



## Комплексная оценка лавинной опасности бассейна р. Паратунка (п-ов Камчатка)

А. Ю. Озеров<sup>1</sup>, Д. А. Боброва<sup>2</sup>, Д. В. Мельников<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

<sup>2</sup> Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН,  
Южно-Сахалинск, Россия

**Резюме.** В статье представлена комплексная оценка лавинной опасности бассейна р. Паратунка (юго-восток Камчатки) – одного из наиболее лавиноопасных, но перспективных для развития горнолыжного туризма регионов полуострова. На основе статистического анализа архивных данных о сходах лавин за период 1947–2026 гг., характеристик рельефа, климата и снежного покрова, а также ГИС-моделирования выявлены основные закономерности лавинного режима. Установлено, что более 60 % разрушительных лавин формируются на склонах вулкана Вилучинский, где зафиксированы сходы объемом до 2 млн м<sup>3</sup> и дальностью выброса свыше 5.5 км. С использованием метода взвешенного линейного суммирования (WLC) и четырех предикторов (крутизна склона, относительная высота, растительный покров, абсолютная высота) построена карта лавинной опасности. Верификация модели показала, что 53,9 % площади бассейна (812,3 км<sup>2</sup>; общая площадь – 1507 км<sup>2</sup>) относятся к лавиноопасным зонам, при этом доминируют участки высокой (22,9 %) и умеренной (16,8 %) опасности. 46,1 % территории классифицированы как зоны геоморфологического исключения (<15° и >60°). Разработанная карта фиксирует пространственное распределение потенциальных зон отрыва лавин и может служить научно-методической основой для планирования туристической инфраструктуры, оптимизации транспортных маршрутов и минимизации лавинных рисков.

**Ключевые слова:** снежные лавины, лавинная опасность, бассейн реки Паратунка, Камчатка, ГИС-моделирование, взвешенное линейное суммирование, вулканические склоны

## Comprehensive assessment of avalanche hazard in the Paratunka river basin (Kamchatka peninsula)

Alexey Yu. Ozerov<sup>1</sup>, Darya A. Bobrova<sup>2</sup>, Dmitry V. Melnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<sup>2</sup> Special Research Bureau for Automation of Marine Research, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

**Abstract.** This paper presents a comprehensive assessment of avalanche hazard in the Paratunka river basin (southeastern Kamchatka), one of the most avalanche-prone yet promising regions of the peninsula for the development of ski tourism. Based on statistical analysis of archival avalanche data for the period 1947–2026, as well as an analysis of relief, climate, and snow cover characteristics and GIS modeling, the main patterns of the avalanche activity were identified. It was established that more than 60 % of destructive avalanches formed on the slopes of Viluchinsky volcano, where avalanche events with volumes of up to 2 million m<sup>3</sup> and runout distances exceeding 5.5 km were recorded. An avalanche hazard map was developed using the Weighted Linear Combination (WLC) method and four predictors (slope angle, relative altitude, vegetation cover, and absolute altitude). Model verification showed that 53.9% of the basin area (812.3 km<sup>2</sup>; total area – 1507 km<sup>2</sup>) belongs to avalanche-prone zones, with high (22.9 %) and moderate (16.8 %) hazard areas predominating. The remaining 46.1% of the territory was classified as geomorphologically unsuitable for avalanche formation (with slope angles <15° and >60°). The developed map outlines the spatial distribution of potential avalanche release zones and provides a scientific and methodological basis for planning tourism infrastructure, optimizing transport routes, and minimizing avalanche-related risks.

**Keywords:** snow avalanches, avalanche hazard, Paratunka river basin, Kamchatka, GIS modeling, Weighted Linear Combination, volcanic slopes

### Финансирование и благодарности

Статья подготовлена по теме государственного задания Специального конструкторского бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН (FWWW-2024-0003).

**Для цитирования:** Озеров А.Ю., Боброва Д.А., Мельников Д.В. Комплексная оценка лавинной опасности бассейна р. Паратунка (п-ов Камчатка). *Геосистемы переходных зон*, 2026, т. 10, № 3, с. 330–346. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2026.10.3.330-346>; <https://www.elibrary.ru/arqoac>

### Funding and Acknowledgements

The paper is prepared within the framework of the state assignment of the Special Research Bureau for Automation of Marine Research of FEB RAS (No. project FWWW-2024-0003).

**For citation:** A. Yu. Ozerov, D. A. Bobrova, D. V. Melnikov. Comprehensive assessment of avalanche hazard in the Paratunka river basin (Kamchatka peninsula). *Geosistemyperehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2026, vol. 10, No. 3, p. 330–346. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2026.10.3.330-346>; <https://www.elibrary.ru/arqoac>

## Введение

Еще в 60-х годах XX в. на основании оценки рельефа, снежности и данных анкетного опроса о сходах лавин К.С. Лосев и Г.К. Тушинский сделали вывод о возможности лавинной опасности в горах Камчатки [1]. Тогда же В.Н. Виноградовым на основе опроса местных жителей выполнен анализ лавинного режима и составлена первая схема распространения лавин Камчатки [2].

Позже Проблемной лабораторией снежных лавин и селей МГУ были проведены полевые рекогносцировочные обследования, на основании которых Н.А. Володичева составила карту лавиноопасных районов Камчатки [3].

В связи с интенсивным развитием хозяйственной деятельности региона возникла необходимость во всестороннем исследовании лавинных процессов и составлении детальных карт лавинной опасности региона. Так, 9 августа 1982 г. приказом Камчатского УГМС была создана Снеголавинная группа (СЛГ), а позже в 1994 г. в соответствии с Постановлением Совета Министров № 443 от 11.05.93 г. «О создании противолавинной службы России» был основан Камчатский региональный противолавинный центр. С этого момента начинается наиболее активный период в плане обследования территории Камчатки на предмет лавинной опасности. В результате составлено 3 выпуска Кадастров лавин СССР, в которых собраны и

систематизированы материалы справочного характера о территориальном распространении и режиме лавин на Камчатке [4], были составлены крупномасштабные схемы лавинной опасности г. Петропавловска-Камчатского и некоторых других районов полуострова, выявлен ряд закономерностей снегонакопления, сделаны выводы о лавинном режиме, разработаны меры по защите от лавин [5–10].

