23° [25]); б) высота фронта лавины, которая не должна превышать высоту дамб (от 5 до 7 м) [25]. В противном случае теоретически возможен переход снежной лавины через лавинозащитное сооружение, которое в таком случае не может быть признано эффективным.

Полученные результаты

Профилактические мероприятия (система Gazex®). Результаты оценки относительной эффективности для каждого шелтера системы Gazex® по уменьшению объёма лавин путём профилактических спусков представлены на рис. 4, где значение $\varepsilon = 1$ соответствует максимально возможной эффективности шелтера. Расчёты указывают на снижение эффективности профилактических мероприятий при увеличении толщины формирующих лавину слоёв, т.е. при превышении рекомендуемого для проведения активного воздействия прироста толщины снежного покрова (отрыва в 20 см). Значение эффективности, равное 1 при спуске лавин с толщиной отрыва 20 и 70 см шелтерами 2, 8 и 9 (см. рис. 1), связано с тем, что на данных участках защищаемые объекты инфраструктуры находятся в значительной удалённости от лавинных очагов, что, однако, не гарантирует защиту объектов при возможной поломке системы Gazex® или экстремальных погодных условиях.

Достаточно высокая эффективность наблюдается для установок активного воздействия 3, 7, 10, (см. рис. 1), где значения находятся в пределах от 0,80 до 1,00 при спуске лавин с толщи-

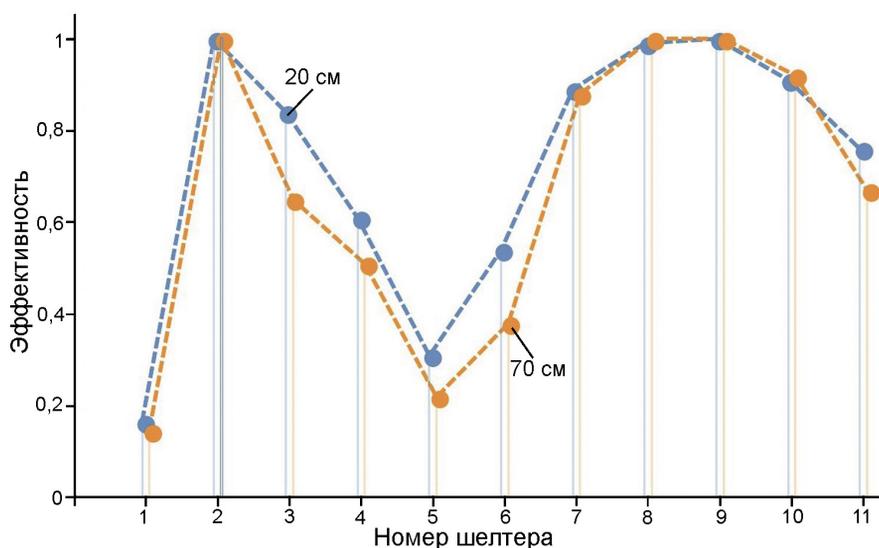


Рис. 4. Результаты оценки эффективности для шелтеров систем Gazex® на территории горнолыжного курорта «Красная Поляна» (см. рис. 1) для двух возможных высот оторвавшегося слоя снега

Fig. 4. Results of the estimation of the effectiveness of Gazex® shelters at the territory of «Krasnaya Polyana» ski resort (see Fig. 1) for two possible depths of snow release

ной отрыва снежного пласта 20–70 см. Самые низкие показатели эффективности установлены для шелтеров 1, 4–6, 11 (см. рис. 1). Область воздействия данных установок находится вблизи горнолыжных трасс, поэтому искусственно спущенные лавины могут попадать на участки трасс, однако при проведении работ по регулируемому спуску нахождение посетителей на горнолыжном курорте запрещено и опасности для жизни людей эти лавины представлять не должны. При рассмотрении полученных значений эффективности для лавин с высотой оторвавшегося слоя 20 и 70 см (см. рис. 4) отметим, что при закрытии трасс на время обработки склонов система удовлетворяет требуемую безопасность территории. Более того, полученные значения эффективности для системы Gazex® при высотах оторвавшегося слоя 20 и 70 см близки.

На картах рис. 5 показаны рассчитанные характеристики снежных лавин (границы зон воздействия и давление лавин на препятствия) для каждого из рассмотренных сценариев при использовании систем Gazex®. Сравнение значений при высоте оторвавшегося слоя 20 и 70 см (см. рис. 5, а, б) указывает на общее увеличение значения давления лавин; намного большее распространение имеют участки территории с давлением, превышающим 100 кПа (см. рис. 5, б), что может приводить к разрушению всей инфраструктуры, вплоть до металлических конструкций [27], в случае нахождения или расположения там таких объектов. Ещё большие (практически весь участок) площади с таки-

ми условиями можно ожидать при высоте оторвавшегося слоя 160 см (см. рис. 5, в).

Лавинопредотвращающие сооружения (см. таблицу) Результаты моделирования показали, что при накоплении 70 см снега поверх переполненных снегоудерживающих сетей (см. рис. 1, А и Б), расположенных на высоте 1500 м (рис. 6, а), создаются условия для образования лавин со значениями давления более 75 кПа (см. рис. 6, б) в местах столкновения с объектами инфраструктуры, что может вызвать разрушение металлических конструкций [27]. Дальность выброса (см. рис. 6, б) этих лавин при снегонакоплении более 70 см поверх сооружений может достигать систем дренажа курорта «Красная Поляна», разрушение которых может привести к прорыву прудов для искусственного оснежения и последующим опасным процессам. Лавины также могут достигать зданий и сооружений, расположенных на высоте 1500 м под ними, что недопустимо с позиций обеспечения их лавинной безопасности.

