

Прикладные проблемы

УДК 551:558.48

<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-2-398>

Методика учёта лавинной опасности при территориальном планировании в России

© 2019 г. П.М. Родионова, А.С. Турчанинова*, С.А. Сократов, Ю.Г. Селиверстов, Т.Г. Глазовская

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

*alla_wave87@mail.ru

Methods of accounting the avalanche hazard for the territorial land-use planning in Russia

P.M. Rodionova, A.S. Turchaninova*, S.A. Sokratov, Yu.G. Seliverstov, T.G. Glazovskaya

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*alla_wave87@mail.ru

*Received July 30, 2018 / Revised November 29, 2018 / Accepted March 22, 2019***Keywords:** *avalanche hazard, land use planning, modeling, risk, snow avalanche.*

Summary

The legislation of the Russian Federation establishes the need to take into account hazardous natural processes and their parameters in territorial planning, as well as presentation of them in the relevant documentation in the form of maps. In a number of countries, there is a long-standing practice of mapping the avalanche zones basing on the definition of different levels of danger, which are used to limit or ban the construction in avalanche zones, as well as to project the anti-avalanche activities. Russia has experience in assessing risk and mapping the avalanche danger, but the practice of making such plans in our country is still not developed. The purpose of this work is to determine and plot on map avalanche zones on the example of one of the actively developed mountain regions of Russia. The all-season mountain resort «Gorky Gorod», located on Krasnaya Polyana in the Krasnodar region, was chosen as the object of study. Two approaches to the accounting and mapping of avalanche hazard in territorial planning were tested. In the first case, occurrence and pressure of avalanches were the determining factors. In the second case, critical avalanche pressure values were used to determine their destructive impact effect. To determine indexes (indicators) of the avalanche hazard, the simulation of snow avalanches in the RAMMS program was performed. According to the results of modeling for area of the «Gorky Gorod» resort schemes of the avalanche zones were constructed on the basis of two different approaches, having no account for the anti-avalanche measures used there. A more detailed plan based on a combination of these two approaches had also been drawn up and analyzed. The required criteria for determining the boundaries of zones with different levels of the danger are the subject for discussion. However, the proposed division of avalanche-dangerous territory into zones with different levels of the hazard at the stage of territorial planning meets the requirements of the legislation and contributes to improving human security, reducing the avalanche risk, and mitigating the consequences of emergencies caused by avalanches.

Citation: Rodionova P.M., Turchaninova A.S., Sokratov S.A., Seliverstov Yu.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. [In Russian]. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-2-398>.

Поступила 30 июля 2018 г. / После доработки 29 ноября 2018 г. / Принята к печати 22 марта 2019 г.

Ключевые слова: *моделирование, опасность, риск, снежная лавина, территориальное планирование.*

Исследование, направленное на совершенствование учёта лавинной опасности при территориальном планировании, выполнено для горного курорта «Горки Город» на Красной Поляне в Краснодарском крае. Апробированы два подхода к учёту лавинной опасности и их комбинации. Значения показателей лавинной опасности определены путём моделирования лавин в программе RAMMS. По результатам моделирования для территории курорта «Горки Город» составлены планы лавиноопасных зон.

Введение

Материалы по обоснованию схем территориального планирования Российской Федерации законодательно должны отображать территории,

в том числе в виде карт, подверженные риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера [1]. Рекомендованы и масштабы графических материалов в зависимости от вида градостроительной деятельности [2]. К одним из

наиболее распространённых опасных природных явлений в горных районах России, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций, относятся снежные лавины. Горные районы, в которых возможен сход лавин, занимают 18% территории Российской Федерации, ещё на 4,8% территории образование лавин может стать возможным при уничтожении леса на склонах или в результате изменений климата [3]. Всё увеличивающаяся активность освоения горных районов России требует учёта их региональной специфики при территориальном планировании, однако имеющаяся в нормативных документах карта степени лавинной активности на территории Российской Федерации дана в масштабе 1:20 000 000 [2], что недостаточно даже для схемы территориального планирования Российской Федерации в целом.

В ряде стран существует многолетняя практика составления крупномасштабных планов лавиноопасных зон. Планы предусматривают разделение территории на зоны с разными уровнями лавинной опасности. В зависимости от уровня в пределах выделенных зон должны выполняться противолавинные мероприятия: накладываются ограничения или вводится запрет на строительство; строятся защитные сооружения; усиливаются конструкции сооружений; разрабатываются планы эвакуации и др. Градации степени опасности лавиноопасных зон и показатели для их выделения в разных странах отличаются и определяются в первую очередь исходя из исторического опыта. Повторяемость лавин и давление фронта лавин на сооружение, запланированное к постройке, служат показателями для выделения лавиноопасных зон в Австрии, Швейцарии, Канаде и Франции [4]. В Исландии принят другой подход, основанный на численном определении уровня риска [5]. В этом же направлении ведутся разработки методологий в Канаде [6] и Италии [7].

В России накоплен большой опыт крупномасштабного картографирования снежных лавин [8] и имеются оценки лавинного риска территорий [9], однако практика составления планов лавиноопасных зон в нашей стране не получила развития. Картографирование лавинной опасности применяется в основном при инженерных изысканиях для строительства конкретных зданий и сооружений. Резуль-

таты изысканий должны содержать рекомендации для принятия решений по разработке мероприятий инженерной защиты [10] и обустройству инженерной защиты [2]. Последний документ определяет «категории опасности природных воздействий для исследуемых территорий» в случае лавин по площади поражения, объёму одновременного выноса и повторяемости. Нормативно определены возможные виды противолавинной защиты и правила обустройства защитных сооружений [11].

В этом же документе указано, что эффективность инженерной защиты должна определяться с учётом предотвращённых экономических и социальных потерь. Формально рекомендации должны присутствовать в отчётах по инженерным изысканиям уже на этапе выбора оптимального места размещения площадок (трасс) строительства [2, 10]. Однако расчёты параметров лавин в отечественной практике традиционно опираются на методики, представляющие собой одномерные модели [12, 13 и др.]. Таким образом, параметры лавин могут быть рассчитаны только для конкретных площадей, указанных в предоставляемых изыскателями планах территорий, объектов инфраструктуры и/или для соответствующих им профилей лавиносборов.

Очевидно, что и эффективность предлагаемых мер инженерной защиты, и сами меры, во всяком случае в отношении лавинной опасности, определяются требуемым для объекта местоположением, а не наоборот. Более того, в распоряжение изыскателей для анализа условий предоставляются цифровые модели рельефа местности до начала строительства, тогда как по окончании строительства условия могут сильно измениться [14]. Анализ многочисленных материалов показывает, что и на генеральных планах поселений и городских округов России в лучшем случае показаны зоны зарождения лавин, а территории, на которых происходят их движение и остановка, не обозначены.