Накопленный к настоящему времени материал позволяет говорить о Камчатском полуострове как об одном из самых лавиноопасных регионов России.

Однако территорию региона до сих пор нельзя назвать полностью изученной в лавинном отношении. Разнообразие климатических условий, его простираение с севера на юг, географические особенности, экстремальное снегонакопление, наличие действующих вулканов не позволяют на основании имеющихся данных сделать выводы о лавинах на всей территории полуострова. Кроме того, наблюдения за лавинами, как правило, были приурочены к крупным хозяйственным объектам, автодорогам и территории областного центра, поэтому значительная часть территории полуострова остается неизученной.

В связи с реализацией государственной программы по развитию туризма возрос интерес и к Камчатскому краю как региону, обладающему большим туристическим потенциалом. Одним из приоритетных направлений развития

является горнолыжный туризм, инфраструктура которого всегда приурочена к горным районам. В настоящее время в этом отношении особый интерес представляет южная часть полуострова, а именно долина р. Паратунка, одна из наиболее лавиноопасных районов на Камчатском полуострове. Здесь ежегодно формируются лавины объемом до 150–200 тыс. м<sup>3</sup>, а в 1997 г. была зафиксирована лавина объемом 2 млн м<sup>3</sup>, которая сошла со склона вулкана Вилучинский. Известны многочисленные случаи схода лавин в бассейне р. Паратунка, нанесших значительный экономический ущерб в виде разрушенных опор ЛЭП и завалов автомобильных дорог. Также сход лавин в этом районе неоднократно приводил к катастрофическим последствиям, к гибели людей.

Таким образом, реализация туристического потенциала в районах, отличающихся высокой степенью лавинной опасности, требует всестороннего изучения лавинных процессов в целях минимизации лавинных рисков для населения и объектов инфраструктуры. В данной работе приводится характеристика лавинных процессов в долине р. Паратунка – одном из активно развивающихся туристических центров Камчатки.

Цель данной работы – комплексная оценка лавинной опасности в бассейне р. Паратунка на основе статистического анализа исторических данных, метеоклиматических характеристик и ГИС-моделирования, с формулировкой практических рекомендаций по минимизации рисков для населения и инфраструктуры.

## Материалы и методы

Архивные данные о лавинах были получены в основном из интернет-ресурсов, а также из ряда литературных источников и не являются полными, поскольку чаще всего публикуется информация о сходах лавин, приведших к катастрофическим и разрушительным последствиям, таким как попадание людей в лавину, их гибель; повреждение и разрушение зданий, сооружений, объектов инфраструктуры, транс-

порта, ЛЭП; завалы автомобильных дорог. Кроме того, из-за низкой экономической освоенности района исследований многие случаи формирования лавин не были обнаружены и описаны специалистами. Вероятно, что случаев формирования лавин в бассейне р. Паратунка существенно больше.

Для комплексной оценки лавинной опасности в бассейне р. Паратунка был применен метод взвешенного линейного суммирования (Weighted Linear Combination, WLC), позволяющий интегрировать разнородные пространственные данные в единый индекс опасности. Выбор данного метода обусловлен его широкой апробацией при решении задач многокритериальной оценки природных опасностей и возможностью учета относительной значимости различных факторов формирования лавин [11–13].

В качестве исходных данных использована цифровая модель рельефа ALOS World 3D с пространственным разрешением 30 м, предоставленная Японским агентством аэрокосмических исследований (JAXA). Данное разрешение представляет собой оптимальный компромисс между детализацией горного рельефа, необходимой для выявления потенциальных лавинных очагов, и вычислительной эффективностью при обработке территорий площадью более 1500 км<sup>2</sup>. Все пространственные данные были приведены к единой системе координат WGS 1984 UTM Zone 59N, что обеспечило метрическую точность при расчетах площадей и дистанций.

Все операции выполнены в программной среде ArcGIS Pro 3.2 с использованием модуля Spatial Analyst.

## Результаты

### *Случаи формирования лавин в бассейне р. Паратунка*

Бассейн р. Паратунка расположен в юго-восточной части п-ова Камчатка (52°30'–53°10' с.ш., 158°00'–158°45' в.д.) и включает в себя склоны вулкана Вилучинский (2173 м),

хребтов Тополовый и Карымшина, а также долину меридионального простирания с перепадом высот от 0 до 2173 м.

Лавины объемом до 150–200 тыс. м<sup>3</sup> в долине р. Паратунка сходят ежегодно. В большинстве случаев сход лавин связан с наступлением глубоких южных циклонов (атмосферное давление менее 940 гПа), сопровождающихся

ураганскими ветрами, сильными продолжительными метелями, обильными осадками.

Собранные архивные данные о лавинах, сошедших в бассейне р. Паратунка и соседних территориях, сведены в табл. 1.

Анализ дат схода лавин показывает, что максимальная повторяемость лавин в бассейне р. Паратунка охватывает период с ноября