Для ряда снегоудерживающих сетей (см. рис. 1, А, Б) на высоте 1500 м, установленных на пути движения лавин из зон зарождения на высоте 2000–2200 м, результаты моделирования показывают, что высота оторвавшегося слоя в 70 см в этих зонах зарождения, согласно расчётам, приводит к разрушению самих сетей, что уже наблюдалось в сезон 2018/19 г. (см. рис. 3, а).

Лавинозащитные сооружения (см. таблицу). На основе результатов моделирования в программе

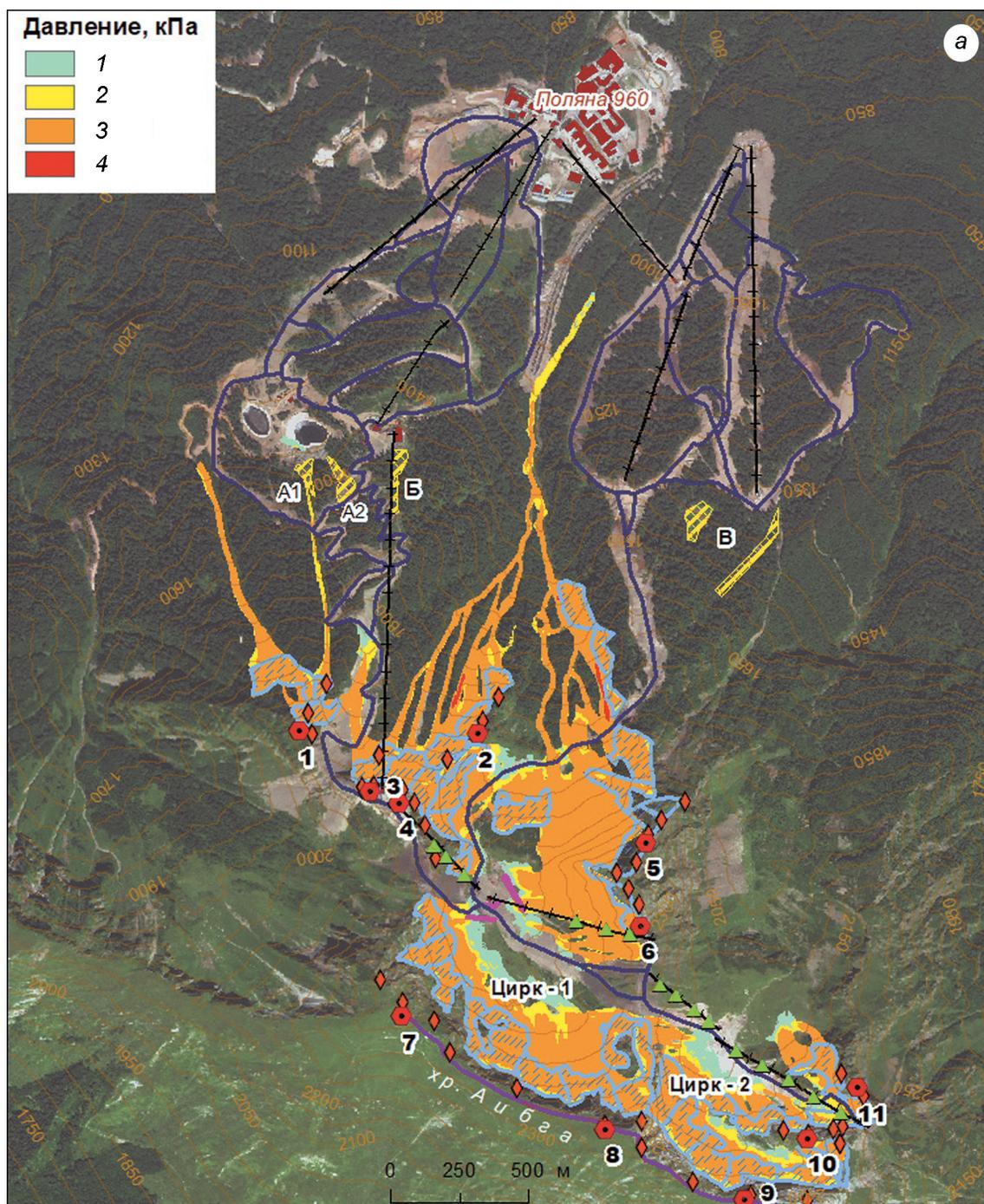
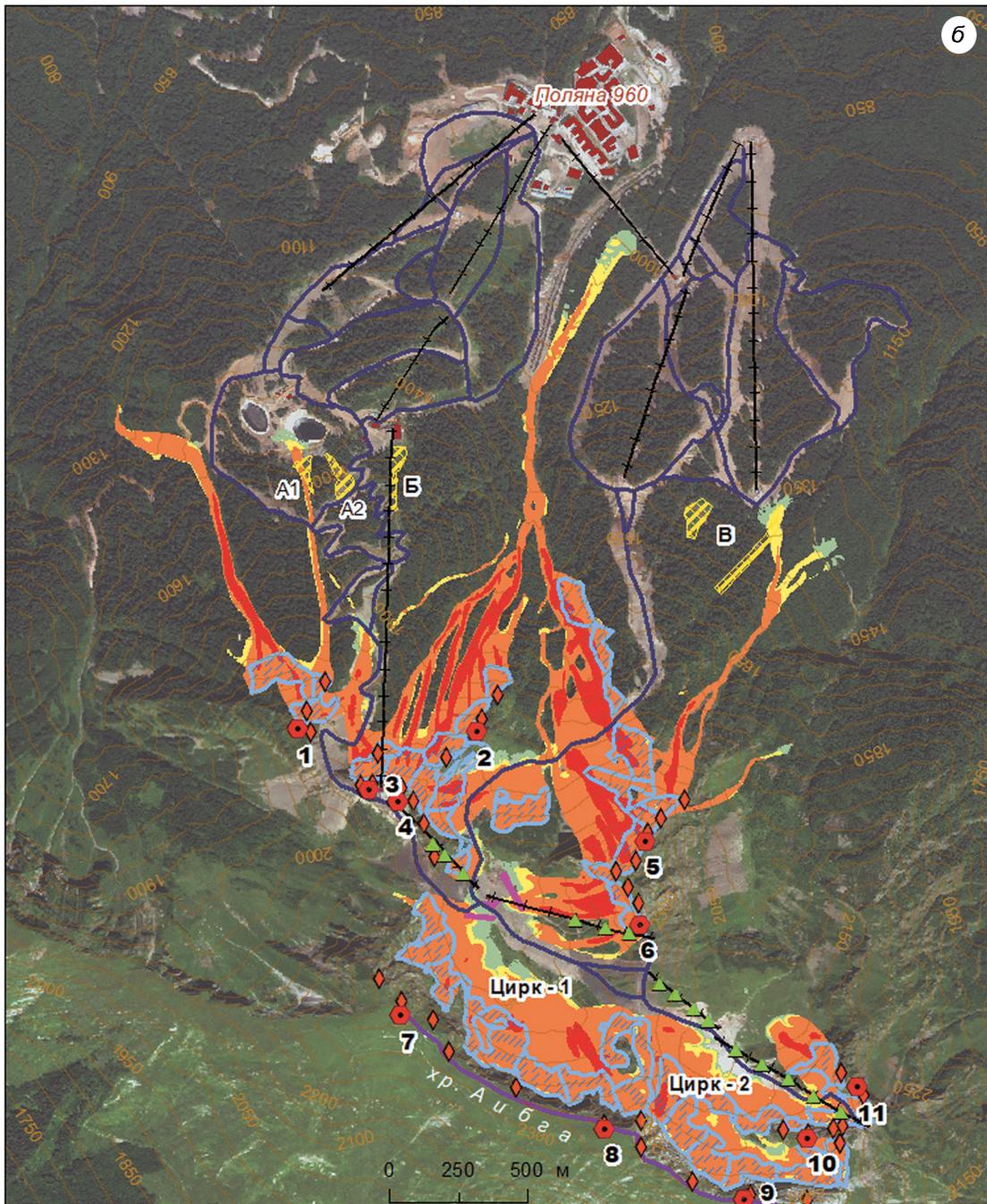