Цель настоящей работы – отработка методики зонирования территории по степени лавинной опасности. В качестве объекта исследования выбран всесезонный горный курорт «Горки Город», расположенный на территории Красной Поляны в Краснодарском крае. Этот район хорошо изучен в отношении лавинной опасности с помощью принятых в отечественной практике

методов оценки лавинных характеристик и картографического предоставления лавиноопасных зон [15]. В процессе исследования апробированы два подхода к учёту и картографированию степени лавинной опасности при территориальном планировании в России. В первом случае определяющими факторами стали повторяемость и давление лавин. За основу определения границ лавиноопасных зон взяты швейцарские показатели [16]. Во втором случае использовались критические значения давления лавин, определяющие их разрушительный эффект [17, 18]. Для определения значений показателей лавинной опасности выполнены моделирование снежных лавин в программе RAMMS [19, 20], а также обобщение результатов, полученных на основе двух разных подходов.

Район исследования

Работа выполнена на примере всесезонного горного курорта «Горки Город», расположенного на северном склоне хр. Аибга на Красной Поляне в западной части Большого Кавказа. Красная Поляна – один из самых активно осваиваемых и популярных среди туристов горных курортов России. Для района исследования характерны: преобладающие значения абсолютной высоты от 1200 до 2400 м; углы наклона склонов – от 17° до 60°; формы рельефа, способствующие накоплению снега (цирки, эрозионные врезы); открытые пространства альпийских и субальпийских лугов. Район характеризуется наибольшим количеством выпадающих осадков в России [21], причём более 50% атмосферных осадков приходится на зимний период. Согласно различным литературным источникам, толщина снежного покрова на склонах гор в период максимального снегонакопления в среднем составляет 3 м и более, однако в отдельных местах она может достигать 8 м, о чём свидетельствуют данные метеорологической станции Ачишхо (абсолютная высота 1880 м). Здесь 13 марта 1983 г. зарегистрировано рекордное среди метеостанций СССР значение суточного максимума толщины снежного покрова равное 7,7 м [22]. Такие условия крайне благоприятны для образования снежных лавин. Наибольшую долю общего числа естественных лавин состав-

ляют лавины, вызванные снегопадами. Максимальная продолжительность лавиноопасного периода может достигать 200 дней. На Красной Поляне возможно образование лавин объёмом более 1 млн м³.

Горнолыжный курорт «Горки Город» занимает второе место по площади среди курортов Красной Поляны. На территории курорта расположены многочисленные объекты: горнолыжные трассы общей протяжённостью около 30 км; 11 канатных дорог и многие другие объекты (<https://gorkygorod.ru/about/>). Здесь работает противолавинная служба, проводятся противолавинные мероприятия. Выбор места исследования определён наличием у авторов необходимой для его проведения информации, а представленные далее результаты картирования относятся к гипотетическому сценарию отсутствия на исследуемой территории каких-либо противолавинных сооружений, т.е. состоянию до начала строительства объектов инфраструктуры курорта.

Методика исследования

В феврале и июле 2017 г. мы провели полевые исследования. Для выделения лавиноопасных зон использовали методы математического моделирования и геоинформационного картографирования снежных лавин. Применялись: программа моделирования лавин RAMMS; цифровая модель рельефа (ЦМР), созданная по топографическому плану масштаба 1:5000; разновременные аэрофото- и космические снимки. В работе не учитывались параметры снеговоздушных волн сходящих лавин, которые также могут оказывать влияние на туристов и инфраструктуру.

Основу программы RAMMS составляет двухмерная модель, позволяющая моделировать движение лавин в условиях трёхмерного рельефа и созданная на основе одномерной гидравлической модели Вельми–Зальма [23, 24] и ряда других разработок. Программа RAMMS верифицирована по данным многолетних наблюдений на Кавказе [25], что позволяет использовать её в районе исследования без модификации. Модель даёт возможность рассчитать скорость, высоту потока и давление текучей лавины на препятствие для всей поверхности лавиносбора. Отметим, что с помощью одномерных моделей [12, 13] можно

рассчитать значения характеристик лавин только вдоль линии профиля. Модель RAMMS имеет следующие входные параметры: ЦМР; граница зоны зарождения лавины и толщина отрыва снежного пласта в ней; коэффициенты сухого и вязкого трения. Коэффициенты трения рассчитываются автоматически для каждой точки траектории движения лавины в зависимости от объёма и повторяемости лавины, высоты над уровнем моря, рельефа поверхности и наличия леса [20].

Выделение зон зарождения лавин. На начальном этапе составления плана лавиноопасных зон выделялись зоны зарождения лавин. С помощью ЦМР проанализированы морфометрические характеристики рельефа (уклон, экспозиция). По карте углов наклона выделены территории, благоприятные для лавинообразования. Угол наклона 30° условно принят за нижний предел лавиноактивных склонов, так как большинство лавин в районе исследования сходит со склонов с углом наклона $30\text{--}45^\circ$. Угол наклона 60° — верхний предел, за которым склоны становятся практически безопасными в лавинном отношении, так как снег на них практически не скапливается [26]. Боковые границы зон зарождения проводились по положительным перегибам рельефа (гребням, выходам скал). Границы лавинных очагов уточняли с учётом характера растительности по данным полевых наблюдений, а также на основе дешифрирования аэро-, фото- и космоснимков. Густой лес в данном регионе, как правило, не благоприятен для зарождения лавин, поэтому лавинные очаги были выделены в зоне луговой растительности.

В результате исследований на территории курорта выделено 87 зон зарождения лавин для последующего их моделирования с периодом повторяемости один раз в 30 лет (рис. 1). Для моделирования лавин с периодом повторяемости один раз в 300 лет зоны зарождения были объединены с учётом экспозиции склонов в 29 более крупных зон зарождения. Предполагается, что при образовании лавин с периодом повторяемости один раз в 300 лет одновременно может действовать несколько зон зарождения лавин, которые в другие годы работают по отдельности.

Определение толщины снежного покрова. Толщина снежного покрова, участвующего в образовании лавин разной повторяемости, определялась в соответствии со швейцарским

подходом [4] по приростам толщины снежного покрова за трёхдневный снегопад на уровне зон зарождения лавин. Значения приростов на разных высотах и различной обеспеченности рассчитаны по зависимостям, установленным при подготовке Зимних Олимпийских игр в Сочи в 2014 г. Средняя абсолютная высота линии отрыва лавин на курорте «Горки Город» — 2200 м. На этой высоте максимальная толщина снега, заданная для последующего моделирования лавин с повторяемостью один раз в 30 лет, составила 2,4 м, а максимальная толщина для моделирования лавин с повторяемостью один раз в 300 лет — 5,4 м. Значения максимальной толщины снежного покрова были пересчитаны в соответствии со средним углом наклона склонов в зонах зарождения лавин. Таким образом, толщина снежного покрова, заданная для периода повторяемости один раз в 30 лет, составила 0,96–1,5 м, а толщина, заданная для периода повторяемости один раз в 300 лет, — 2,14–4,4 м.