**Таблица 1.** Сведения о снежных лавинах бассейна р. Паратунка

**Table 1.** Data on snow avalanches in the Paratunka River basin

| №  | Дата                  | Район схода лавины                              | Параметры лавины, обстоятельства схода, ущерб                                                                                      |
|----|-----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 08–09.03.1947         | Бухта Вилючинская, устье р. Вилюча              | Разрушена пекарня и жилой барак сезонной рыболовецкой базы                                                                         |
| 2  | 25.02.1948            | Бухта Вилючинская, устье р. Вилюча              | Полностью разрушен рабочий поселок, 54 погибших, 11 раненых. Лавина сошла в том же месте, что и 08-09.03.1947 г.                   |
| 3  | Май 1961              | Левый борт долины р. Паратунка                  | Лавина засыпала долину, образовался снежный «мост» через русло                                                                     |
| 4  | 1979                  | Левый борт долины р. Паратунка                  | Перекрыто несколько участков автодороги                                                                                            |
| 5  | Начало февраля 1982   | Восточный склон г. Бабий Камень (хр. Тополовый) | Три лавины объемом 10–30 тыс. м <sup>3</sup> каждая                                                                                |
| 6  | 31.12.1992–01.01.1993 | Участок Верхне-Мутновской ГеоЭС                 | Разрушены бытовка и дизельная, буровая вышка согнута                                                                               |
| 7  | 1989, 1994, 2005      | Участки ВЛ 220 кВ и дорога на ГеоЭС             | Всего за 3 года было разрушено 6 опор ЛЭП, завалена автодорога на 6 км                                                             |
| 8  | 17.01.1994            | Склон влк. Вилючинский                          | Объем 290 тыс. м <sup>3</sup> , дальность выброса 5.50 км                                                                          |
| 9  | 05.04.1996            | Юго-зап. часть хр. Быстринский                  | Самолет ИЛ-76 спровоцировал лавину >500 тыс. м <sup>3</sup> , 20 погибших. Лавина протащила самолет >2 км                          |
| 10 | 28.01.1997            | Склон влк. Вилючинский                          | Объем >2 млн м <sup>3</sup> , толщина пласта 2–8 м (ср. 5–6 м)                                                                     |
| 11 | 02.01.2005            | Склон влк. Вилючинский                          | Ширина фронта ~1 км, объем ~1 млн м <sup>3</sup> , повреждена ЛЭП. Конус выноса пересек долину                                     |
| 12 | Февраль 2005          | Склон влк. Вилючинский                          | Уничтожено 2 опоры ВЛ 220 кВ                                                                                                       |
| 13 | Зима 2005             | Левый борт долины р. Паратунка                  | Лавины 200–500 тыс. м <sup>3</sup> из нескольких очагов. Впервые с 1979 г. перекрыты дороги                                        |
| 14 | 26.03.2006            | Бассейн р. Паратунка (хр. Тополовый)            | 10 чел. в лавине, 5 погибших, объем 126 тыс. м <sup>3</sup> . Сход лавины был спровоцирован туристами в процессе катания по склону |
| 15 | 01.01.2009            | Склон влк. Вилючинский                          | Объем ~1.5 млн м <sup>3</sup> , ширина зоны аккумуляции ~1 км. Высота снега в зоне отрыва 2–2.5 м                                  |
| 16 | 15.02.2014            | Район Мутновской ГеоЭС, сопка Скалистая         | Объем 150 тыс. м <sup>3</sup> , разрушено укрытие скважины. Ранее таких лавин в данном месте не наблюдалось                        |
| 17 | 13.03.2014            | Район Мутновской ГеоЭС, сопка Горячая           | Лавина сошла через горячие источники, перекрыла 300 м дороги                                                                       |
| 18 | 14.01.2015            | Склон влк. Вилючинский                          | Дальность >5 км, объем на дороге 1.5 млн м <sup>3</sup> . Перекрыто 300 м трассы                                                   |

|    |               |                                             |                                                                                                      |
|----|---------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 19 | 27.02.2016    | Склон влк. Вилучинский                      | В лавину попали 2 туриста, 1 погиб. Сход лавины был спровоцирован туристами, занимающимися хели-ски. |
| 20 | 09.04.2017    | Южный склон влк. Вилучинский                | 2 погибших. Тела найдены на глубине ~8 м                                                             |
| 21 | 26.07.2017    | Склон влк. Мутновский                       | —                                                                                                    |
| 22 | 29–30.12.2018 | Влк. Вилучинский (28-й км трассы)           | Уничтожено 2 опоры ЛЭП. Одну унесло >1 км                                                            |
| 23 | 08–10.11.2019 | Горные территории бассейна р. Паратунка     | Массовый сход лавин                                                                                  |
| 24 | 30.05.2020    | СЗ кулуар влк. Вилучинский                  | Массовое формирование инсоляционных лавин до 10 тыс. м <sup>3</sup>                                  |
| 25 | 07.06.2020    | Зап. склон влк. Вилучинский                 | Опрокинута опора ЛЭП                                                                                 |
| 26 | 23.04.2023    | Кулуар над водопадом влк. Вилучинский       | Лавина дошла почти до трассы                                                                         |
| 27 | 24–25.04.2023 | Кулуар над водопадом влк. Вилучинский       | Высота отложений >6 м                                                                                |
| 28 | 13–14.03.2024 | Кулуар над водопадом влк. Вилучинский       | —                                                                                                    |
| 29 | 21.03.2026    | Район впадения р. Поперечная в р. Паратунка | Завал дороги 250 м, высота 6–10 м. На этом участке отмечается регулярное формирование лавин          |
| 30 | 21–22.03.2026 | Склон влк. Вилучинский                      | Перекрыта автодорога                                                                                 |

по апрель, что согласуется с данными о зимней циклонической деятельности на Камчатке. При этом максимальная повторяемость крупных лавин (объемом более 1 млн м<sup>3</sup>) приходится на январь–февраль, поскольку в этот период мощность снежного покрова максимальна.

Однако зафиксированы случаи схода лавин и в несезонное время. Так, 30 мая 2020 г. зафиксировано массовое формирование лавин объемом до 10 тыс. м<sup>3</sup> на северо-западном кулуаре влк. Вилучинский (рис. 1), а 7 июня 2020 г. лавина опрокинула опору ЛЭП на западном склоне влк. Вилучинский (рис. 2). Эти случаи



**Рис. 1.** Снежные лавины на вулкане Вилучинский, северо-западный кулуар. 30.05.2020 г. Фото А.Ю. Озерова.

**Fig. 1.** Snow avalanches on Viluchinsky volcano, northwestern couloir. May 30, 2020. Photo by A. Yu. Ozerov.



**Рис. 2.** Опора линии электропередачи, опрокинута снежной лавиной. Западное основание вулкана Вилучинский. 7.06.2020 г. Фото А.Г. Терещенко.

**Fig. 2.** Power line support overturned by a snow avalanche. Western flank of Viluchinsky volcano. June 7, 2020. Photo by A.G. Tereshchenko.

свидетельствуют о возможности формирования инсоляционных лавин в теплый период года на высокогорных склонах вулканов, где снежный покров сохраняется круглогодично.

Анализ локализации лавинных очагов выявил три основные зоны формирования разрушительных лавин (табл. 2).