Рис. 5 (с. 49–51). Границы зон воздействия и давление моделируемых лавин, кПа: 1 – < 1, 2 – 1–10, 3 – 10–100, 4 – > 100 при высоте слоя отрыва снега 20 см (а), 70 см (б) и 160 см (в) (см. рис. 1)
Fig. 5 (p 49–51). Run-out zones and the modelled avalanches' pressure, kPa: 1 – < 1, 2 – 1–10, 3 – 10–100, 4 – > 100, snow release depth 20 cm (a), 70 cm (b), and 160 cm (v) (see Fig. 1)

RAMMS установлено, что расчётная скорость лавинного потока в месте взаимодействия с направляющей дамбой при спуске лавин с толщиной отрыва 20 и 70 см не превышает 25 м/с (более жёсткого критерия, предъявляемого к тормо-

озящим дамбам [25]). Лавина с высотой отрыва 160 см будет иметь давление, которое может привести к разрушению любой инфраструктуры на её пути. Таким образом, использование дамб на исследуемой территории может быть эффективно,

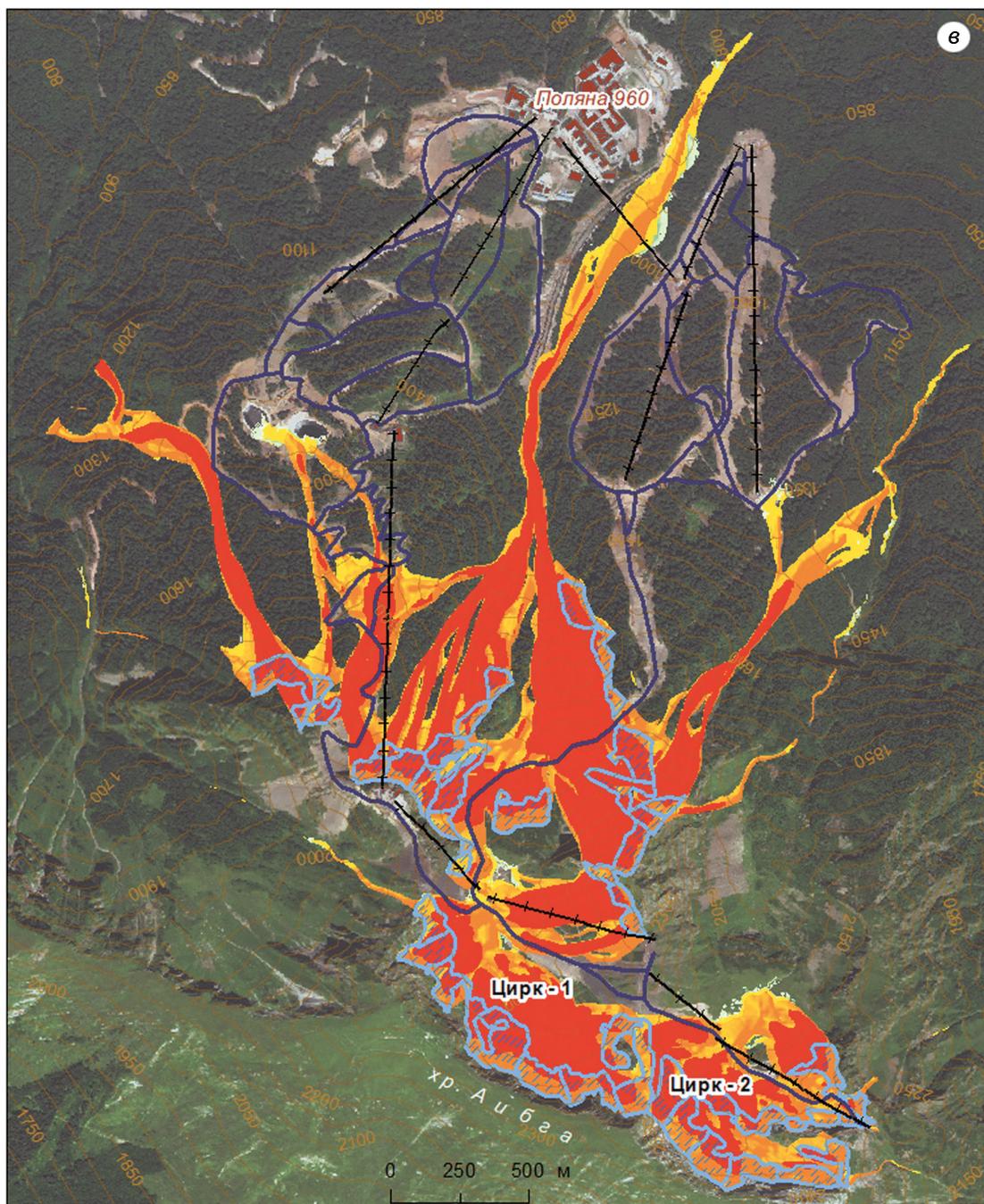


но только при своевременном и эффективном искусственно регулируемом сбросе лавин (например, системами Gazex®).

Оценка эффективности

На основании выполненных полевых исследований и проанализированных публикаций, по аналогии с работой [5], для качественной оцен-

ки эффективности различных видов противолавинных мероприятий использована трёхбалльная шкала: «высокая», «средняя» и «низкая» степень эффективности. Если по результатам проведённого анализа противолавинное мероприятие или сооружение не выполняет своих функций, то ему присваивалась «низкая» степень. В случае максимального использования мероприятия и минимального отказа в защите — «высокая». При условии отсутствия чёткого определения влияния оказыва-



емой защиты давалась «средняя» эффективность. Результаты оценки для территории горнолыжного курорта «Красная Поляна» представлены в таблице.

Выводы

Наиболее высокая эффективность на территории горнолыжного курорта «Красная Поляна» установлена для регулярных профилактических

противолавинных мероприятий (искусственно регулируемых спусков системой Gazex®), в том числе при совместном их использовании с инженерными сооружениями (направляющей дамбой). Понижение эффективности систем Gazex® может наблюдаться в случае превышении рекомендуемой для инициации искусственно регулируемого спуска высоты оторвавшегося слоя, что, согласно расчётам, расширяет границы лавиноопасной зоны и увеличивает давление лавинного потока на объек-

