

А. Кашдан

Институт Мада, г. Монреаль (Канада)

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЛЯЦИОЛОГИЯ: ОЦЕНКА ЛАВИННОГО РИСКА

Аннотация. За последние 30 лет стратегия борьбы с лавинными опасностями и стихийными бедствиями в США, Канаде и Альпийских странах изменилась от простой балльной оценки лавинной опасности до использования экологических и социально-экономических подходов, ориентированных на оценку и управление лавинным риском. В России 10 лет назад в связи с зимними Олимпийскими играми в Сочи началась реконструкция лавинной службы, обслуживающей инженерные противолавинные сооружения в Красной Поляне на Западном Кавказе. Изданием научно-технической документации и руководящих документов по активному воздействию на лавины занимается Высокогорный геофизический институт (ФГБУ ВГИ) Росгидромета в г. Нальчик (Кабардино-Балкарская Республика). На Алтае и в Сибири фоновые прогнозы лавинной опасности делаются в рамках МЧС России на основе данных Росгидромета. Автор в данной работе анализирует зарубежный и отечественный опыт инженерной защиты от лавин и предлагает решение стратегического планирования и управления на основе оценки лавинного риска для Кош-Агачского района Республики Алтай.

Ключевые слова: инженерная гляциология, лавинная опасность, лавинный риск, инженерные противолавинные сооружения.

A. Kashdan

Mada Institute, Montreal (Canada)

ENGINEERING GLACIOLOGY: AVALANCHE RISK ASSESSMENT

Abstract. Over the past 30 years, the strategy for management of avalanche hazards and disasters in the USA, Canada and the Alpine countries has evolved from a simple avalanche hazard score to an environmental and economic approach focused on assessing and management of avalanche risk. 10 years ago in Russia, in connection with the Winter Olympic Games, Sochi, the reconstruction of the avalanche service began, serving the engineering avalanche structures in Krasnaya Polyana in the Western Caucasus. The publication of scientific and technical documentation and guidance documents on active influence on avalanches is carried out by the High Mountain Geophysical Institute (FGBU VGI) of Roshydromet in Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, the forecast of avalanche hazard for Altai and Siberia are made within the framework of the Russian Emergencies Ministry on the basis of Roshydromet data. In this paper, the author analyzes Swiss, USA, Canada and local experience in engineering protection against avalanches and proposes a strategic planning and management solution based on an avalanche risk assessment for the Kosh-Agach region of the Altai Republic.

Keywords: engineering glaciology, avalanche hazard, avalanche risk, engineering avalanche structures.

Введение

За последние десятилетия стратегия борьбы с лавинными стихийными бедствиями в Швейцарии, США и Канаде изменилась с подхода, ориентированного на анализ лавинной опасности на основе балльной оценки, на подход, ориентированный на экономические, социальные и экологические риски. Основываясь на зарубежном и отечественном опыте, на Алтае и в Сибири может быть использована методика оценки лавинного риска для увеличения эффективности внедрения инженерных мер защиты от лавин, а также применены сейсмические и радарные системы обнаружения лавин (Avalanche Detection Network, ADN), интернет- и телефонные системы сигнализации и предупреждения населения и туристов на базе веб-платформы оповещения.

Материалы и методы исследования

Следуя стратегии устойчивого развития горных регионов, были разработаны различные методы и алгоритмы расчета как части процесса принятия решений (decision making process, DMP – см. рис. 1) и процесса управления лавинными рисками, согласно рекомендациям Канадской лавинной ассоциации [11] (см. рис. 2). Автор в этой работе представляет некоторые из этих разработок и приводит пример риск-ориентированного проектирования инженерных мер защиты от лавин с использованием алгоритмов расчета рисков, таких как количественное управление рисками, а также агрегирование и распределение рисков [9].