В существующих отечественных нормативных документах упоминаются превышения толщины снежного покрова один раз в 100 лет и один раз в 20 лет («...с вероятностью превышения 1–5% (в зависимости от уровня ответственности защищаемого объекта)...») [11], но для иллюстрации предлагаемой методологии конкретные цифры не имеют большого значения. Кроме того, нормативы в отношении объектов инфраструктуры вряд ли применимы для людей, временно находящихся на лавиноопасных склонах, а последние не менее важны при рассмотрении таких объектов, как горнолыжные курорты.

Моделирование лавин определённой повторяемости. Для составления плана лавиноопасных зон смоделировано 87 лавин с повторяемостью один раз в 30 лет и 29 лавин с повторяемостью один раз в 300 лет. Для каждого периода повторяемости рассчитаны объём и максимальные значения высоты потока, скорости и давления лавины на препятствие (табл. 1), а также дальности выброса лавин (рис. 2 и 3). Расчёт показал, что максимальный объём 300-летних лавин превышает объём 30-летних почти в шесть раз. Максимальное давление 300-летних лавин — более 1000 кПа, а максимальное давление 30-летних достигает 720 кПа. Максимальная высота потока 300-летних лавин почти в три раза больше, чем у 30-летних. Наиболее опас-

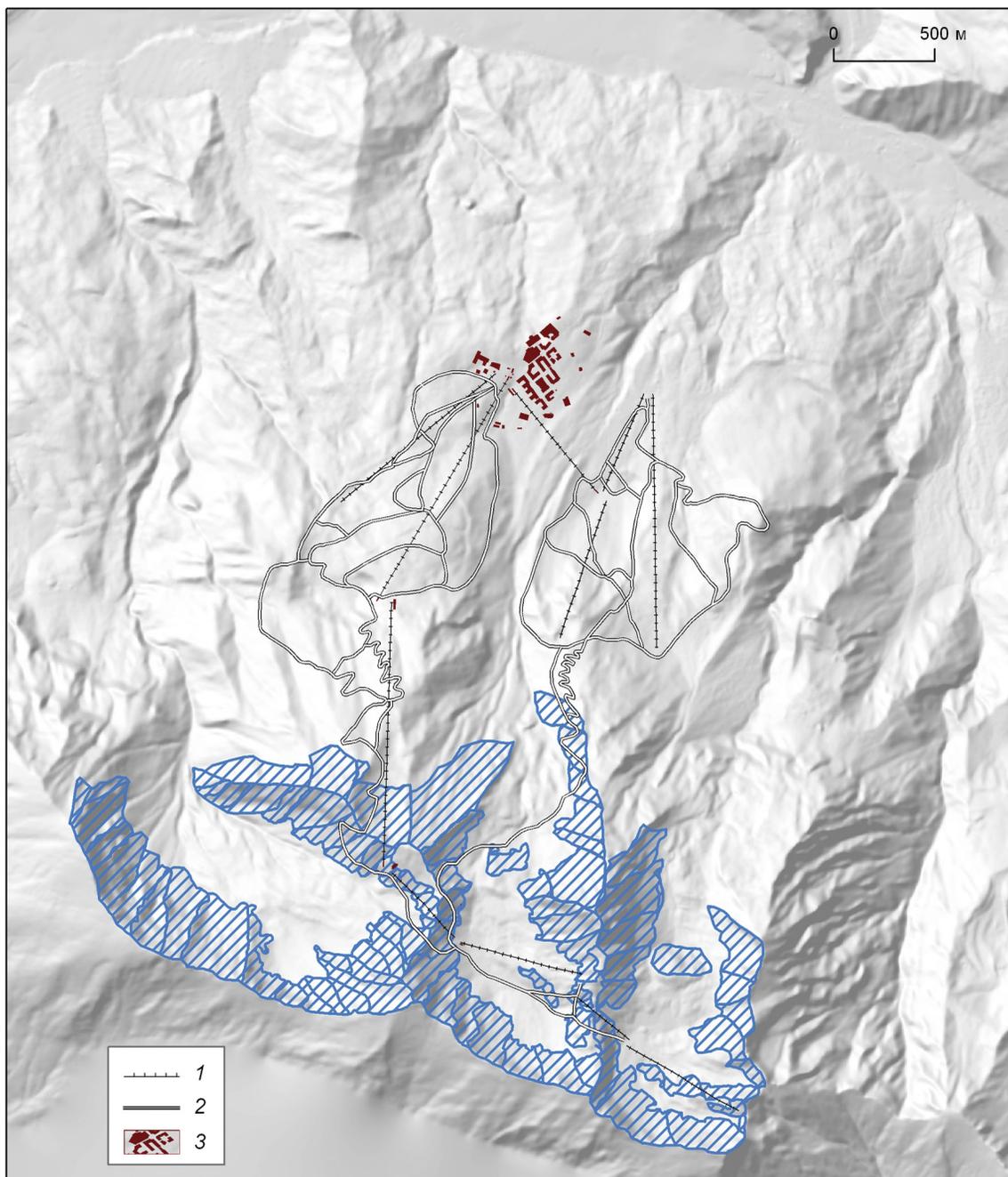


Рис. 1. Зоны зарождения лавин с повторяемостью один раз в 30 лет, выделенные на территории курорта «Горки Город» (голубая штриховка):

1 – канатные дороги; 2 – трассы; 3 – здания (на рис. 1–4)

Fig. 1. Release zones of avalanches with 30-years return period, indicated on the territory of «Gorky Gorod» mountain resort (blue hatch):

1 – ski lifts; 2 – ski pistes; 3 – buildings (on Fig. 1–4)

ны на территории курорта лавины из цирка № 1 (см. рис. 2). Все рассчитанные характеристики лавин, кроме высоты потока, достигают здесь наибольших значений. Максимальные значения давления лавин разной повторяемости, образу-

ющихся в других цирках и под ними, составляют более 30 кПа, указывая высокую опасность этих лавин для объектов инфраструктуры.