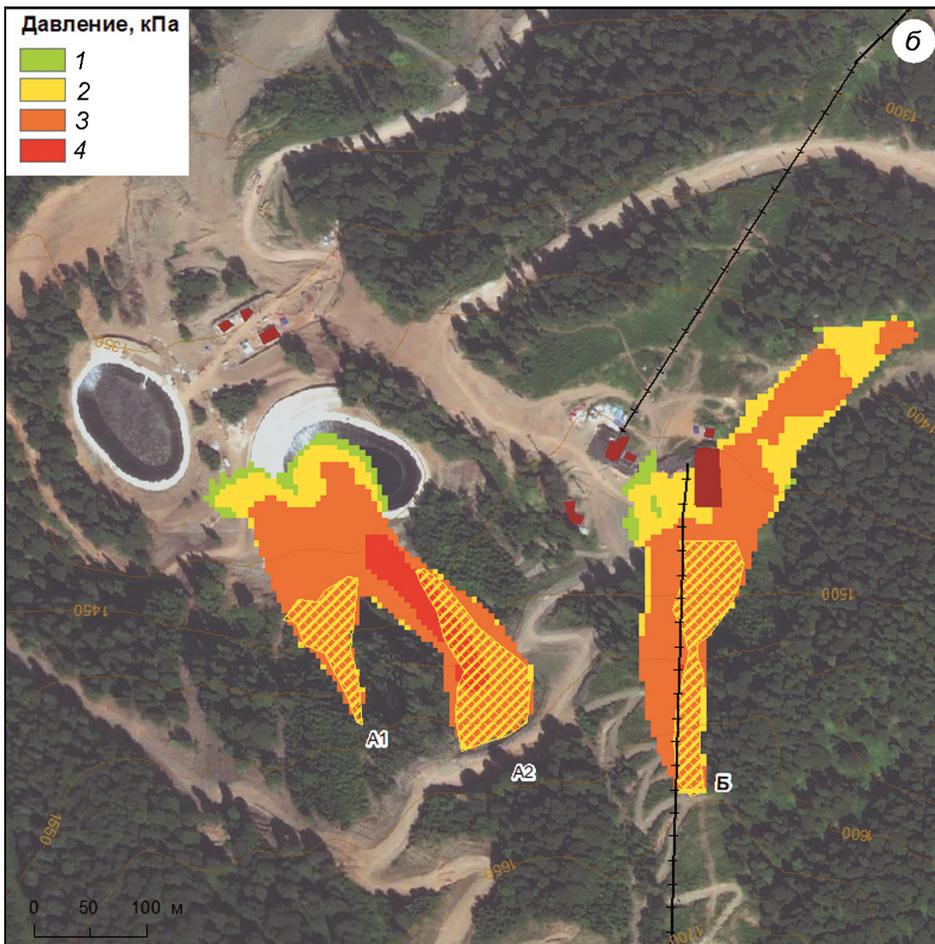
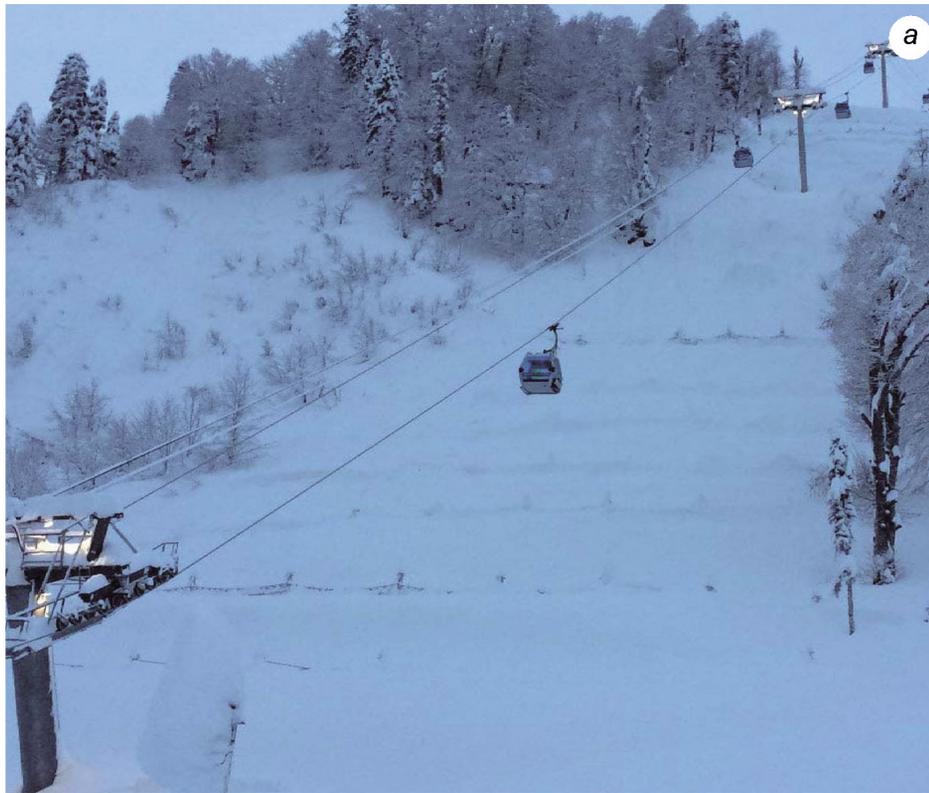


Рис. 6. Снегоудерживающие сети, расположенные на высоте 1500 м на горнолыжном курорте «Красная Поляна»: *а* – переполненные снегом (см. рис. 1, Б) (фото С.А. Колесникова); *б* – границы воздействия и давление смоделированных лавин (кПа), сошедших поверх снегоудерживающих сетей при высоте слоя отрыва снега 70 см (см. рис. 1); усл. обозначения 1–4 см. рис. 5

Fig. 6. Snow supporting nets at the absolute altitude 1500 m at the «Krasnaya Polyana» ski resort:

a – overfilled by snow (see Fig. 1, Б) (photo S.A. Kolesnikov); *б* – Run-out zones and avalanche pressure (kPa) of the modelled avalanches released above the snow supporting nets with the release snow depth 70 cm (see Fig. 1); legend 1–4 see at Fig. 5

ты инфраструктуры, расположенные в зонах действия установок активного воздействия.

Эффективность лавинозащитных мероприятий (дамб и лавинорезов) в большей степени определяется выбором местоположения, высоты конструкции и качества материала. Выявленная эффективность установленных тормозящих и останавливающих сооружений на горнолыжном курорте в связи с выполнением ими своих функций определяется их комплексным использованием с профилактическими мероприятиями. Так, направляющая дамба для имеющихся условий высокоэффективна только в комплексе с системой Gazex[®], и только при соблюдении спуска лавин допустимых объёмов. Без учёта этого строительство дамбы в местных условиях вряд ли целесообразно, кроме того, её стоимость может превышать [30] стоимость применения системы Gazex[®]. Лавинорезы на территории курорта имеют среднюю эффективность в связи со значительным снегонакоплением. На высотах 2000–2300 м лавинорезы практически полностью заносятся снегом, поэтому при отсутствии должного надзора и своевременной очистки они не могут выполнять свои функции.

Отметим, что при средней относительно других шелтеров эффективности по уменьшению объёма лавин путём профилактических спусков шелтерами 10 и 11 (см. рис. 4) расчётное давление лавинного потока на защищаемую ими канатно-кресельную опору достигает 100 кПа при высоте отрыва 70 см, что находится на грани возможностей установленных лавинорезов, т.е. в зависимости от типа защищаемого объекта оценка эффективности по какой-либо одной характеристике может быть недостаточна. В настоящее время этот участок курорта выведен из строя в связи с повреждением канатно-кресельной дороги.