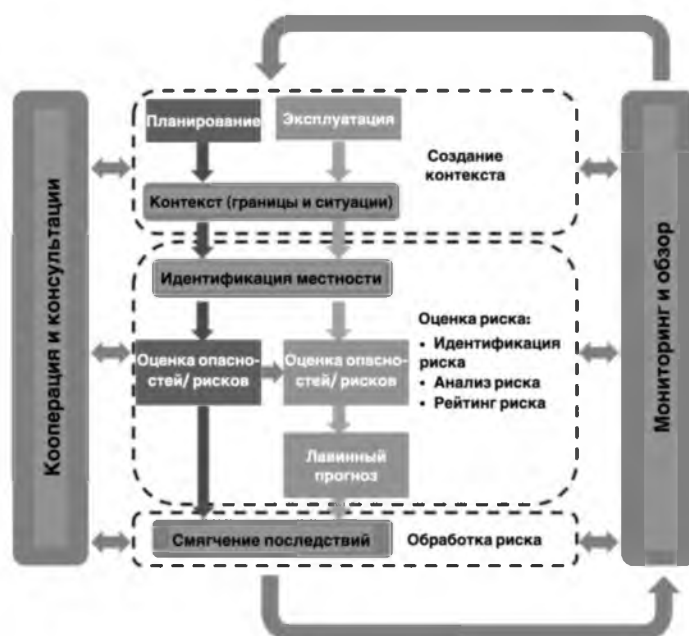


Рис. 1. Процесс принятия решений (DMP) для достижения устойчивого уровня безопасности (Стратегия борьбы со стихийными бедствиями в Швейцарии, программа PLANAT-2014) [7]

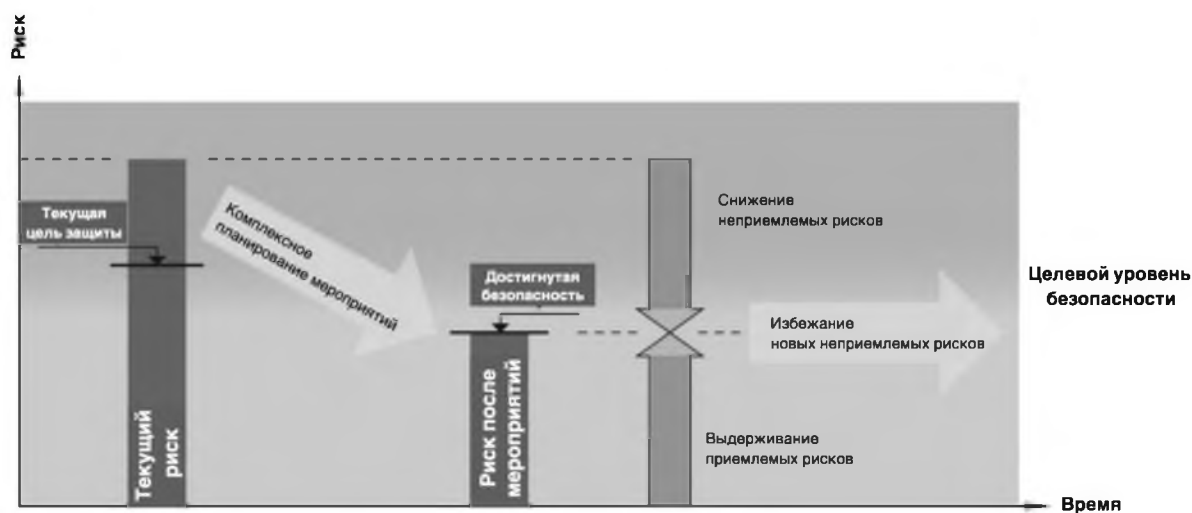


Рис. 2. Процесс управления лавинными рисками [11]. Пунктирная линия и черный маркированный текст справа показывает связь с процессом ISO 31000 [12]

