

УДК 551.578.48

## ОЦЕНКА ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ В НИЗКОГОРЬЕ НА ПРИМЕРЕ НОРИЛЬСКОЙ ЛАВИННОЙ КАТАСТРОФЫ В ЯНВАРЕ 2021 г.

© 2021 г. В. А. Лобкина<sup>1,\*</sup>, Ю. В. Генсировский<sup>1</sup>, А. А. Музыкаченко<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН А.И. Ханчуком 19.02.2021 г.

Поступило 22.02.2021 г.

После доработки 09.03.2021 г.

Принято к публикации 09.03.2021 г.

Представлены результаты реконструкции характеристик катастрофической лавины, сошедшей со склона горнолыжного комплекса “Гора Отдельная” 9 января 2021 г. (г. Норильск). Лавина с пиковым давлением 0.266 МПа стала причиной разрушения дачного поселка на площади  $\approx 0.9$  га, в лавину попало шесть человек, три из которых погибли. Показаны фактическая и расчетная границы максимальной дальности выброса лавины. Разбираются причины катастрофы. Предложена методика оценки лавинной опасности на территории российской Арктики и других малоизученных районов, на которых отсутствуют продолжительные ряды наблюдения за лавинами.

*Ключевые слова:* границы лавиноопасной зоны, лавина, лавинная опасность, максимальная дальность выброса

DOI: 10.31857/S2686739721060116

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы на территории населенных пунктов все чаще происходят катастрофы, вызванные активизацией экзогенных геодинамических процессов, к которым относятся и снежные лавины. В первую очередь это связано с активным и зачастую бесконтрольным строительством в пределах селитебных территорий. Широкое распространение лавинных процессов в российской Арктике является одним из факторов, который необходимо учитывать при расширении эксплуатируемой территории. Сейчас регулярное влияние лавин на хозяйственную деятельность проявляется в наиболее освоенной Арктической части Кольского полуострова, где проводится контролируемый спуск лавин, в том числе на селитебных территориях, но все равно случаются катастрофические лавины [1].

Несмотря на то что оценка лавинной опасности является обязательной частью инженерно-исследовательских исследований при освоении территории, возведении и реконструкции объектов капитального строительства, ее степень, по мнению авторов, занижается. Это особенно заметно

при освоении новых территорий, для которых отсутствуют фактические данные о характеристиках лавин, по которым можно оценить ожидаемое воздействие. Примером может служить Сахалинская область, на территории которой наибольшее количество лавинных катастроф произошло именно в первые десятилетия активного освоения [2].

### МЕТОДОЛОГИЯ

Большинство современных методик по оценке лавинной опасности и определению границ лавиноопасных зон основано на эмпирических параметрах, полученных по данным лавин, сошедших на определенной территории [3]. Разработанные для высокогорья швейцарские, австрийские и др. модели движения снежных лавин не могут быть применены при отсутствии или недостатке данных фактических наблюдений [4, 5], так как для моделирования вводятся коэффициенты, рассчитанные на основе данных о лавинах, которые сходили в лавиносборе, для которого оно выполняется. Выбор лавиносборов-аналогов ограничен геоморфологическими и метеорологическими факторами лавинообразования, которые имеют свои особенности на каждой горной территории.

При недостатке фактических данных о лавинах предлагается использовать апробированную на территории Сахалинской области методику [6], которая представляет собой компиляцию

<sup>1</sup> Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
Владивосток, Россия