Диапазон зафиксированных объемов лавин чрезвычайно широк. При этом следует учитывать, что приведённые значения отражают случаи, зафиксированные в связи с

причинением ущерба или попаданием в зону воздействия людей; лавины меньшего объема, вероятно, не регистрировались из-за низкой экономической освоенности территории и отсутствия мониторинга. С учётом этого, лавины в исследуемом районе по зафиксированному объёму можно разбить на 3 группы:

Среднего объёма (10–30 тыс. м<sup>3</sup>) – сходят ежегодно. Как правило, не приводят к повреждениям и разрушениям, однако опасны для человека и могут привести к гибели.

**Таблица 2.** Пространственное распределение и параметры лавинных очагов в бассейне р. Паратунка  
**Table 2.** Spatial distribution and characteristics of avalanche release areas in the Paratunka river basin

| № | Зона формирования лавин                                                       | Характеристика рельефа                                                           | Доля зафиксированных лавин, % | Зафиксированный объем, м <sup>3</sup> | Примечания                                                                                                              |
|---|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Склоны влк. Вилучинский                                                       | Крутизна 35–50°, наличие воронок и кулуаров, относительная высота до 1900 м      | >60 %                         | 10 <sup>4</sup> –2·10 <sup>6</sup>    | Наиболее активная зона; здесь зафиксированы все случаи схода лавин объемом >1 млн м <sup>3</sup>                        |
| 2 | Левый борт долины р. Паратунка (хр. Тополовый, горы Бабий Камень, Зайкин Мыс) | Крутизна 35–45°, основные и лотковые лавиносборы, относительная высота 300–600 м | ~30 %                         | 10 <sup>4</sup> –5·10 <sup>5</sup>    | Регулярные завалы автодороги на Мутновскую ГеоЭС; лавины достигают дна долины                                           |
| 3 | Район Мутновской ГеоЭС (сопки Скалистая, Горячая)                             | Пологие склоны с локальными повышением крутизны, относительная высота до 300 м   | <10 %                         | 10 <sup>4</sup> –1.5·10 <sup>5</sup>  | Ранее не считался лавиноопасным; сход лавины 15.02.2014 г. (150 тыс. м <sup>3</sup> ) указывает на расширение зон риска |

Крупного объема (100–500 тыс. м<sup>3</sup>) – фиксируются регулярно, вызывают повреждение инфраструктуры, приводят к гибели людей.

Катастрофические (1–2 млн м<sup>3</sup>) – зарегистрированы в 1997, 2005, 2009 и 2015 гг., все со склонов влк. Вилучинский, вызывают значительные разрушения.

Примечательно, что лавины объемом более 1 млн м<sup>3</sup> полностью перекрывают долину р. Паратунка (ширина 400–1500 м), достигая противоположного борта и создавая угрозу для объектов инфраструктуры, расположенных на значительном удалении от зоны отрыва.

Анализ последствий схода лавин позволил выделить четыре категории ущерба:

Человеческие жертвы – зафиксировано не менее 7 случаев попадания людей в лавины, общее число погибших превысило 12 человек.

Повреждение критической инфраструктуры – уничтожено или повреждено более 8 опор ВЛ 220 кВ, многократно перекрывались участки автодорог (до 6 км суммарно), что привело к системным сбоям в энергоснабжении и транспортной доступности.

Ущерб вспомогательным объектам – неоднократно разрушались временные сооружения (балки, дизельные генераторы), наблюдательные скважины, повреждалось научное и измерительное оборудование.

Косвенные экономические потери – выражались в длительных перерывах энергоснабжения, значительных затратах на восстановление инфраструктуры и прямых убытках от приостановки туристической деятельности.

Причинами схода лавин являются в первую очередь метеорологические факторы: прохождение глубоких южных циклонов, ураганные ветры и продолжительные метели, интенсивные снегопады (максимальное месячное количество осадков до 733 мм) и зимние оттепели (повышение температуры на 3–5° выше нуля). Однако нередко сход лавин вызывают туристы, которые подрезают снежный пласт. Так, 26 марта 2006 г. группа туристов на снегоходах вызвала сход лавин, в результате которого погибло 5 человек.

### *Основные факторы формирования лавин в бассейне р. Паратунка*

Основными факторами формирования лавин традиционно считаются горный рельеф, наличие и состояние снежного покрова, а также процессы его метаморфизма. В этом отношении на п-ове Камчатка сложились крайне благоприятные условия – 75 % территории полуострова занимают горы, а мощность снежного покрова может достигать 3 м и более [6, 14].

Исследуемый район, бассейн р. Паратунка, расположен на юго-востоке полуострова. Описание основных факторов формирования лавин в долине реки приведено ниже.

*Рельеф.* Свое начало р. Паратунка берет на высоте 1000 м с восточного склона сопки Красная (1204 м), протекает в меридиональном направлении и впадает в Авачинскую бухту.

В верхнем течении до впадения в Паратунку правого притока р. Быстрая долина узкая и имеет V-образную форму. Вершины водоразделов в этой зоне пологие, крутизна склонов долины не превышает 30–35°, относительная высота их 100–600 м. Борта долины осложнены эрозионными врезами, воронками и мульдами, представляющими собой лотковые лавиносборы, которые чередуются с лавиносборами осовного типа. Продольные профили лавиносборов ровные с постепенным выполаживанием в зоне аккумуляции лавин.

От впадения в Паратунку р. Быстрая и до впадения р. Поперечная долина имеет U-образный профиль. Ширина дна долины составляет 400–800 м. Водоразделы здесь представлены хребтами Карымшина и Поперечным, а также вулканом Вилучинским. Склоны водоразделов в этой части бассейна имеют относительную высоту от 300 до 1900 м (вулкан Вилучинский). Характерной особенностью склонов водоразделов является их значительная крутизна (35–50°), а также подверженность активной эрозионной деятельности, которая обусловила преобладающий морфологический тип лавиносборов (воронки, врезы, мульды). Лавиносборы осовного типа здесь имеют от-

носителем небольшое превышение (до 300 м) и встречаются гораздо реже. Продольные профили склонов ровные, местами резко обрываются уступом ко дну долины. Исключение составляет вулкан Вилучинский, имеющий крутые ровные склоны в верхней части и плавно-вогнутую форму склона в средней и нижней частях.