Результаты расчётов максимальной дальности выброса и границ распространения лавин

Таблица 1. Характеристики лавин с повторяемостью один раз в 30 лет (числитель) и один раз в 300 лет (знаменатель)

Расположение зон зарождения	Объём, м ³	Максимальное давление, кПа	Максимальная скорость, м/с	Максимальная высота потока, м
Цирк № 1	15 920–145 260 155 890–840 470	245–720 620–1080	30–50 45–60	5–15 20–40
Цирк № 2	10 930–75 785 35 425–780 900	80–535 230–1205	15–40 35–65	5–15 10–35
Цирк № 3	15 430–135 810 40 490–715 970	95–590 260–1030	20–45 30–60	2–20 10–30
Под цирком № 1	15 220–75 550 15 690–380 660	100–650 265–1135	20–45 30–60	5–10 5–50
Под цирком № 2	5 350–55 500 275 000–465 590	320–680 695–1105	30–45 50–60	5–10 20–25

были сопоставлены с результатами полевых обследований и дешифрирования аэрофото- и космических снимков. Результат сопоставления признан удовлетворительным.

Составление плана лавиноопасных зон. Результаты моделирования лавин легли в основу составления планов (см. рис. 2, 3) лавиноопасных зон на основе двух различных подходов – швейцарского и подхода, определяющего разрушительный эффект лавин в зависимости от их давления при ударе [17, 18]. Планы лавиноопасных зон составлены без учёта проводимых на территории курорта противолавинных мероприятий.

В Швейцарии [16] принято выделение двух основных зон по степени лавинной опасности: красной (высокая) и голубой (средняя). К *красной зоне* относят территории, где период повторяемости лавин ≤ 30 лет при любом давлении, а также территории с периодом повторяемости лавин до 300 лет при давлении > 30 кПа. В красной зоне проектирование новых объектов инфраструктуры запрещено. Исключение возможно только при строительстве защитных сооружений. К *голубой зоне* относят территории, где период повторяемости лавин > 30 и ≤ 300 лет при давлении лавин < 30 кПа. В голубой зоне разрешено строительство новых объектов инфраструктуры с обязательным выполнением требований усиления конструкции сооружения, придания ему специальной формы, а также разработки способов эвакуации. Приведём потенциальный разрушительный эффект лавин в зависимости от их давления (кПа) при ударе [17, 18]: 0–1 – нет; 1–10 – может засыпать, ранить или убить человека, выдавливает окна; 10–100 – может разрушить деревянное здание или автомашину; 100–1000 –

может разрушить каменные сооружения и металлические конструкции; > 1000 – может разрушить железобетонные сооружения.

Планы были составлены в программе ArcGIS 10.3. На первом этапе были импортированы файлы со значениями давления 30-летних и 300-летних лавин в формате .asc из программы RAMMS. Далее с помощью инструмента «Mosaic» в результате обобщения значений расчётов 87 и 29 лавин, каждому из которых соответствовал свой растр, было создано два обобщающих растра максимальных значений давления 30- и 300-летних лавин в каждой точке поверхности. В результате наложения слоёв выделены красная и голубая зоны (см. рис. 2). На основе результатов расчёта давления лавин с повторяемостью один раз в 300 лет выделены зоны в интервалах значений, характеризующихся различным потенциальным разрушительным эффектом лавин (см. рис. 3).

Результаты

Для территории горного курорта «Горки Город» составлены планы лавиноопасных зон (см. рис. 2, 3). Общая площадь лавиноопасной территории курорта, согласно двум рассмотренным в работе подходам к выделению лавиноопасных зон, составляет 7,8 км². При этом, согласно швейцарскому подходу, площадь красной зоны составляет 6,6 км², а голубой – 1,2 км².

В зону с давлением от 1 до 10 кПа попадают здания в диапазоне высот 950–960 м и частично трассы в диапазоне высот 1035–1175 м. Эта зона опасна для человека. В соответствии со швейцарским