\*e-mail: valentina-lobkina@yandex.ru

**Таблица 1.** Категории лавинной опасности по ожидаемому воздействию лавины на класс сооружений

Категория опасности	Давление на сооружение, МПа	Ожидаемое воздействие
I	>0.98	<ul style="list-style-type: none"> <li>повреждение или разрушение сооружений КС-3;</li> <li>разрушение сооружений КС-1 и КС-2;</li> <li>уничтожение автотранспортных средств;</li> <li>угроза для жизни и здоровья человека</li> </ul>
II	>0.245	<ul style="list-style-type: none"> <li>повреждение элементов сооружений КС-3;</li> <li>повреждение или разрушение сооружений КС-2;</li> <li>разрушение сооружений КС-1;</li> <li>уничтожение автотранспортных средств;</li> <li>угроза для жизни и здоровья человека</li> </ul>
III	>0.029	<ul style="list-style-type: none"> <li>повреждение элементов сооружений КС-2;</li> <li>повреждение или разрушение сооружений КС-1;</li> <li>уничтожение автотранспортных средств;</li> <li>угроза для жизни и здоровья человека</li> </ul>
IV	>0.0196	<ul style="list-style-type: none"> <li>повреждение автотранспортных средств;</li> <li>угроза для жизни и здоровья человека вне зданий и сооружений</li> </ul>
V	–	Потенциально опасная территория: в настоящее время лавины либо отсутствуют, либо не представляют угрозы; возможен сход лавин малого объема через лес; ожидается активизация лавинных процессов при антропогенном воздействии на ландшафты (строительство объектов и сооружений, уничтожение растительного покрова и т.д.).

формул (С.М. Козика, С.С. Григоряна, А.Н. Божинского, К.С. Лосева), позволяющих получить динамические характеристики лавин и алгоритм оценки лавинной опасности. По результатам оценки лавиносоры ранжируются по ожидаемому воздействию лавины на объекты и сооружения. Основным критерием является давление, так как оно будет определять разрушительное воздействие лавины. Выделяется пять категорий опасности, эти категории унифицированы для возможности оценки ожидаемого воздействия лавины на объекты при проведении инженерно-исследовательских работ (табл. 1). Расчетное давление лавины соотнесено с классами сооружений по ГОСТ 27751-2014 (2019), где к КС-1 – это теплицы, мобильные здания (сборно-разборные и контейнерного типа), склады, в которых не предусматривается постоянного пребывания людей; КС-3 – опасные и технически сложные объекты, объекты жизнеобеспечения населенных пунктов, высотные сооружения, тоннели и др.; в КС-2 относят сооружения, не попавшие в КС-1 и КС-3.

Такая оценка воздействия, по мнению авторов, наглядно характеризует опасность для территории и позволяет выбрать допустимые сооружения для размещения в лавиноопасной зоне или предусмотреть мероприятия инженерной защиты.

Оценка максимальной дальности выброса лавины выполняется графоаналитическим методом С.М. Козика [7]. Метод основан на определении