Изначально методика была апробирована в Швейцарских Альпах [7]. В 2016 году существующая карта зонирования лавинной опасности была пересмотрена с учетом новых инженерных и организационных мер по снижению лавинного риска. Хорошо задокументированные лавины с 1951 г. позволили провести всесторонний анализ данных. Были определены зоны различной лавинной опасности, основываясь в основном на: 1) истории схода лавин, 2) топографо-статистическом моделировании и компьютерных симуляциях с использованием динамической модели Aval-1D, 2D RAMMS, SLAB <https://www.epfl.ch/labs/slab/> и 3) экспертной оценке. Особое внимание было уделено оценке эффективности мер смягчающих последствия от лавин. Расчет максимальной дальности выброса лавины был непростым, так как несколько рядов домов стоят на пути лавины и тормозят лавинный поток, изменяя его динамические характеристики.

Районы исследования и ситуационный анализ

Исследуемые территории: первый район исследования, это местные сообщества в швейцарских Альпах [7], второй район – горно-рекреационная зона Разрыв трех долин (Three Valley Gap) в Британской Колумбии, третий район – шоссе Южный Клондайк между Юконом и Аляской в США, четвертый район – горно-рекреационная зона в Красной Поляне на Западном Кавказе, пятый – урочище Казаныгир, Кош-Агачский район, Алтай, всем этим пяти горным районам угрожают сходы снежных лавин частой повторяемостью. В Швейцарских Альпах, было несколько событий, когда лавины разрушили жилые здания и объекты инфраструктуры, причинив значительный экономический и экологический ущерб и гибель людей [10]. В ответ на эти стихийно-разрушительные события были возведены противолавинные сооружения. Из-за недостатков в инженерной защите от снежных лавин в этом исследуемом районе были запланированы дополнительные меры. Их инженерная противолавинная эффективность, экономическая эффективность, влияние на окружающую среду и экологические издержки были подвергнуты переоценке для подачи заявки на дополнительную субсидию из федерального бюджета.

Оценка лавинной опасности

Оценка риска основана на 30-, 100- и 300-летних сценариях лавинной активности для швейцарских Альп и для выбранных автором районов США, Канады, Западного Кавказа и Алтая. Для каждого из этих сценариев были составлены карты лавинной интенсивности для ситуации без дополнительных критериев (рис. 3) и с дополнительными критериями, и на их основе рассчитывались динамические характеристики лавин с помощью числовых моделей: 1) топографо-статистических (методы Козика [2], Аккуратова [5], Благовещенского [1], Канадской лавинной ассоциации [8]); 2) физико-динамических (модели Aval-1D, 2D RAMMS, SLAB). После прохождения этой двухступенчатой методической процедуры моделирования входные и выходные данные проверялись экспертной группой.