Несмотря на эффективную работу лавинной службы, а также наличие всех видов противолавинной защиты, на территории курорта проводится ряд противолавинных мероприятий и есть сооружения, которые не выполняют предполагаемые функции и относятся к неэффективным. Так, низкоэффективные противолавинные мероприятия на территории курорта «Красная Поляна» — лавинопредотвращающие. Хотя для «субтропического типа лавинного режима», к которому относится территория курорта, при оценке прогнозной эффективности таких сооружений

была дана оценка «средней» эффективности [5], однако, согласно выполненному исследованию в этом районе и, по-видимому, в других районах со снегонакоплением, превышающем 2–2,5 м, установка снегоудерживающих сетей малоэффективна и может даже приводить к созданию лавиноопасных ситуаций. Результаты моделирования показали, что часть снегоудерживающих сетей на территории данного горнолыжного курорта установлена в зоне транзита и аккумуляции лавин, что уже приводило и может снова привести к их разрушению и последующим трудовым и материальным затратам. При полевом обследовании установлена также техническая неисправность ряда защитных сооружений данного вида.

Защита от снежных карнизов — одна из главных проблем на территории курорта. Снеговыдувающие столы помогают частично уменьшить мощность снежных карнизов и защитить установленные ниже системы Gazex[®], но наличие сильных ветров в данной местности может приводить к их разрушению, что теоретически можно предотвратить за счёт укрепления этих конструкций. Пять лавинных очагов на территории рассматриваемого курорта расположены вне зоны действия систем Gazex[®] и каких-либо других противолавинных мероприятий. Моделирование лавин в программе RAMMS показало, что при сходе лавин из этих лавинных очагов капитальные объекты не попадают в зоны их воздействия, но лавины опасны для людей в зонах вне-трассового катания и на горнолыжных трассах, расположенных под этими очагами.

Существующие отечественные нормативные документы по расчёту характеристик лавин направлены на оценку максимальных возможных лавин определённой обеспеченности, тогда как для анализа по предложенному алгоритму больше подходит моделирование лавин с использованием двух- и трёхмерных моделей, возможное после их верификации в регионе исследования.

Благодарности. Авторы выражают благодарность С.А. Колесникову (руководитель Службы противолавинной защиты) и сотрудникам Отдела лавинной безопасности горнолыжного курорта «Красная Поляна» за предоставление материалов. Исследование выполнено в рамках государственного задания географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова по темам «Эволю-

ция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» и «Опасности и риски природных процессов и явлений».

Acknowledgments. Authors express their appreciation to S.A. Kolesnikov (the head of the Avalanche Defense Service) and to the staff of the Department of

the Avalanche Safety of the «Krasnaya Poliana» ski resort for providing the data. The investigation took place in the frame of the Federal assignment of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, research themes «Evolution of the cryosphere under climate change and anthropogenic pressure» and «Dangers and risks of natural hazards».

Литература

1. Трошкина Е.С., Войтковский К.Ф. Прогнозная оценка эффективности противолавинных мероприятий // Снежный покров в горах и лавины. Отв. ред. К.Ф. Войтковский, М.Б. Дюргеров. М.: Наука, 1987. С. 137–143.
2. Жигульский А.А. Эффективность противолавинных мероприятий и сооружений // Снежный покров в горах и лавины. Отв. ред. К.Ф. Войтковский, М.Б. Дюргеров. М.: Наука, 1987. С. 132–137.
3. Жигульский А.А. Опыт оценки эффективности инженерных противолавинных сооружений в Хибинах // Тр. Третьего Всесоюз. совещ. по лавинам. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 19–28.
4. Мягков С.М. Снежные лавины // Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. Ред. В.М. Котляков. Т. 2. Кн. 2. М.: ИГ РАН, 1997. С. 194–199.
5. Войтковский К.Ф., Трошкина Е.С. Территория бывшего СССР. Эффективность противолавинных мероприятий: 1:40 000 000 [карта] // Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. Ред. В.М. Котляков. Т. 1. М.: ИГ РАН, 1997. С. 338 (карта 625).
6. Margreth S., Romang H. PROTECT – A Swiss Approach to the Assessment of the Effectiveness of Mitigation Measures // Intern. Snow Science Workshop, Davos 2009, Proceedings. ISSW. 2009. P. 538–542.
7. Margreth S. Rezoning after installing avalanche mitigation measures: case study of the Vallascia avalanche in Airolo, Switzerland // Intern. Snow Science Workshop, Innsbruck 2018, Proceedings. ISSW. 2018. P. 111–115.
8. Kogelnig A., Wyssen S. Controlled avalanche release for protection of traffic infrastructure: towards a new perspective // Proceedings, Intern. Snow Science Workshop, Banff, 2014. ISSW. 2014. P. 1094–1101.
9. Hamre D., Greene E., Margreth S. Quantifying the effectiveness of active mitigation on transportation corridors // Proceedings, Intern. Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado, 2016. ISSW. 2016. P. 435–441.
10. Naaim M., Faug T., Naaim-Bouvet F., Eckert N. Effectiveness of avalanche protection structures in run-out zones: the Taconnaz avalanche path case in France // Intern. Snow Science Workshop, Innsbruck 2018, Proceedings. ISSW. 2018. P. 126–130.