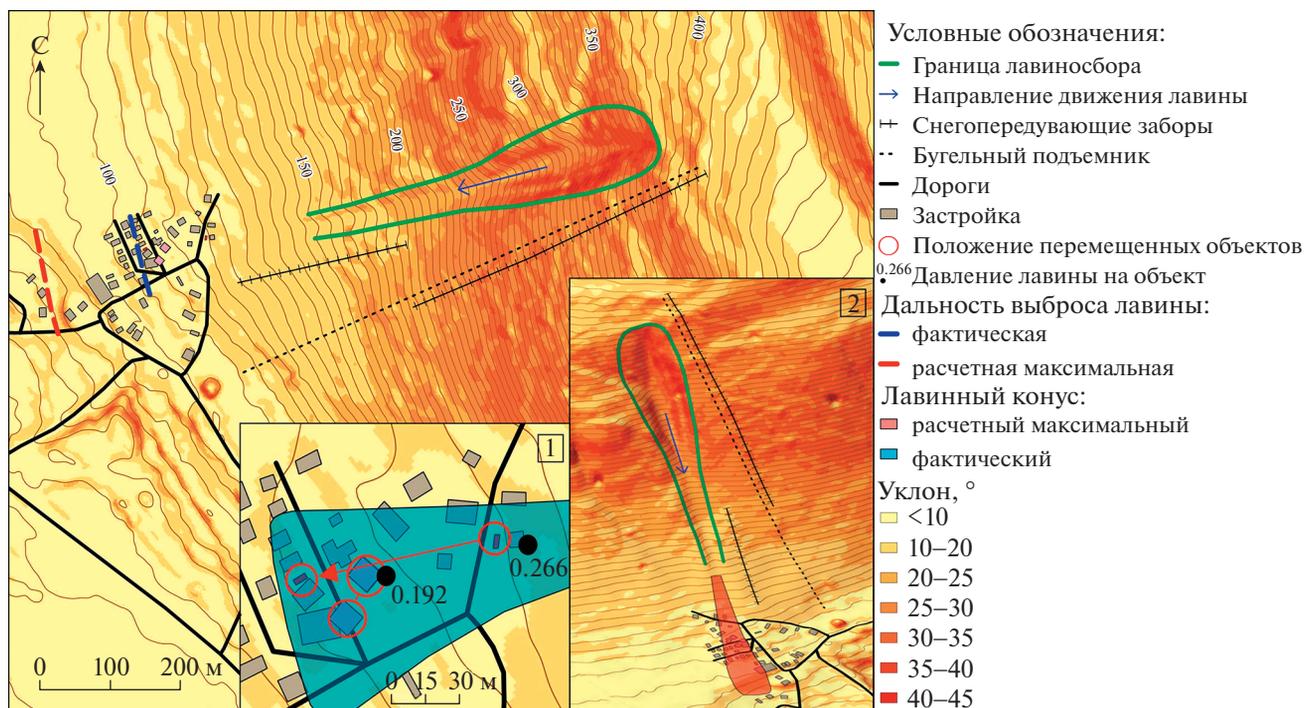
точки пересечения профиля склона с наклонной линией, проведенной из точки, отвечающей положению наиболее вероятной линии отрыва лавины под критическим для лавиносбора углом. Необходимо отметить, что при определении максимальной дальности выброса лавины графоаналитическим методом не учитывается наличие препятствующих движению лавины объектов (например, существующей застройки, древесной растительности, террас и др.).

В настоящей работе приведена реконструкция параметров норильской катастрофической лавины с применением вышеназванной методики.

## РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Лавинная катастрофа, произошедшая в ночь с 8 на 9 января 2021 г. на склоне горнолыжного комплекса “Гора Отдельная”, привела к гибели трех человек и разрушению дачного поселка на площади  $\approx 0.9$  га. Комплекс расположен в 25 км от центра г. Норильск (Красноярский край) в районе Талнах у подножья г. Отдельная, являющегося западным отрогом плато Путорана.

В Кадастрах лавин СССР за период с 1961 по 1991 г. случаи попадания людей в лавины на рассматриваемой территории не отмечены [8]. По другим источникам [1, 9, 10] в районе Талнаха такие случаи фиксировались. Один из последних случаев произошел на территории Талнахской



**Рис. 1.** Карта-схема территории горнолыжного комплекса «Гора Отдельная». Лавиносбор, в котором сформировалась снежная лавина, и селитебная территория в зоне ее воздействия.

обогащательной фабрики 29.01.2018 г., в лавину попали легковой автомобиль, припаркованный возле производственного помещения, и его владелец [10].

Горные массивы, окружающие территорию Норильска, отнесены к районам с низкой и очень низкой степенью лавинной активности [11], в то время как по сообщениям ГО и ЧС г. Норильска [12] на склонах северо-западных отрогов плато Путорана (хр. Лонтокойский камень (Центральный) и хр. Хаерлах (Талнах)) лавины из мелких и средних лавиносборов формируются ежегодно. Объемы лавин обычно не превышают 1000–3000 м<sup>3</sup>. Однако на территории есть условия для формирования лавин объемом более 50000 м<sup>3</sup> [8]. Продолжительность лавиноопасного периода составляет семь месяцев [8, 9].