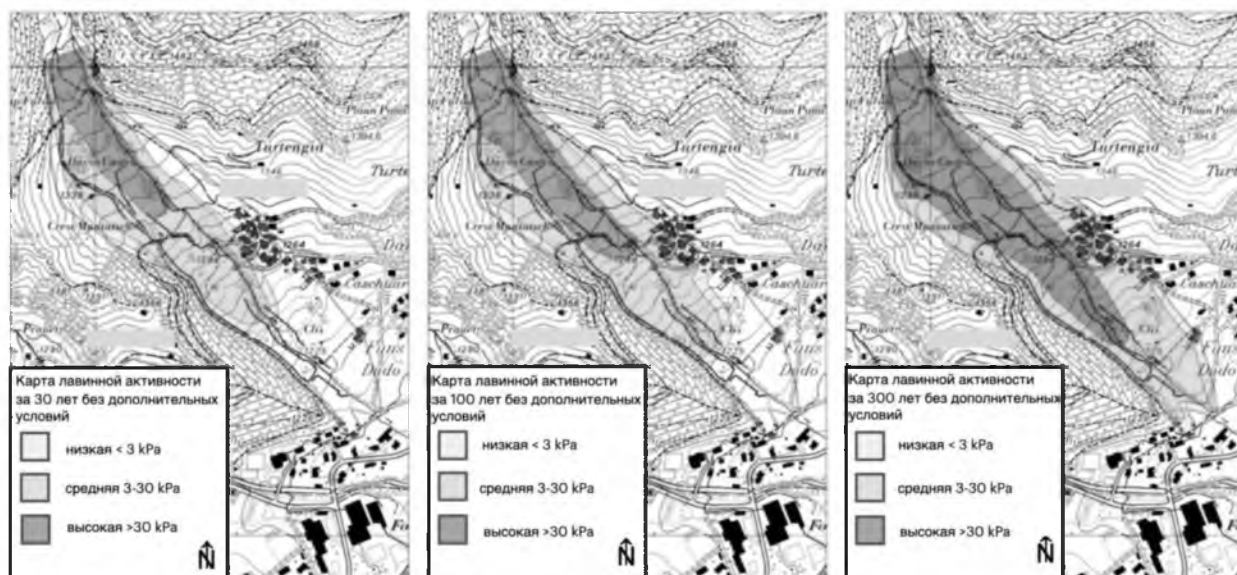


Рис. 3. 30-, 100- и 300-летние сценарии без дополнительных критериев на примере Айроло (Airolo) в Швейцарских Альпах [7, 10]

Результаты и их обсуждение

В 30-, 100- и 300-летних сценариях результаты расчетов максимальной дальности выброса лавин для исследуемых районов показывают, что существующие методики часто занижают реальные значения этой характеристики. В том числе очень сильно занижает фактические результаты методика Канадской лавинной ассоциации [8], построенная на гидравлической модели движения лавин. Это связано с тем, что эти методы не учитывают генетические классы лавин, но физико-динамические модели, такие как Aval-1D, 2D RAMMS, SLAB, существенно приближают эти расчеты к действительности. На практике автором было определено, что в физико-динамических моделях важна правильная подборка параметров входных данных.

В ходе исследования использовалась оценка экономической эффективности противолавинной защиты на стадии проектирования и внедрения проекта с помощью алгоритмов расчета рисков (индивидуального и коллективных рисков). Результаты исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Коллективные риски по различным 30/100/300-летним сценариям без противолавинных мероприятий / с противолавинными мероприятиями в швейцарских франках в год (для сравнительного анализа районов риск был просчитан в швейцарских франках)

Регион	Сценарий 30 лет	Сценарий 100 лет	Сценарий 300 лет
район Айроло (Airolo) в Швейцарских Альпах	584 / 0	3486 / 62	56440 / 2027
Разрыв трех долин (Three Valley Gap), Британская Колумбия	372 / 0	2842 / 51	55720 / 1721
шоссе Южный Клондайк, США и Канада	351 / 0	1522 / 31	44286 / 949
Горная карусель, Красная Поляна, Западный Кавказ	449 / 0	2680 / 48	—
урочище Казаныгир, Кош-Агачский район, Алтай*	349 / 0	1513—	—

* Были сделаны предположительные расчеты, не на основе проектной документации, для дальнейших расчетов необходимо создание мастер-плана

Снижение коллективного риска за счет инженерных и организационных мероприятий в сумме по трем сценариям составляет 58421 швейцарских франков в год для района Айроло (Airolo) в Швейцарских Альпах. Данные по другим районам см. в табл. 1. Риск для людей монетизируется, т.е. переходит из экономических издержек в социальные расходы, и доходит, например, для граждан Швейцарии до 5 миллионов швейцарских франков за предотвращенный смертельный исход. За последние 10 лет, произошло смещение временной сетки проявления стихийно-разрушительных явлений 30/100/300-летней повторяемости. Так, лавины с повторяемостью 300 лет стали появляться в зонах со среднестатистической повторяемостью явления в 100 лет. Типичным примером такой ситуации была зима 2015/2016 гг. в Красной Поляне, где за месяц выпала годовая норма осадков. Изучение этого смещения и его региональные особенности требуют дополнительных исследований. Результаты количественной оценки рисков и анализа затраты-выгоды (cost-benefit analysis, CBA) показали, что запланированные инженерные меры защиты могут быть рекомендованы для дальнейшего государственного субсидирования определенного горного района.