Ниже впадения р. Поперечная в среднем и нижнем течении р. Паратунка ширина долины составляет 1.2–1.5 км. Превышение лавиносборов – 200–600 м, крутизна – 35–45°.

**Климат.** Одной из климатических особенностей полуострова является активная циклоническая деятельность в холодный период года. Зимние циркуляционные процессы здесь преобладают с ноября по март. Зона наибольшей повторяемости циклонов приходится на южную половину полуострова, где и расположен рассматриваемый в работе район [7]. Зимние циклоны приводят к оттепелям, сильным ветрам и обильному выпадению твердых осадков.

В южных районах Камчатки холодный период длится около 160 сут. (с середины ноября до конца апреля). В долинах и на побережьях температура воздуха различается за счет отопляющего воздействия моря. Значения среднемесячных температур по данным ГМС Начики, расположенной в долинной части полуострова, и ГМС Петропавловск-Камчатский, расположенной на побережье, приведены в табл. 3.

Температурной особенностью всей территории Камчатки являются частые оттепели.

Даже в самый холодный период (январь–февраль) возможны случаи положительной температуры (на 3–5° выше нуля). Средняя продолжительность оттепели между морозными периодами составляет 3 дня.

Количество осадков за ноябрь–март, по данным ближайших к району исследования метеостанций Начики и Петропавловск-Камчатский, составляет 410 мм и 611 мм соответственно\*. Однако следует учесть, что метеостанции расположены в низменностях, а с учетом вертикального градиента значение осадков в горах выше. Ниже приведены значения среднего/максимального количества осадков по данным ГМС Петропавловск-Камчатский [15]:

| X       | XI      | XII     | I       | II     | III     | IV      | V      |
|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| 143/378 | 182/733 | 115/554 | 111/631 | 88/298 | 174/657 | 107/186 | 76/158 |

Камчатка относится к районам с наиболее активной метелевой деятельностью. Метели здесь обычно возникают при прохождении циклонов и связанных с ними фронтов. В среднем для исследуемого района насчитывается 40 дней с метелью за год. В отдельные годы число дней с метелью может значительно отклоняться от среднего значения. Метели возможны с октября по май, наибольшее их количество приходится на декабрь–январь. Продолжительность метели для восточного побережья может достигать 350 ч. В прибрежной юго-восточной части Камчатки в 30–40 % случаев метели наблюдаются при скорости ветра 10–13 м/с, но нередки метели и при

**Таблица 3.** Среднемесячная температура воздуха по ГМС Начики и ГМС Петропавловск-Камчатский\*

**Table 3.** Mean monthly air temperature according to Nachiki and Petropavlovsk-Kamchatsky hydrometeorological stations\*

| Среднемесячная температура воздуха за зимний период, °С | X   | XI   | XII   | I     | II    | III   | IV   | V   |
|---------------------------------------------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|
| ГМС Начики                                              | 1.1 | –8.4 | –16.3 | –18.4 | –15.8 | –10.8 | –3.4 | 2.6 |
| ГМС Петропавловск-Камчатский                            | 5.3 | –0.9 | –5.1  | –6.69 | –6.5  | –3.9  | 0.1  | 4.5 |

\* По: СП 131.13330.2020. Свод правил. Строительная климатология. М.: ГУП ЦПП, 2020, 112 с. According to: Code of practice SP 131.13330.2020: Construction climatology. Moscow: State Unitary Enterprise TsPP, 2020, 112 p. (In Russ.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358>.

скоростях 18–20 м/с и более: повторяемость их составляет 10–25 %. Нередки для Камчатки и поземки, которые в большей степени зависят от местных условий. На открытых участках в южных частях побережий поземка наблюдается в течение 10–17 дней, в долинах – 3–6 дней. Однако вопрос снегопереноса при поземках в горах Камчатки остается неизученным.

*Снежный покров.* Особенностью Камчатки, существенно влияющей на лавинную опасность, является значительная высота снежного покрова, что отмечается всеми авторами, проводившими исследования снежного покрова на полуострове. Снежный покров отличается также неравномерностью его распределения, что связано с особенностями рельефа и ветровым снегопереносом, в результате которого образуются снежные карнизы.

Вопрос высоты и распределения снежного покрова на Камчатке можно считать малоизученным. Долинное и прибрежное расположение метеостанций не позволяет судить о высоте снежного покрова в горах, а имеющиеся данные маршрутных снегосъемок очень ограничены в пространстве и имеют непродолжительные ряды наблюдений.

Тем не менее, есть работы, позволяющие судить о высоте и распределении снежного покрова в горах. Так, в одной из работ на схематической карте распределения высоты снежного покрова Камчатки в период максимального снегонакопления бассейн р. Паратунка отнесен к району с высотой снежного покрова, составляющей более 150 см [16]. Позже была составлена карта средних многолетних снегозапасов на дату максимума [17]. Исходными материалами для этого послужили данные климатической сети, гляциологических и метеорологических наблюдений в высокогорье Камчатки, выполненных Институтом вулканологии, а также каталог ледников СССР.

Согласно карте максимальных снегозапасов, в горной части бассейна р. Паратунка мощность снежного покрова может достигать 9 м, что соответствует 3000 мм водного эквивалента на карте [17].

На основе материалов станций и постов о среднем числе дней со снежным покровом, а также на основе гляциологической информации о высоте фирновой границы на климатически репрезентативных ледниках была построена карта среднего числа дней со снежным покровом. По данным этой карты, снежный покров в горной части бассейна р. Паратунка залегает более 250–300 дней в году, т.е. большую часть года [17].

*Факторы формирования лавин на склонах вулкана Вилучинский.* В научной литературе подробно описаны случаи формирования лавин на склонах вулканов в период извержений [18, 19], когда вулканическая активность выступает основным триггерным фактором. Вместе с тем исследований, посвященных специфике зарождения и динамике снежных лавин на вулканических сооружениях в межэруптивный период, в настоящее время практически не встречается. Очевидно, что рельеф вулканов обладает уникальным комплексом морфометрических характеристик, которые существенно влияют на метаморфизм снежной толщи, режим снегонакопления, периодичность сходов и кинематику лавинных потоков. Анализ исторических данных по бассейну р. Паратунка позволяет уверенно выделить вулкан Вилучинский в качестве наиболее активной зоны лавинной деятельности в рассматриваемом бассейне.