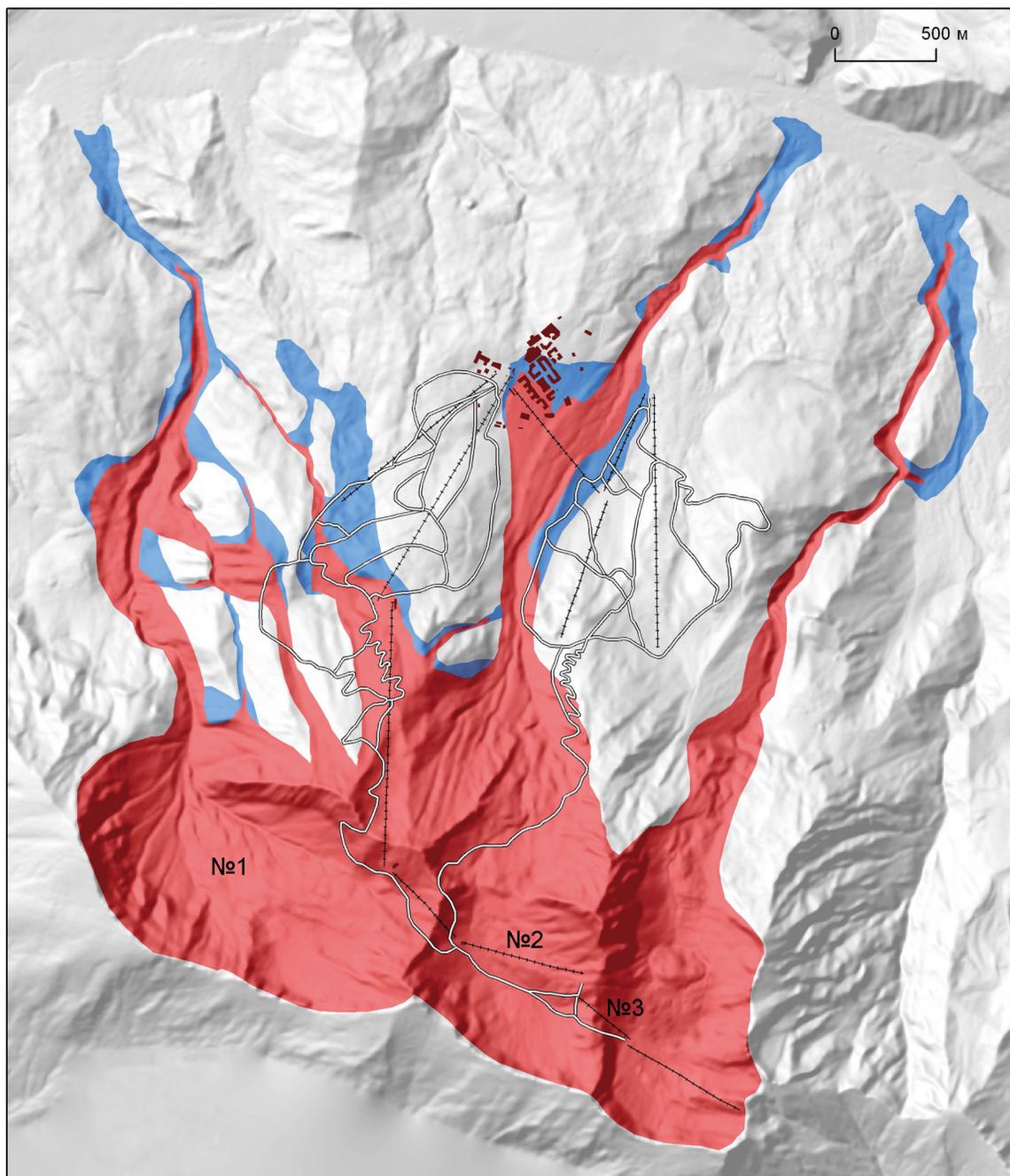


Рис. 2. План лавиноопасных зон, составленный в соответствии со швейцарскими критериями [16]:

№ 1 – № 3 – цирки; красная зона – высокая степень лавинной опасности, голубая зона – средняя степень лавинной опасности (критерии выделения зон – см. текст)

Fig. 2. Avalanche hazard zoning plan, developed according to Swiss approach [16]:

№ 1 – № 3 – the avalanche basins; red zone – high avalanche hazard, blue zone – medium avalanche hazard (the definition criteria are presented in the text)

подходом эта зона – голубая. В зоне с давлением от 10 до 100 кПа расположены: здания в диапазоне высот 960–1210 м; частично канатные дороги в диапазоне высот 1450–1460 м и 2065–2105 м; частично трассы в диапазоне высот 1120–1420 м.

Эта зона опасна для человека, деревянных зданий и сооружений, а также автомобильного транспорта. В соответствии со швейцарским подходом, эта территория частично попадает в красную, а частично – в голубую зоны. В зоне с давлением

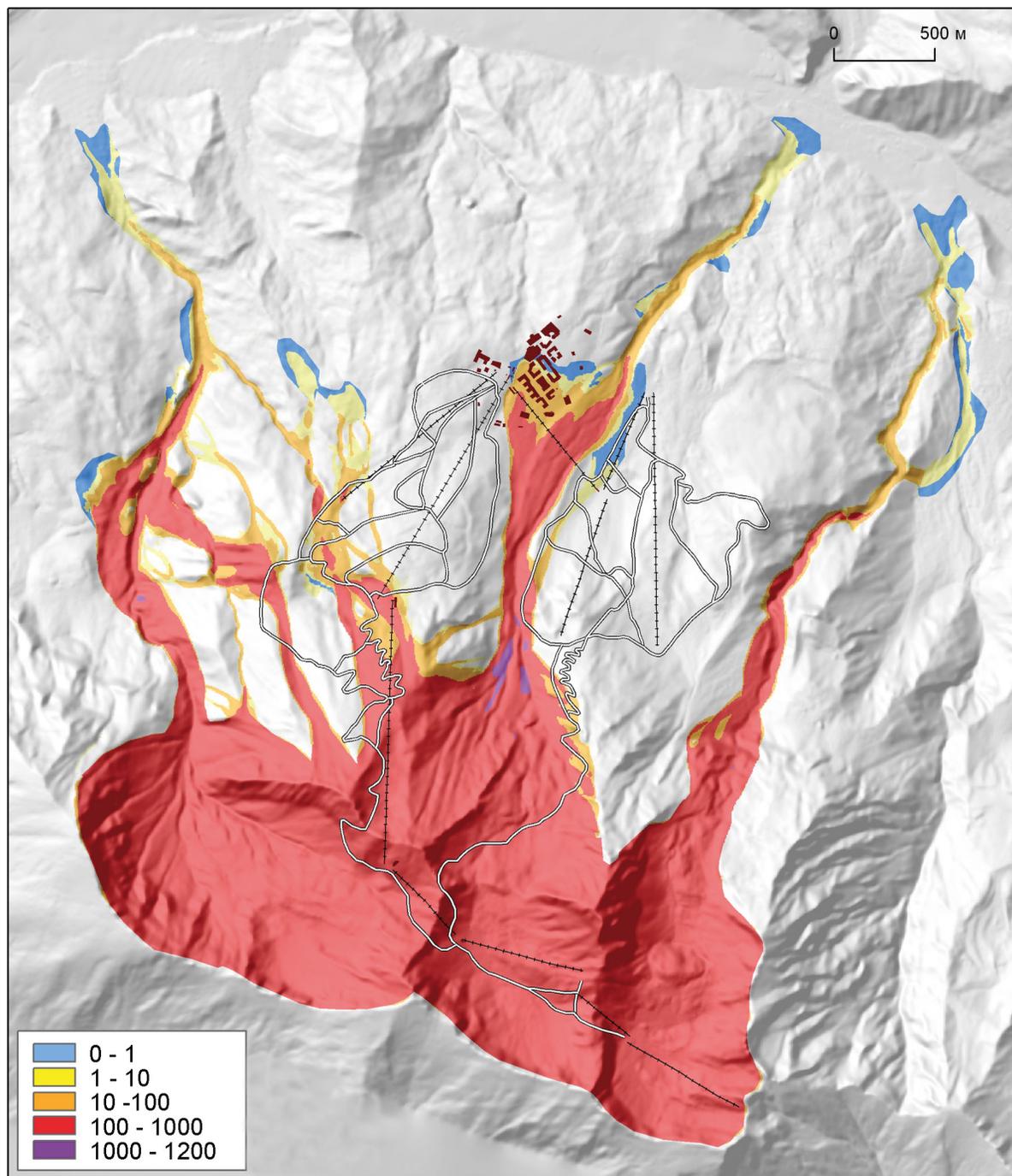


Рис. 3. План лавиноопасных зон, показывающий потенциальный разрушительный эффект лавин в зависимости от их давления при ударе [17, 18].

Цвета выделены зоны с определёнными значениями давления лавин (кПа) с периодом повторяемости один раз в 300 лет, характеризующиеся разрушительным эффектом: 0–1 – нет; 1–10 – может засыпать, ранить или убить человека, выдавливает окна; 10–100 – может разрушить деревянное здание или автомашину; 100–1000 – может разрушить каменные сооружения и металлические конструкции; 1000–1200 – может разрушить железобетонные сооружения

Fig. 3. Avalanche hazard zoning plan, showing the potential destructive effect of avalanches depending on the avalanches impact pressures [17, 18].