Выводы

Стратегия смягчения последствий от снежных лавин должна сочетать все доступные типы мер, такие как планирование землепользования (составление карт лавинной опасности, планирование переселения населения в более безопасный район), а также градостроительное регулирование территорий, в том числе использование экологически устойчивых природно-технических систем (например, защитный лес от лавин и противолавинные сетки), организационные информационные меры (активное воздействие, закрытие дорог, информирование и эвакуация населения). Особенно информационные меры стали более востребованными в последние годы из-за инновационных технических достижений в области создания сейсмических и радарных систем обнаружения лавин (ADN), а также систем сигнализации и предупреждения населения и туристов с помощью телефонных, спутниковых и веб-платформ оповещения. В Швейцарии и Канаде планирование мер по смягчению последствий (mitigation) основано на подходе, ориентированном на риски, который направлен на сниже-

ние индивидуального риска для людей ниже определенного порога и снижение коллективных рисков с помощью экономических мер. Дополнительными критериями для получения субсидии от федерального правительства являются меры по охране окружающей среды и планирование на основе принципа участия (социальное признание местных сообществ или коренного населения). Несмотря на отсутствие полного соответствующего социально-экономического исследования, официальные правительственные организации и местные органы управления в Швейцарии и Канаде подтверждают, что оптимальная степень защиты достигается с меньшими затратами за счет средств с использованием подхода, ориентированного на риски, по сравнению с результатами подхода, ориентированного на балльную шкалу лавинной опасности. Для Кош-Агачского района Республики Алтай необходима разработка мастер-плана по внедрению интернет- и телефонных систем сигнализации и предупреждения населения и туристов на базе веб-платформы оповещения. Подготовкой научно-технической документации и руководящих документов по защите территорий от лавин ведёт ФГБУ ВГИ Росгидромета в г. Нальчик, КБР [3, 4, 6]. На Алтае и в Сибири фоновые прогнозы лавинной опасности делаются в рамках МЧС России на основе данных Росгидромета. Также для улучшения эффективности горного мониторинга требуется увеличение числа автоматических горных метеостанций, например, летом 2021 г. планируется установка такой станции на леднике Актру в пределах Северо-Чуйского хребта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дюнин А.К., Бялобжеский Г.В., Чесноков А.Г. Защита автомобильных дорог от лавин. – М.: Транспорт, 1987. – 61 с.
2. Козик С.М. Расчет движения снежных лавин. – Л.: Гидрометиздат, 1962. – 74 с.
3. Методические указания по применению системы принудительного спуска лавин газовой пушкой GAZ.EX // РД 52.37.659-2004. – 2004. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200040489> (дата обращения 15.02.2021).
4. Методические указания по применению системы принудительного спуска лавин DAISY BELL // РД 52.37.771-2012. – 2012. URL: <http://docs.cntd.ru/document/495879806> (дата обращения 15.02.2021).
5. Москалев Ю.Д. Динамика снежных лавин и снеголавинные расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 231 с.
6. Организация и проведение противолавинных работ // РД 52.37.790-2013. – 2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200114791> (дата обращения 15.02.2021).
7. Bründl M., Zaugg L. Risk management of gravitational driven processes in Switzerland // International Symposium on Mitigation Measures against Snow Avalanches and other Rapid Gravity Mass Flows. – Reykjavík, 2019. – P. 3–11.
8. Gray D.M., Male D.H. Handbook of snow: principles, processes, management & use. – Toronto: Pergamon Press, 2004. – 776 p.
9. Koike T., Minami M., Shiraishi H. Calculation of Value-at-Risk Bounds using Rearrangement Algorithm // Japanese Journal of the Japan Statistical Society. – 2016. – V. 45(2). – P. 353–375.
10. Margreth S. Rezoning after installing avalanche mitigation measures: case study of the Vallascia avalanche in Airolo, Switzerland // International Snow Science Workshop (ISSW). – Innsbruck, 2018. – P. 111–115.
11. Campbell C., Conger S., Gould B., Haegeli P., Jamieson B., Statham G. Technical Aspects of Snow Avalanche Risk Management – Resources and Guidelines for Avalanche Practitioners in Canada. – Revelstoke, BC, Canada: Canadian Avalanche Association, 2016. – 117 p.
12. Statham G., Gould B. Risk-based avalanche program design // Proceedings of the 2016 international snow science workshop. – Breckenridge, CO, 2016. – P. 100–103.