References

1. Troshkina E.S., Voitkovskii K.F. Forecasted estimate of the effectiveness of the avalanche mitigation measures. *Snezhnii pokrov v gorakh i laviny*. Mountain snow cover and avalanches. Eds.: K.F. Voitkovskii, M.B. Dyurgerov. Moscow: Nauka, 1987: 137–143. [In Russian].
2. Zhigul'skii A.A. Effectiveness of avalanche protection actions and structures. *Snezhnii pokrov v gorakh i laviny*. Mountain snow cover and avalanches. Eds.: K.F. Voitkovskii, M.B. Dyurgerov. Moscow: Nauka, 1987: 132–137. [In Russian].
3. Zhigul'skii A.A. The experience of the estimation of the effectiveness of the avalanche protection infrastructure in Khibiny Mts. *Trudy Tret'ego Vsesoyuznogo soveshchaniya po lavinam*. Proceedings of the Third All-Soviet Conference on Avalanches. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989: 19–28. [In Russian].
4. Myagkov S.M. Snow avalanches. World atlas of snow and ice resources. V. 2. Ed.: V.M. Kotlyakov. Moscow: Institute of Geography RAS, 1997: 321–324.
5. Voitkovskii K.F., Troshkina E.S. Territory of the former Soviet Union. Efficiency of anti-avalanche measures: 1:40 000 000 [map]. World atlas of snow and ice resources. V. 1. Ed.: V.M. Kotlyakov. Moscow: Institute of Geography RAS, 1997: 338 (map 625).
6. Margreth S., Romang H. PROTECT – A Swiss Approach to the Assessment of the Effectiveness of Mitigation Measures. Intern. Snow Science Workshop, Davos 2009, Proceedings. ISSW. 2009: 538–542.
7. Margreth S. Rezoning after installing avalanche mitigation measures: case study of the Vallascia avalanche in Airolo, Switzerland. Intern. Snow Science Workshop, Innsbruck 2018, Proceedings. ISSW. 2018: 111–115.
8. Kogelnig A., Wyssen S. Controlled avalanche release for protection of traffic infrastructure: towards a new perspective. Proceedings, Intern. Snow Science Workshop, Banff, 2014. ISSW. 2014: 1094–1101.
9. Hamre D., Greene E., Margreth S. Quantifying the effectiveness of active mitigation on transportation corridors. Proceedings, Intern. Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado, 2016. ISSW. 2016: 435–441.
10. Naaim M., Faug T., Naaim-Bouvet F., Eckert N. Effectiveness of avalanche protection structures in run-out zones: the Taconnaz avalanche path case in France. Intern. Snow Science Workshop, Innsbruck 2018, Proceedings. ISSW. 2018: 126–130.
11. Bozhinskii A.N., Zhigul'skii A.A., Kanaev L.A., Laptev M.N., Myagkov S.M., Skopintsev A.N., Troshkina E.S., Shnyarkov A.L. *Problemy effektivnosti zashchity ot snezhnykh lavin*. The problems of effectiveness