Colors present the zones with specific interval of avalanche's impact pressure (kPa) with 300-years return period, characterized by the destructive effect: 0–1 – no; 1–10 – can bury, wound or kill the person, squeezes out windows; 10–100 – can destroy the wooden building or the car; 100–1000 – can destroy stone and metal constructions; 1000–1200 – can destroy reinforced concrete constructions

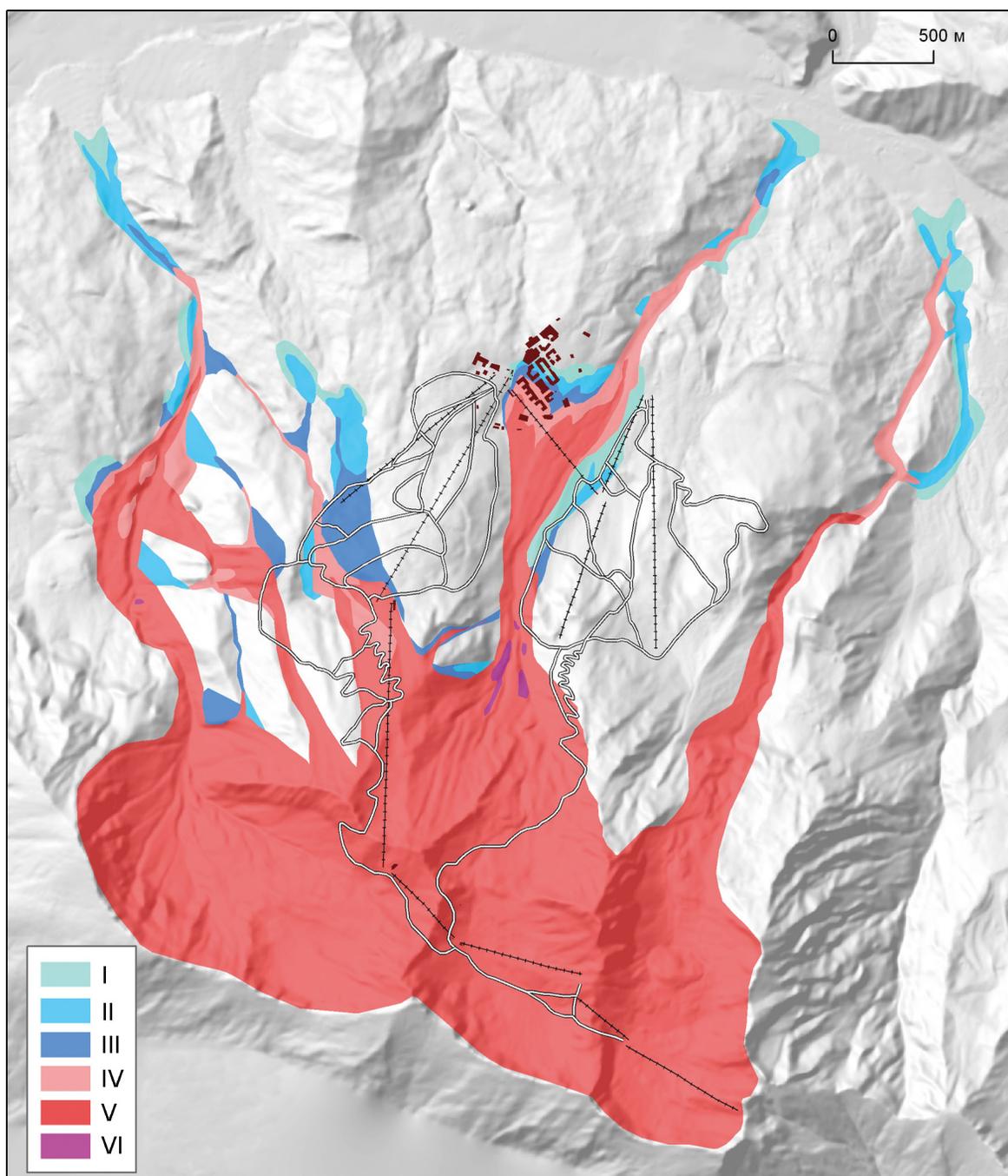


Рис. 4. План лавиноопасных зон, разработанный на основе комбинации двух подходов (см. рис. 2–3): I–VI – см. табл. 2

Fig. 4. Avalanche hazard zoning plan developed using a combination of the two approaches (Fig. 2, 3): I–VI – see Table 2

от 100 до 1000 кПа попадают: здания в диапазоне высот 1000–1010 м; канатные дороги; трассы в диапазоне высот 1340–2055 м. В этой зоне лавины опасны для зданий и сооружений. В соответствии со швейцарским подходом эта территория попадает в красную зону. Площадь территории,

где давление лавины превышает 1000 кПа, незначительна. Согласно швейцарскому подходу, эта территория также попадает в красную зону.

Помимо прямого использования подходов, описанных здесь, практическое значение может иметь и их комбинация (рис. 4). Выделенные по

Таблица 2. Критерии выделения лавиноопасных зон на основе комбинации двух подходов – швейцарского [16] и подхода, определяющего разрушительный эффект лавин в зависимости от их давления при ударе [17, 18]

Номер зоны (см. рис. 4)	Разрушительный эффект лавины	Возможности использования территории под строительство	Период повторяемости, лет	Давление лавины с повторяемостью один раз в 300 лет, кПа
I	Нет	Строительство разрешено с обязательным выполнением требований: усиления конструкции сооружения; придания ему специальной формы; разработка способов эвакуации	≤ 300	< 1
II	Может засыпать, ранить или убить человека; выдавливает окна			1–10
III	Может разрушить деревянное здание или автомашину			10–30
IV		< 30		
V	Может разрушить каменные сооружения и металлические конструкции	Строительство запрещено. Исключение возможно только при обязательном строительстве защитных сооружений	≤ 300	30–100
VI	Может разрушить железобетонные сооружения			100–1000
				> 1000

Таблица 3. Примеры критериев градации зон по степени лавинной опасности (T – период повторяемости, лет; I – сила удара, кПа) [6, 7]

Степень лавинной опасности	Италия	Франция	Швейцария	Австрия
Высокая	$T = 30, I \geq 3$; $T = 100, I \geq 15$	$T = 100, I \geq 30$	$T \leq 300, I \geq 30$; $T < 30, I \leq 30$	$T = 150, I > 10$; $T = 10, I > 3$
Средняя	$T = 30, I < 3$; $T = 100, I < 15$	$T = 100, 1 \leq I < 30$	$10 \leq T \leq 300, I < 30$ (для сухих лавин $T < 30, I \leq 3$)	$T = 150, 1 < I < 10$; $T = 10, 1 < I < 3$
Низкая	$T = 100, I < 3$; $T > 100$	$T = 100, I < 1$	$T > 300, I < 3$ (для сухих лавин $T \geq 30, I \leq 3$)	Не выделяется

результатам первого подхода «голубая» и «красная» зоны (см. рис. 2) разбиваются на шесть подзон (три подзоны для каждой из зон, см. рис. 4), каждая из которых характеризуется своим разрушительным эффектом лавин и необходимостью соблюдения определённых ограничений при использовании территории под строительство (табл. 2). Возможно также объединение отдельных подзон или установление каких-либо других границ между ними, что должно определяться имеющимися требованиями к безопасности и допустимому риску. Различия в критериях, используемых в ряде стран, показаны в табл. 3.