### РАСЧЕТЫ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАВИНЫ

Расчет динамических характеристик катастрофической лавины 09 января 2021 г. основывается на информации СМИ, описаний очевидцев, а также данных, полученных сотрудниками ДВГИ ДВО РАН при расчете лавинной опасности северо-восточного склона хр. Локотойский камень, выполненного в 2020 г. Оценка геоморфологических факторов лавинообразования основана на данных цифровой модели рельефа Arctic DEM с разрешением 2 м [13]. Для дальнейших расчетов в

программе QGIS была построена 3D-модель склона с цветовым обозначением углов. На модель вынесено положение существующей застройки (рис. 1), которая оказалась в зоне воздействия лавины.

Лавина сформировалась в лавиносборе лоткового типа, расположенном на склоне западной экспозиции. Лавиносбор представляет собой эрозионный врез и имеет превышение 280 м. Средний уклон склона 27°, максимальный в зоне отрыва лавины – 34°, однако по фото- и видеосвидетельствам с места катастрофы можно говорить о сходе лавины по снежной поверхности, а не по грунту. Это указывает на меньшие уклоны в лавиносборе на момент схода лавины. Отрыв лавины произошел во время метели. Линия отрыва находилась на высоте 360–380 м н.у.м.

Метеорологические условия схода и высота снежного покрова в лавиносборе позволяют говорить о лавине смешанного снега. Максимальное значение высоты снежного покрова за январь по данным маршрутной снегосъемки (поле) по ГМС «Норильск», за период 1966–2018 г., составляет 178 см [14]. Средняя высота снега в зоне зарождения с учетом дисперсии оценена в 194 см, высота линии отрыва ≈ 110 см.

Перераспределение снега в лавиносборе во время метели 5–8 января 2021 г. [15] привело к росту ранее образовавшегося снежного карниза, обрушение которого стало триггером формирова-



**Рис. 2.** Второй перемещенный лавиной дом, в котором находились люди (<https://24.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya/4354328>).



**Рис. 3.** Высота завалов на месте проведения поисково-спасательных работ превысила 5 м, что отчетливо видно по характеру лавинных отложений на застройке (<https://news.myseldon.com/ru/news/index/243574139>).

ния лавины. Формирование снежных карнизов на бровках склонов характерно для всех районов плато Путорана, что отмечается в [9] и дешифрируется на снимках GoogleEarth. Мощность снежных карнизов превышает высоту снега в зонах зарождения лавин.

На рис. 1 обозначена фактическая и расчетная максимальная дальности выброса лавины. Граница лавиносбора и максимального конуса выноса суммарно показывают опасную зону, без учета существующей застройки (рис. 1, врезка 2).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первый разрушенный дом был расположен на конусе выноса лавины, в зоне прямого удара. Строеение было выполнено из бруса 200 см на 200 см, чем существенно отличалось от остальных домов на территории, место постройки находилось на возвышении. Восстановленная по характеру разрушений скорость лавины в момент удара о дом составила 18 м/с, что подтвердилось расчетом [6].

Расчетное пиковое давление лавины на объект, с учетом скорости 18 м/с, составило 0.266 МПа. Пиковое давление существует короткое время, но оказывает максимально разрушительное воздействие. Стены дома были разбиты, крыша сорвана и перенесена лавиной, это позволяет оценить высоту лавинного фронта  $\approx 10$  м, расчетное значение — 9 м. Возле дома находился металлический 20-футовый контейнер под инвентарь, который был перенесен лавиной на 80 м, крыша дома была обнаружена примерно на том же расстоянии (рис. 1, врезка 1).

После первого удара давление лавины начало снижаться, начался второй этап ее взаимодействия с объектами, расчетное давление на этом

этапе уменьшилось до 0.192 МПа (рис. 1, врезка 1). Второй дом, в котором находились люди, был собран из металлических контейнеров и не имел фундамента, поэтому его не смяло, а перенесло в лавинном потоке. Люди ощутили серию ударов [16] (лавина к тому моменту уже притормозила у ряда препятствий и дошла до сооружения серийной волн), а потом дом начало вращать, пока он не опрокинулся и не остановился (рис. 2). Общее количество попавших в лавину людей увеличилось до шести человек.