11. Божинский А.Н., Жигульский А.А., Канаев Л.А., Лантев М.Н., Мягков С.М., Скопинцев А.Н., Трошккина Е.С., Шныпарков А.Л. Проблемы эффективности защиты от снежных лавин (ВИНИТИ № 3967–B91). М.: ВИНТИ, 1991. 284 с.
12. Видулина М.А., Шныпарков А.Л. К вопросу о терминологии и показателях лавинной деятельности // МГИ. 2008. № 105. С. 12–16.
13. Lieberman E., Schippers J., Lieberman S.C. The GAZEX Avalanche Release System // Intern. Snow Science Workshop, Penticton, British Columbia. ISSW. 2002. P. 46–48.
14. Тетекин Д.В., Осокин Н.И., Володичева Н.А. Система GAZEX инициирования снежных лавин как инструмент контроля сброса снега со склонов малыми порциями // Лёд и Снег. 2012. № 117 (1). С. 110–115. doi: 10.15356/2076-6734-2012-1-110-115.
15. СП 428.1325800.2018 «Инженерные изыскания для строительства в лавиноопасных районах. Общие требования». М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2019. iv+58 с.
16. Темникова Н.С. Климат Северного Кавказа и прилежащих степей. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 368 с.
17. Трошккина Е.С. Лавинный режим горных территорий СССР (Итоги науки и техники. Серия гляциология 11) Ред. К.С. Лосев. М.: ВИНТИ, 1992. 184 с.
18. Казаков Н.А., Генсировский Ю.В., Казакова Е.Н. Лавинные процессы в бассейне реки Мзымты и проблемы противолавинной защиты Олимпийских объектов в Красной Поляне // ГеоРиск. 2012. № 2. С. 10–29.
19. Володичева Н.А., Баринов-Каштанов А.С., Олейников А.Д., Володичева Н.Н. Метаморфизм снега и формирование снежных лавин в районе Красной Поляны (Западный Кавказ) // Лёд и Снег. 2011. № 2 (114). С. 57–63.
20. Шныпарков А.Л., Селиверстов Ю.Г., Глазовская Т.Г., Клименко Е.С., Володичева Н.А., Олейников А.Д., Самохина Е.А. Оценка лавинной опасности горноклиматического курорта «Альпика-сервис» // МГИ. 2012. № 1. С. 31–37.
21. Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Шныпарков А.Л., Колтерманн К.П. Антропогенное влияние на лавинную и селевую активность // Лёд и Снег. 2013. № 122 (2). С. 121–128. doi: 10.15356/2076-6734-2013-2-121-128.
22. Bartelt P., Bühler Y., Christen M., Deubelbeiss Y., Salz M., Schneider M., Schumacher L. RAMMS User Manual v1.7.0 Avalanche. Davos: SLF, 2017. v+97 с.
23. Акифьева К.В. Методическое пособие по дешифрированию аэрофотоснимков при изучении лавин. Л.: ГИМИЗ, 1980. 49 с.
24. Родионова П.М., Турчанинова А.С., Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Глазовская Т.Г. Методика учёта of the snow avalanches protection (VINITI № 3967–B91). Moscow: VINITI, 1991: 284 p. [In Russian].
25. Vikulina M.A., Shnyarkov A.L. On the terminology and indexes of avalanche activity. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 2008, 105: 12–16. [In Russian].
26. Lieberman E., Schippers J., Lieberman S.C. The GAZEX Avalanche Release System. Intern. Snow Science Workshop, Penticton, British Columbia. ISSW. 2002: 46–48.
27. Tetekin D.V., Osokin N.I., Volodicheva N.A. Avalanche prevention release system GAZEX as a tool to control of snow discharge in small portions. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2012, 117 (1): 110–115. doi: 10.15356/2076-6734-2012-1-110-115. [In Russian].
28. SP 428.1325800.2018 «Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva v lavinoopasnykh rajonah. Obshchie trebovaniya». SP 428.1325800.2018 «Engineering survey for construction in snow avalanches-endangered regions. General requirements». Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of Russia, 2019: iv+58 p. [In Russian].
29. Temnikova N.S. *Klimat Severnogo Kavkaza i prilozhashchikh stepei*. The climate of the North Caucasus and of the adjacent steppes. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1959: 368 p. [In Russian].
30. Troshkina E.S. *Lavinnyi regim gornykh territorii SSSR (Itogi nauki i tekhniki; ser. glaciologiya 11)*. Avalanche regime of the mountain territories of the USSR (Outcomes of science and technology; ser. glaciology 11). Ed. K.S. Losev. Moscow: VINITI, 1992: 184 p. [In Russian].