Исключительная лавинная активность склонов Вилучинского вулкана обусловлена сочетанием ряда морфологических факторов. Прежде всего, крутизна верхних и средних частей склона составляет 35–50°, что полностью соответствует критическому диапазону отрыва снежных масс; при этом плавное выполаживание профиля в нижней части создает условия для значительной дальности выброса. Глубокие радиальные эрозионные формы – барранкосы, кулуары и эрозионные врезы – выступают в роли естественных лавинных логов, эффективно накапливающих снежные массы. Сочетание широких и узких кулуаров определяет морфогенетическое разнообразие лавин,

формируя условия как для осовных, так и для лотковых лавин. Высокая интенсивность эрозийных процессов обеспечивает постоянное обновление и углубление лавиносборов, препятствуя их стабилизации и зарастанию.

В то же время одной из главных причин формирования лавин является метаморфизм снежного покрова – совокупность физических процессов перекристаллизации льда, обусловленных градиентами температуры, влажности и механического напряжения внутри снежной толщи. В результате конструктивного (градиентного) метаморфизма при наличии значительного вертикального температурного градиента ( $>10$  °С/м), водяной пар мигрирует от более теплых слоев к холодным, формируя кристаллы скелетного класса форм (глубинную изморозь). Таким образом формируются слои низкой прочности – лавиноопасные слои, по которым и происходит обрушение всей вышележащей толщи снега – формирующие лавину слои.

Температура подстилающей поверхности напрямую влияет на величину и знак температурного градиента в нижней части снежного покрова. При положительной или близкой к нулю температуре грунта формируется восходящий тепловой поток, усиливающий испарение льда у основания снежной толщи. В результате ускоряется миграция пара вверх, к более холодным слоям, что стимулирует конструктивный метаморфизм и формирование глубинной изморози. В контексте лавинной опасности бассейна р. Паратунка данный аспект приобретает особое значение в связи с наличием геотермально активных зон, вулканических пород с повышенной теплопроводностью и значительными сезонными колебаниями температур.

Как неоднократно отмечалось в литературе, при одинаковой толщине снежного покрова именно наличие мощных слоев перекристаллизованного (вторично-идиоморфного) снега играет важнейшую роль в формировании катастрофических лавин [20]. Можно предположить, что значительные перепады высот (от 700

до 1900 м), создающие топографические предпосылки, в совокупности с метаморфизмом, потенциально усиленным геотермальным теплом, способствуют развитию высокоэнергетических лавин, дальность выброса которых нередко превышает 5 км.

#### *Карта лавинной опасности бассейна р. Паратунка*

На основе анализа физико-географических условий бассейна р. Паратунка и обобщения литературных данных были выделены четыре ключевых предиктора лавинной опасности: крутизна склона, относительная высота, растительный покров и абсолютная высота. Выбор предикторов обусловлен их фундаментальной ролью в процессах снегонакопления и формирования лавин.

Крутизна склона получила максимальный весовой коэффициент 0.35, что отражает ее доминирующую роль среди всех факторов лавинообразования. Расчет крутизны склонов производился планарным методом с последующей реклассификацией в дискретную шкалу уязвимости от 1 до 10. При этом склоны крутизной менее 15° и более 60° были исключены из анализа: первые крайне редко достигают критического напряжения сдвига, необходимо для отрыва снежной массы, вторые же характеризуются неспособностью накапливать устойчивый снежный покров.

Относительная высота (вес 0.30) характеризует топографическую позицию склона относительно окружающего рельефа и влияет на аккумуляцию снега, ветровой перенос и объемы лавин. Расчет проводился как разность между абсолютными отметками ЦМР (цифровая модель рельефа) и локальным средним значением в окне радиусом 500 м. Положительные значения указывают на возвышенные формы рельефа (склоны хребтов, вершины), где наблюдается интенсивное снегонакопление за счет метелевого переноса, тогда как отрицательные значения соответствуют днищам долин и понижениям. Данный предиктор

особенно значим для горных систем Камчатки, где сложная морфоструктура хребтов создает выраженные контрасты в распределении снежного покрова.

Растительный покров (вес 0,20) включён в модель как фактор, снижающий вероятность схода лавин и ограничивающий их объём. Для оценки использованы данные ESA WorldCover 2021 с разрешением 10 м, рекодированные следующим образом: древесная растительность получила значение 9 (максимальная стабилизация снежного покрова), кустарники – 5, открытые безлесные склоны – 2 (минимальная стабилизация). Следует отметить, что наличие леса не исключает лавинную опасность полностью; однако, как показано в работе Н. А. Казакова [21], наличие леса в лавиносборах способствует уменьшению частоты схода и объёмов лавин, но не препятствует в полной мере их формированию. Согласно данным ESA WorldCover 2021, в бассейне р. Паратунка лесные и кустарниковые сообщества характерны преимущественно для нижних гипсометрических уровней (до 600–800 м), тогда как высокогорные тундры, каменистые россыпи и нивальные зоны лишены данного защитного механизма, что повышает их предрасположенность к лавинообразованию.

Абсолютная высота (вес 0.15) включена в модель как косвенный индикатор снегового режима: чем выше абсолютные отметки, тем больше высота снежного покрова и продолжительность его залегания и, как следствие, выше повторяемость лавин. Нормализация проводилась линейным методом: значения менее 500 м получили оценку 1–3 (минимальное снегонакопление), 500–1000 м – 4–6 (умеренное снегонакопление), 1000–1500 м – 7–8 (высокое снегонакопление), более 1500 м – 9–10 (очень высокое снегонакопление).

Интеграция нормализованных предикторов осуществлялась по формуле взвешенного линейного суммирования для определения индекса лавинной опасности LHI (Landslide Hazard Index) [13]:

$$LHI = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot x_i^* \text{ при условии, что } \sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \quad (1)$$

где  $n$  – количество предикторов ( $n = 4$  в данной работе);  $\omega_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го предиктора ( $0 < \omega_i < 1$ );  $x_i^*$  – нормализованное значение  $i$ -го предиктора, приведенное к единой шкале уязвимости (в данной работе – от 1 до 10).