Расчетный объем сошедшей лавины составил 22 000 м<sup>3</sup>, площадь лавинных отложений на застроенной территории  $\approx 0.9$  га. Средняя высота завалов у объектов составила 3 м, максимальная 5–7 м (рис. 3). Расчет объема подтвердился фактическими характеристиками завалов территории.

Если оценить рассматриваемую лавину, по табл. 1 она будет отнесена ко II категории опасности, в которую попадают лавины с расчетным пиковым давлением, превышающим 0.245 МПа. При таком давлении происходит разрушение сооружений КС-1, а именно такие дома подверглись воздействию лавины (рис. 2, 3).

Полученные характеристики лавины подтверждают разрушения на территории поселка. Сход лавины привел к разрушению шести домов и причинил повреждения различного характера восьми домам.

## ПРИЧИНЫ КАТАСТРОФЫ

Причиной норильской катастрофы является наложение ряда факторов: метеорологические условия в момент схода (метель); значительная толщина снежного покрова в лавиносборе (не ме-

нее 194 см); отсутствие работ по подготовке трасс на горнолыжном комплексе (перераспределение и уплотнение снега на трассах).

В связи со сложной эпидемиологической обстановкой по COVID-19 администрация горнолыжного комплекса “Гора Отдельная” приняла решение не открывать трассы для катания в текущем зимнем сезоне, уплотнение снега не производилось. Отсутствие работ по уплотнению снега на склонах привело к естественным процессам распределения снега внутри лавиносбора, высота снега в лавиносборе искусственно не уменьшалась, физико-механические характеристики снежной толщи развивались без влияния техногенных факторов, что позволило сформироваться внутри снежного покрова слоям, состоящим из перекристаллизованного снега. Увеличение нагрузки на эти слои из-за прироста высоты снежного покрова во время метели спровоцировало формирование лавины со значительными (граничными с максимальными) характеристиками.

### ВЫВОДЫ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам расчетов были получены следующие параметры лавины:

- пиковое давление лавины на ближайший к склону объект составило 0.266 МПа;
- объем лавины составил 22000 м<sup>3</sup>, расчет подтвердился фактическими завалами;
- скорость на подходе к объекту 18 м/с;
- фактическая дальность выброса – 760 м, расчетная максимальная – 980 м.

Предлагаемая авторами методика позволяет оценивать ожидаемое воздействие лавины на объект в зависимости от класса сооружения, что позволяет на ранних стадиях освоения выявить наиболее уязвимые территории, для безопасной эксплуатации которых необходимо возведение сооружений инженерной защиты.

Результаты расчетов, полученные на примере норильской лавинной катастрофы, показали хорошее соответствие с фактическими данными, что говорит о перспективности применения предлагаемой авторами методики оценки воздействия лавин при отсутствии продолжительных рядов наблюдений.

### РЕКОМЕНДАЦИИ

Первоочередным мероприятием по предотвращению и снижению рисков от снежных лавин на селитебных территориях является разработка “Схем планировочных ограничений “Лавиноопасные зоны” к генеральному плану населенного пункта. Подготовка таких “Схем...” должна осуществляться на этапе разработки и/или корректировки генеральных планов городских округов

и схем территориального планирования. Масштаб карт на территорию населенных пунктов не должен быть меньше 1:10000.