Выводы

Применение рассмотренной в работе методики учёта лавинной опасности при территориальном планировании позволяет выбирать полностью безопасные или наименее опасные из возможных местоположения под строительство

зданий и сооружений, что, несомненно, может положительно повлиять на эффективность предлагаемых мер инженерной защиты и снижение стоимости строительства. Отсутствие значительных разрушений за период функционирования курорта «Горки Город» позволяет сделать вывод, что в целом применяемые на территории курорта противолавинные мероприятия, а также работа противолавинной службы достаточно эффективны, так как препятствуют реализации возможных сценариев негативного воздействия лавин на рекреационные объекты. Однако время функционирования курорта составляет менее 10 лет, что значительно меньше проанализированных сценариев 30- и 300-летних периодов повторяемости лавин.

Выбор подхода к выполнению зонирования остаётся дискуссионным, но отметим, что разделение лавиноопасной территории на зоны с разными уровнями опасности и установление в каждой зоне определённых ограничений или запрета на строительство, а также требований по

защите от лавин создаёт дополнительное удобство при территориальном планировании и позволяет обеспечить требуемую безопасность. По мнению авторов, такое зонирование должно проводиться как в рамках территориального планирования Российской Федерации, полностью соответствуя требованию законодательства о представлении в планах характеристик опасных природных процессов (в данном случае снежных лавин) [1], так и при инженерных изысканиях. Существующие технологии позволяют это делать, однако установление критериев определения граничных параметров при выделении зон должно вестись исходя из исторического опыта, специфики экономического использования территории и уровня ответственности за последствия схода лавин.

Рассмотренную здесь методику в первую очередь следует использовать при проектировании и капитальном строительстве. Она не примени-

ма для горнолыжных трасс, а также временно находящихся на лавиноопасных склонах людей. В последнем случае более целесообразна методика зонирования, основанная на определении индивидуального риска [9, 27].

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам лавинной службы курорта «Горки Город» за помощь в выполнении работы. Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 16-1700104 «Лавинный и селевой риск на территории России: оценка, прогноз и меры по его снижению».

Acknowledgments. We would like to thank the staff of the Avalanche Warning Service of the «Gorky Gorod» mountain resort for their help. The research was supported by the Russian Science Foundation grant № 16-1700104, «Snow avalanches and debris flows risk at the territory of Russia: estimation, forecast and mitigation measures».

Литература

References

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 03.08.2018).
2. СП 115.13330.2016 «СНиП 22-01-95 Геофизика опасных природных воздействий». М.: изд. Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2016. 40 с.
3. Глазовская Т.Г. Оценка лавиноопасных территорий мира (методика и результаты): Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1987. 24 с.
4. The Technical Avalanche Protection Handbook / Eds.: F. Rudolf Miklau, S. Sauermoser, A.I. Mears. Berlin: Ernst & Sohn, 2015. 430 p. doi: 10.1002/9783433603840.
5. Arnalds P., Jónasson K., Sigurðsson S. Avalanche hazard zoning in Iceland based on individual risk // *Annals of Glaciology*. 2004. V. 38. P. 285–290. doi: 10.3189/172756404781814816.
6. McClung D.M. Risk-based definition of zones for land-use planning in snow avalanche terrain // *Canadian Geotechnical Journ.* 2005. V. 42. № 4. P. 1030–1038. doi: 10.1139/t05-041.
7. Cappabianca F., Barbolini M., Natale L. Snow avalanche risk assessment and mapping: A new method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform // *Cold Regions Science and Technology*. 2008. V. 54. № 3. P. 193–205. doi: 10.1016/j.coldregions.2008.06.005.
8. Town-Planning Code of the Russian Federation. 29.12.2004 № 190-FZ (ed. 03.08.2018). [In Russian].
9. SP 115.13330.2016 «SNiP 22-01-95 Geophysics of hazardous natural processes». Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation, 2016: 40 p. [In Russian].
10. Glazovskaya T.G. *Otsenka lavinoopasnykh territoriy mira (metodika i rezul'taty)*. Assessment of avalanche hazardous territories of the world (method and results). PhD Thesis. Moscow: MSU, 1987: 24 p. [In Russian].
11. The Technical Avalanche Protection Handbook / Eds.: F. Rudolf-Miklau, S. Sauermoser, A.I. Mears. Berlin: Ernst & Sohn, 2015: 430 p. doi: 10.1002/9783433603840.
12. Arnalds P., Jónasson K., Sigurðsson S. Avalanche hazard zoning in Iceland based on individual risk. *Annals of Glaciology*. 2004, 38: 285–290. doi: 10.3189/172756404781814816.
13. McClung D.M. Risk-based definition of zones for land-use planning in snow avalanche terrain. *Canadian Geotechnical Journ.* 2005. 42 (4): 1030–1038. doi: 10.1139/t05-041.
14. Cappabianca F., Barbolini M., Natale L. Snow avalanche risk assessment and mapping: A new method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform. *Cold Regions Science and Technology*. 2008. 54 (3): 193–205. doi: 10.1016/j.coldregions.2008.06.005.
15. Glazovskaya T.G. Domestic avalanche mapping: results and prospects. Ed. A.L. Shnyarkov. *Snezhnye laviny, seli*