Для модели, применяемой авторами, формула имеет следующий вид:

$$LHI = 0.35 \cdot S^* + 0.30 \cdot R^* + 0.20 \cdot V^* + 0.15 \cdot E^*, \quad (2)$$

где  $S^*$ ,  $R^*$ ,  $V^*$ ,  $E^*$  – нормализованные предикторы (крутизна склона – Slope, относительная высота – Relative Height, растительность – Vegetation, абсолютная высота – Elevation).

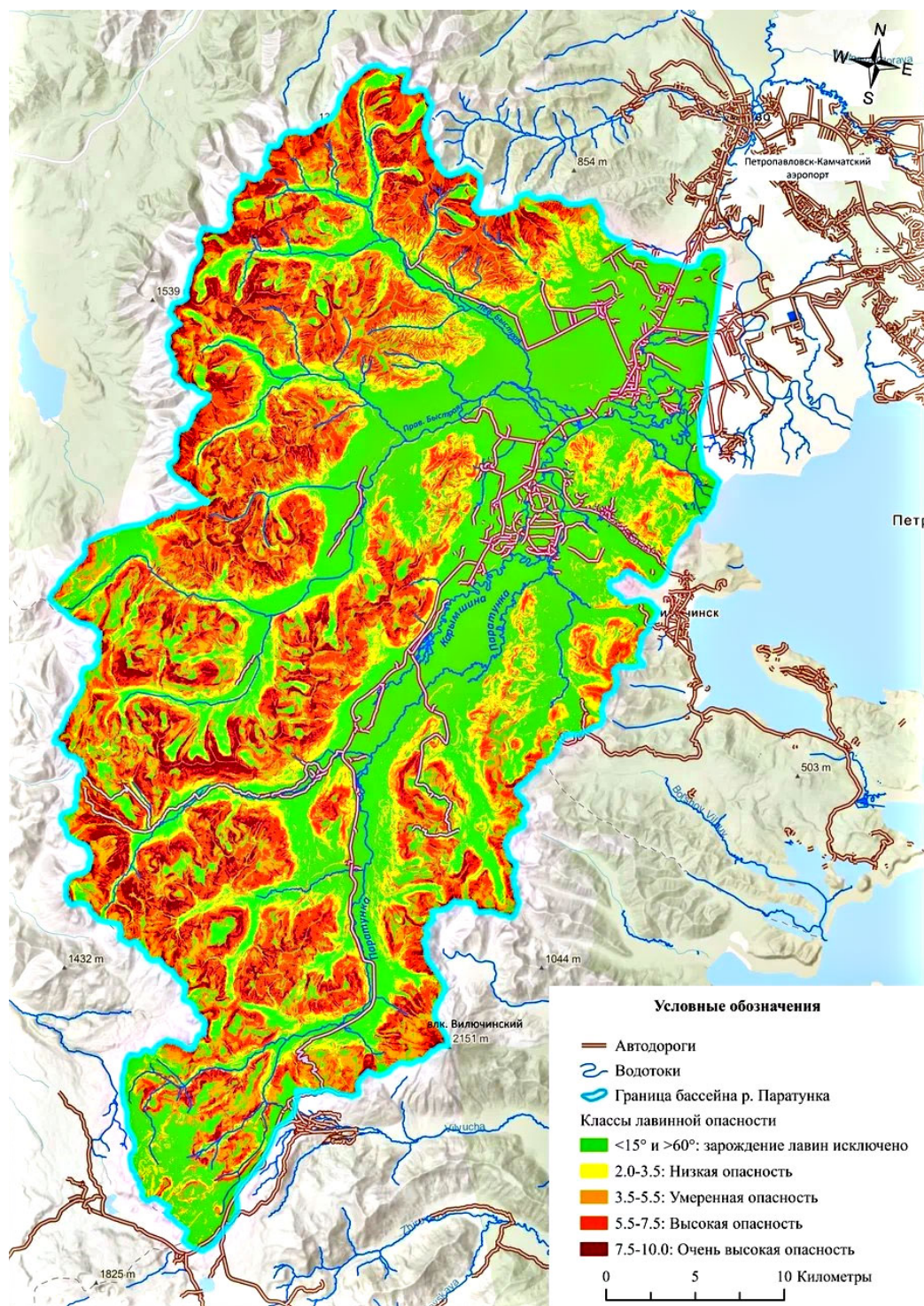
Итоговый растр был классифицирован на пять интервалов методом ручной классификации (Manual Interval) с учетом естественных разрывов в распределении значений и экспертной оценки пороговых значений: исключенные зоны ( $<15^\circ$  и  $>60^\circ$ ), низкая опасность (2.0–3.5), умеренная опасность (3.5–5.5), высокая опасность (5.5–7.5) и очень высокая опасность (7.5–10.0) (рис. 3).

Верификация модели проводилась через сопоставление расчётной площади бассейна с литературными данными, а также через анализ пространственного соответствия зон высокой и очень высокой опасности известным лавинным очагам, зафиксированным в таблице 1 настоящей работы. Высокая пространственная корреляция с историческими случаями схода лавин, включая трагедию 26 марта 2006 года и массовые сходы лавин 2020 и 2026 годов, подтверждает адекватность выбранной методики и обоснованность весовых коэффициентов.

Для количественной оценки площадей классов лавинной опасности был выполнен расчёт статистики по атрибутивной таблице итогового растра в среде ArcGIS Pro 3.2. Общая площадь бассейна р. Паратунка составила 1507 км<sup>2</sup>, что с высокой точностью совпадает с данными, приведёнными в литературных источниках [22]. Анализ распределения пикселей по классам показал, что потенциально лавиноопасные зоны охватывают 53,9 % территории водосбора (812,3 км<sup>2</sup>). При этом доминируют

участки высокой (22,9 %, 345,1 км<sup>2</sup>) и умеренной (16,8 %, 253,1 км<sup>2</sup>) опасности, пространственно приуроченные к верхним и средним частям вулканических склонов. Зоны очень высокой опасности (7,2 %, 108,6 км<sup>2</sup>) концентрируются в кулуарах и воронках с максималь-

ной крутизной и снегонакоплением, что соответствует лавиноопасным очагам (табл. 2). Участки с низкой опасностью занимают 7,0 % площади бассейна (105,5 км<sup>2</sup>) и приурочены преимущественно к пологим формам рельефа в нижних частях склонов.