REFERENCES

1. Dyunin A.K., Byalobzheskii G.V., Chesnokov A.G. *Zashchita avtomobil'nykh dorog ot lavin* [Protection of highways from avalanches]. Moscow, Transport Publ., 1987. 61 p.
2. Kozik S.M. *Raschet dvizheniya snezhnykh lavin* [Calculation of the movement of snow avalanches]. Leningrad, Gidrometizdat, 1962. 74 p.
3. Metodicheskie ukazaniya po primeneniyu sistemy prinuditel'nogo spuska lavin gazovoi pushkoi GAZ.EX [Methodical instructions for the use of the system of forced descent of avalanches with a gas cannon GAZ.EX]. 2004. RD [Guidance document] 52.37.659-2004. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200040489> (accessed 15 February 2021).
4. Metodicheskie ukazaniya po primeneniyu sistemy prinuditel'nogo spuska lavin DAISY BELL [Methodical instructions for the use of the DAISY BELL forced avalanche descent system]. 2012. RD [Guidance document] 52.37.771-2012. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/495879806> (accessed 15 February 2021).
5. Moskalev Yu.D. *Dinamika snezhnykh lavin i snegolavinnye raschety* [Avalanche dynamics and avalanche calculations]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1977. 231 p.
6. Organizatsiya i provedenie protivolavinnykh rabot [Organization and implementation of avalanche control works]. 2013. RD [Guidance document] 52.37.790-2013. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200114791> (accessed 15 February 2021).
7. Bründl M., Zaugg L. Risk management of gravitational driven processes in Switzerland. In: *International Symposium on Mitigation Measures against Snow Avalanches and other Rapid Gravity Mass Flows*. Reykjavík, 2019. pp. 3-11.
8. Gray D.M., Male D.H. *Handbook of snow: principles, processes, management & use*. Toronto, Pergamon Press, 2004. 776 p.
9. Koike T., Minami M., Shiraiishi H. Calculation of Value-at-Risk Bounds using Rearrangement Algorithm. *Japanese Journal of the Japan Statistical Society*, 2016, vol. 45(2), pp. 353-375.
10. Margreth S. Rezoning after installing avalanche mitigation measures: case study of the Vallascia avalanche in Airolo, Switzerland. In: *International Snow Science Workshop ISSW*. Innsbruck, 2018. pp. 111-115.
11. Campbell C., Conger S., Gould B., Haegeli P., Jamieson B., Statham G. *Technical Aspects of Snow Avalanche Risk Management - Resources and Guidelines for Avalanche Practitioners in Canada*. Revelstoke, BC, Canada, Canadian Avalanche Association, 2016. 117 p.
12. Statham G., Gould B. Risk-based avalanche program design. In: *Proceedings of the 2016 international snow science workshop*. Breckenridge, CO, 2016. pp. 100-103.

Информация об авторе:

Кашдан Адам, PhD, профессор, Группа прикладной гляциологии, Институт Мада, 6875 Бульвар Декари, Монреаль, Квебек, H3W 3E4, Канада. E-mail: research@circucity.com

Kashdan Adam, PhD, professor, Applied glaciology group, Mada Institute, 6875 Decarie Blvd, Montreal, Quebec, H3W 3E4, Canada. E-mail: research@circucity.com