8. Глазовская Т.Г. Отечественное лавинное картографирование: результаты и перспективы // Снежные лавины, сели и оценка риска / Ред. А.Л. Шныпарков. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 6–14.
9. Komarov A.Y., Seliverstov Y.G., Glazovskaya T.G., Turchaninova A.S. Risk assessment in the North Caucasus ski resorts // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2016. V. 16. № 10. P. 2227–2234. doi: 10.5194/nhess-16-2227-2016.
10. СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02–96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». М.: изд. Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2016. vii+160 с.
11. СП 116.13330.2012 «СНиП 22-02–2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения». М.: изд. Министерство регионального развития РФ, 2012. 60 с.
12. СН 517–80 «Инструкция по проектированию и строительству снеголавинных сооружений». М.: Стройиздат, 1980. 15 с.
13. ВСН 02–73 «Указания по расчёту снеголавинных нагрузок при проектировании сооружений». М.: Гидрометеоздат, 1973. 20 с.
14. Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Шныпарков А.Л., Колтерманн К.П. Антропогенное влияние на лавинную и селевую активность // Лёд и Снег. 2013. № 2 (122). С. 121–128. doi: 10.15356/2076-6734-2013-2-121-128.
15. Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Казакова Е.Н. Лавинные процессы в бассейне реки Мзымты и проблемы противолавинной защиты олимпийских объектов в Красной Поляне // Геориск. 2012. № 2. С. 10–31.
16. Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bern: Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 1984. 42 S.
17. 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.
18. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: Гидрометеоздат, 1987, 280 с.
19. Christen M., Bartelt P., Kowalski J. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain // Cold Regions Science and Technology. 2010. V. 63. № 1–2. P. 1–14. doi: 10.1016/j.coldregions.2010.04.005.
20. Bartelt P., Bühler Y., Christen M., Deubelbeiss Y., Salz M., Schneider M., Schumacher L. RAMMS: AVALANCHE User Manual. V 1.7.0. Davos: SLF, 2017. iii+97 p.
21. Национальный атлас России: Т. 2. Природа и экология. М.: Роскартография, 2007. 495 с.
22. *i otsenka riska*. Snow avalanches, debris flows and risk assessment. Moscow: MSU, 2004: 6–14. [In Russian].
9. Komarov A.Y., Seliverstov Y.G., Glazovskaya T.G., Turchaninova A.S. Risk assessment in the North Caucasus ski resorts. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2016, 16 (10): 2227–2234. doi: 10.5194/nhess-16-2227-2016.
10. SP 47.13330.2016 «SNiP 11-02-96 Engineering survey for construction. Basic principles». Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation, 2016: vii+160 p. [In Russian].
11. SP 116.13330.2012 «SNiP 22-02-2003 Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic principles». Moscow: Ministry of Ministry of Regional Development of Russian Federation, 2012: 60 p. [In Russian].
12. SN 517–80 «Instruction on the design and construction of snow avalanches protection structures». Moscow: Stroizdat, 1980: 15 p. [In Russian].
13. VSN 02–73 «Directions on calculation of snow avalanches loads in design of constructions». Moscow: Gidrometeoizdat, 1973: 20 p. [In Russian].
14. Sokratov S.A., Seliverstov Yu.G., Shnyarkov A.L., Kolttermann K.P. Anthropogenic effect on avalanche and debris flow activity. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2013, 2 (122): 121–128. doi: 10.15356/2076-6734-2013-2-121-128. [In Russian].
15. Kazakov N.A., Gensiorovsky Yu.V., Kazakova E.N. Avalanche processes in the Mzymta River basin and anti-avalanche protection problems of the Olympic objects in Krasnaya Polyana. *Georisk*. Georisk. 2012, 2: 10–31. [In Russian].
16. Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bern: Eidgenössische Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 1984: 42 S.
17. 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.
18. 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.
19. Christen M., Bartelt P., Kowalski J. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Regions Science and Technology. 2010, 63 (1–2): 1–14. doi: 10.1016/j.coldregions.2010.04.005.
20. Bartelt P., Bühler Y., Christen M., Deubelbeiss Y., Salz M., Schneider M., Schumacher L. RAMMS: AVALANCHE User Manual. V 1.7.0. Davos: SLF, 2017: iii+97.
21. *Natsionalny Atlas Rossii. T. 2. Priroda i ekologiya*. National Atlas of Russia: V. 2 «Environment. Ecology». Moscow: Roskartografiya, 2007: 495 p. [In Russian].

22. *Погорелов А.В.* О «полосе снежности» Большого Кавказа // *Гляциология горных областей: Тр. Среднеазиатского регионального науч.-исслед. ин-та им. В.А. Бугаева. Вып. 129 (210) / Ред. М.И. Геткер, В.Ф. Суслов. М.: Московское отделение Гидрометеоздата, 1988. С. 25–30.*
23. *Voellmy A.* Über die Zerstörungskraft von Lawinen // *Schweizerische Bauzeitung. 1955. V. 73. № 12. S. 159–165; № 15. S. 212–217; № 17. S. 246–249; № 19. S. 280–285.*
24. *Salm B.* Contribution to avalanche dynamics // *International Symposium on Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches, 5–10 April 1965, Davos, Switzerland: Reports and discussions (IAHS Proceedings and Reports «Red books», publ. 69). Wallingford: IAHS Press, 1966. P. 199–214.*
25. *Турчанинова А.С., Селиверстов Ю.Г., Глазовская Т.Г.* Моделирование снежных лавин в программе RAMMS в России // *Геориск. 2015. № 4. С. 42–47.*
26. *Благовещенский В.П.* Определение лавинных нагрузок. *Алма-Ата: Гылым, 1991. 116 с.*
27. *Komarov A., Seliverstov Yu., Turchaninova A., Sokratov S.* A new approach to avalanche risk assessment in Russia // *Proceedings, International Snow Science Workshop (ISSW), Innsbruck, Austria, 2018. Innsbruck, 2018. P. 241–245.*
22. *Pogorelov A.V.* On the «belt of snowiness» of the Great Caucasus. Eds.: M.I. Getker, V.F. Suslov. *Glyatsiologiya gornyykh oblastey. Glaciology of mountain regions: Proc. of the Central Asian Regional Institute, 129 (210). Moscow: Moskovskoe otdelenie Gidrometeoizdata, 1988: 25–30. [In Russian].*
23. *Voellmy A.* Über die Zerstörungskraft von Lawinen. *Schweizerische Bauzeitung. 1955. 73 (12): 159–165; (15): 212–217; (17): 246–249, (19): 280–285.*
24. *Salm B.* Contribution to avalanche dynamics. *International Symposium on Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches, 5–10 April 1965. Davos, Switzerland: Reports and discussions (IAHS Proceedings and Reports «Red books» publication 69). Wallingford: IAHS Press, 1966: 199–214.*
25. *Turchaninova A.S., Seliverstov Yu.G., Glazovskaya T.G.* Modeling of snow avalanches using RAMMS in Russia. *Georisk. 2015, 4: 42–47. [In Russian].*
26. *Blagoveshchenskiy V.P.* *Opreделение lavinnykh nagruzok.* The definition of avalanches loads. *Almaty: Gylym, 1991: 116 p. [In Russian].*
27. *Komarov A., Seliverstov Yu., Turchaninova A., Sokratov S.* A new approach to avalanche risk assessment in Russia. *Proceedings, International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 2018. Innsbruck: ISSW, 2018: 241–245.*