31. Kazakov N.A., Gensirovskiy Yu.V., Kazakova E.N. Avalanche processes in the Mzimta river basin and anti-avalanche protection problems of the olympic objects in Krasnaya Polyana. *GeoRisk*. GeoRisk. 2012, 2: 10–29. [In Russian].
32. Volodicheva N.A., Barinov-Kashtanov A.S., Oleynikov A.D., Volodicheva N.N. Metamorphism of snow and formation of avalanches in the area of Krasnaya Polyana (Western Caucasus). *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2011, 114 (2): 57–63. [In Russian].
33. Shnyarkov A.L., Seliverstov Yu.G., Glazovskaya T.G., Klimenko E.S., Volodicheva N.A., Oleynikov A.D., Samokhina E.A. Assessment of avalanche activity of the mountain ski resort «Alpika-service». *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 2012, 1: 31–37. [In Russian].
34. Sokratov S.A., Seliverstov Y.G., Shnyarkov A.L., Koltermann K.P. Anthropogenic effect on avalanche and debris flow activity. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2013, 122 (2): 121–128. doi: 10.15356/2076-6734-2013-2-121-128. [In Russian].
35. Bartelt P., Bühler Y., Christen M., Deubelbeiss Y., Salz M., Schneider M., Schumacher L. RAMMS User Manual v1.7.0 Avalanche. Davos: SLF, 2017: v+97 p.
36. Akif'eva K.V. *Metodicheskoe posobie po deshifirovaniyu aerofotosnimkov pri izuchenii lavin*. Study guide on aerial photographs decommutation in avalanche research. Leningrad: GIMIZ, 1980: 49 p. [In Russian].
37. Rodionova P.M., Turchaninova A.S., Sokratov S.A., Seliverstov Y.G., Glazovskaya T.G. Methods of accounting the avalanche hazard for the territorial land-use planning in Russia. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2019, 59 (2): 245–257. doi: 10.15356/2076-6734-2019-2-398. [In Russian].

- лавинной опасности при территориальном планировании в России // *Лёд и Снег*. 2019. Т. 59. № 2. С. 245–257. doi: 10.15356/2076-6734-2019-2-398.
25. СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003». М.: Министерство регионального развития РФ, 2012. v+60 с.
26. *Perla R.I.* Avalanche release, motion and impact // *Dynamics of snow and ice masses* Ed. S.C. Colbeck: Academic Press, 1980. P. 397–462. doi: 10.1016/B978-0-12-179450-7.50012-7.
27. *Божинский А.Н., Лосев К.С.* Основы лавиноведения. Л.: ГИМИЗ, 1987. 280 с.
28. *Турчанинова А.С., Селиверстов Ю.Г., Глазовская Т.Г.* Моделирование снежных лавин в программе RAMMS в России // *ГеоРиск*. 2015. № 4. С. 42–47.
29. СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2016. vii+160 с.
30. *Благовещенский В.П.* Определение лавинных нагрузок. Алма-Ата: Гылым, 1991. 115 с.
25. *SP 116.13330.2012 «Inzhenernaya zashchita territorij i sooruzhenij ot opasnyh geologicheskikh processov. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 22-02-2003».* SP 116.13330.2012 «Engineering protection of territories, building and structures from dangerous geological processes. Basic principles». Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2012: v+60 p. [In Russian].
26. *Perla R.I.* Avalanche release, motion and impact. *Dynamics of snow and ice masses*. Ed. S.C. Colbeck. Academic Press., 1980: 397–462. doi: 10.1016/B978-0-12-179450-7.50012-7.
27. *Bozhinskiy A.N., Losev K.S.* The fundamentals of avalanche science (*Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung 55*). Davos: SLF, 1998: 280 p.
28. *Turchaninova A.S., Seliverstov Y.G., Glazovskaya T.G.* Modeling of snow avalanches using RAMMS in Russia. *GeoRisk*. *GeoRisk*. 2015, 4: 42–47. [In Russian].
29. СП 47.13330.2016 «Engineering survey for construction. Basic Principles». Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of Russia, 2016: vii+160 p. [In Russian].
30. *Blagoveshchenskij V.P.* *Opređenje lavinnykh nagruzok*. Estimation of avalanches' loads. Alma-Ata: «Gylym», 1991: 115 p. [In Russian].