“Схемы...” с определенной для каждого лавиносбора категорией опасности позволяют разработать меры по защите населения и объектов от лавин, а также рассчитать ожидаемый ущерб от их воздействия на территорию, объекты и сооружения. “Схемы...” являются основанием для планирования возведения сооружений инженерной защиты, а в случае невозможности строительства защиты обосновывают необходимость выноса объекта за пределы опасной зоны или введения ограничения на его эксплуатацию, например при прогнозе лавинной опасности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турчанинова А.С., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А. и др. Влияние снежных лавин на инфраструктуру в российской Арктике // ГеоРиск. 2019. Т. XIII. № 3. С. 60–68.
2. Казакова Е.Н., Лобкина В.А. Лавинные катастрофы Сахалинской области // Материалы гляциологических исследований. 2007. № 103. С. 185–190.
3. Yves B., Rickenbach D., Stoffel A., et al. Automated Snow Avalanche Release Area Delineation – validation of Existing Algorithms and Proposition of a New Object-based Approach for Large-scale Hazard Indication Mapping // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2018. V. 18. № 12. P. 3235–3251.
4. Турчанинова А.С., Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г. и др. К вопросу моделирования снежных лавин при недостаточности данных // ГеоРиск. 2020. Т. XIV. № 1. С. 38–47.
5. Fischer J.-T., Kofler A., Huber A., et al. Bayesian Inference in Snow Avalanche Simulation with r.avaflow // Geosciences. 2020. № 10 (5). 191.
6. Kazakova E., Lobkina V., Gensiorovskiy Y., et al. Large-scale Assessment of Avalanche and Debris Flow Hazards in the Sakhalin Region, Russian Federation // Natural Hazards. 2017. № 88. P. 237–251.
7. Козик С.М. Расчет движения снежных лавин. Л.: Гидрометиздат, 1962. 74 с.
8. Кадастр лавин СССР. Сибирь и Дальний Восток. Т. 16. Л.: Гидрометеиздат, 1986, 1988, 1991.
9. География лавин. Мягков С.М., Канаев Л.А. (ред.). М.: МГУ, 1992. 332 с.
10. Официальный сайт газеты “Заполярная Правда”. <https://gazetazp.ru/news/gorod/34139n-v-norilsk-pod-snejnoy-lavinoy-postradal-chelovek.html>; <https://gazetazp.ru/news/gorod/14079n-v-tsentre-talnaha-podrostok-popal-v-lavinu.html>
11. Снежные лавины. Национальный атлас России. <https://национальныйатлас.рф/cd2/234-236/234-236.html>
12. Официальный сайт г. Норильска. <https://norilsk-city.ru/>

13. Arctic DEM.  
<https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/>
14. Научно-прикладной справочник по климату СССР, сер. 3 Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 21: Красноярский край Тувинская АССР, кн. 1, 2. Л.: Гидрометеиздат, 1990.
15. Ресурс актуальной метеорологической информации на территорию России.  
[https://gp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Норильске](https://gp5.ru/Архив_погоды_в_Норильске)
16. NGS24.  
<https://ngs24.ru/text/incidents/2021/01/10/69685551/>

## AN AVALANCHE HAZARD ASSESSMENT IN LOW MOUNTAINS, BASED ON THE EXAMPLE OF THE JANUARY 2021 NORILSK AVALANCHE DISASTER

V. A. Lobkina<sup>a,#</sup>, Yu. V. Gensiorovskiy<sup>a</sup>, and A. A. Muzychenko<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

<sup>#</sup>e-mail: [valentina-lobkina@yandex.ru](mailto:valentina-lobkina@yandex.ru)

Presented by Academician of the RAS A.I. Khanchuk February 19, 2021

This paper presents the reconstruction results of catastrophic avalanche characteristics. The avalanche came off the slope of ski resort “Gora Otdelnaya” on January 9, 2021 (Norilsk). It had a peak pressure of 0.266 MPa and led to the suburban settlement destruction at an area of about 0.9 ha. Six people got avalanched, three of them died. Factual and calculated boundaries of the maximum avalanche run-out distance are given in the paper. The catastrophe causes are also being investigated. Danger of avalanches assessment methodology of Russian Arctic and other unstudied areas with no long-term avalanche observations is suggested.

*Keywords:* avalanche zone boundaries, avalanche, avalanche hazard, maximal avalanche run-out distance