**Рис. 3.** Карта лавинной опасности бассейна р. Паратунка.

**Fig. 3.** Avalanche hazard map of the Paratunka River basin.

## Обсуждение

Собранный архив данных о лавинах в бассейне р. Паратунка отражает в основном опубликованные в открытых источниках данные, однако на такой обширной горной территории лавины формируются значительно чаще, а площадь поражения лавинными процессами – больше. Между тем даже описанные случаи схода лавин и последствия, к которым они привели (см. табл. 1), позволяют включить долину р. Паратунка в категорию чрезвычайно лавиноопасных территорий.

Максимальные параметры лавин, представленные в табл. 1, не являются предельно возможными, поскольку статистические данные довольно короткие, а наблюдения не охватывают всю территорию и приурочены лишь к экономически освоенной ее части. Так, на Кавказе при схожих геоморфологических условиях (абсолютные высоты – 2000 м, большая глубина расчлененности рельефа – 800–1500 м, уклоны склонов – 30–40°) и большой высоты снежного покрова (на высотах 2000 м – более 200 см) зафиксированы случаи схода лавин объемом 5 млн м<sup>3</sup>, тогда как в долине р. Паратунка – 1.5–2 млн м<sup>3</sup>. Учитывая зарегистрированную максимальную высоту снежного покрова в бассейне реки, составляющую 900 см, можно говорить о большом риске формирования лавин объемом более 3 млн м<sup>3</sup>.

Представленная карта лавинной опасности (рис. 3) отражает вероятность формирования стартовых зон лавин, однако не учитывает динамику движения снежных масс и зоны их аккумуляции. Это фундаментальное ограничение модели, которое необходимо учитывать при интерпретации результатов и практическом применении карты.

Во-первых, методика взвешенного линейного суммирования, примененная в данной работе, ориентирована на оценку предрасположенности склонов к отрыву снежной массы, но не моделирует процесс движения лавины после схода. Как следствие, зоны с низкими значениями индекса опасности, расположенные в днищах долин и на пологих участках,

могут ошибочно восприниматься как безопасные, тогда как именно эти территории часто становятся зонами аккумуляции лавинных отложений. Исторические данные, приведенные в табл. 1, наглядно демонстрируют, что наиболее значительный ущерб инфраструктуре – разрушение опор ЛЭП, завалы автомобильных дорог – наносится не в зонах отрыва лавин, а в нижней части движения лавин, где скорость и масса снежного потока достигают максимальных значений.

Во-вторых, модель не учитывает параметр дальности выброса лавины, который для бассейна р. Паратунка может достигать 5.5 км (лалина 17 января 1994 г.) и более. Крупные лавины, сошедшие со склонов вулкана Вилучинский в 1997 и 2009 гг., полностью пересекали долину р. Паратунка и достигали противоположного борта, что свидетельствует о способности лавин преодолевать значительные расстояния и выходить за пределы морфологически очерченных лавиносборов. Игнорирование этого фактора может привести к недооценке рисков для объектов, расположенных на значительном удалении от крутых склонов.

В-третьих, пространственное разрешение исходной цифровой модели рельефа (30 м) не позволяет выявлять малые лавинные очаги площадью менее 1–2 га, а также учитывать микрорельеф, влияющий на локальную аккумуляцию снега и формирование снежных карнизов. Это особенно актуально для сложных морфоструктур вулканического происхождения, характерных для исследуемого района.

Кроме того, в модели использованы статистические данные о растительном покрове (ESA WorldCover 2021), что не учитывает сезонную динамику (листопад, снеговая нагрузка на кроны) и долгосрочные изменения (послепожарное восстановление, антропогенная трансформация). Аналогично, абсолютная высота использована как косвенный индикатор снегового режима, тогда как реальное распределение снежного покрова определяется сложным взаимодействием рельефа, ветрового переноса и температурной инверсии, что требует применения специализированных моделей снегонакопления.

Наконец, весовые коэффициенты предикторов, определенные на основе авторской оценки и литературных данных, могут нуждаться в региональной калибровке по мере накопления инструментальных наблюдений за лавинными процессами в бассейне р. Паратунка. В частности, роль растительного покрова как стабилизирующего фактора может быть переоценена, поскольку древесная растительность не препятствует формированию лавин, а лишь снижает частоту формирования и их объемы [21], тогда как влияние ветрового переноса снега, критически важное для Камчатки, в текущей версии модели представлено лишь косвенно через предиктор относительной высоты.

Таким образом, разработанную карту следует рассматривать как первый этап комплексной оценки лавинной опасности, отражающей пространственное распределение потенциальных зон отрыва лавин. Для перехода к оценке рисков и разработке инженерно-защитных мероприятий в дальнейшем необходимо проводить изыскания в соответствии с действующим нормативным документом СП 428.1325800.2018 «Инженерные изыскания для строительства в лавиноопасных районах»\*. В то же время для целей научных исследований и более детального физического моделирования лавинных процессов в сложных условиях вулканического рельефа, перспективным представляется использование динамических моделей (таких как RAMMS или AVAL-1D) в качестве вспомогательного инструмента, дополняющего нормативные методики. Кроме того, необходимо интегрировать данные о критической инфраструктуре и рекреационной нагрузке для количественной оценки уязвимости. Такой многоуровневый подход позволит обеспечить научно обоснованную минимизацию лавинных рисков при освоении туристического потенциала долины р. Паратунка.

## Заключение

Проведенное исследование позволило впервые комплексно оценить лавинную опасность бассейна р. Паратунка на юго-востоке Камчатского полуострова, сочетая статистический анализ исторических данных, характеристику метеоклиматических условий и ГИС-моделирование. Установлено, что исследуемый район относится к числу наиболее лавиноопасных территорий региона, где ежегодное формирование лавин объемом до 150–200 тыс. м<sup>3</sup> сочетается с периодическим сходом катастрофических объемов снежных масс, превышающих 1–2 млн м<sup>3</sup>. Систематизация сведений за период 1947–2026 гг. выявила четкую пространственную приуроченность лавинных процессов: более 60 % катастрофических лавин сконцентрировано на склонах вулкана Вилучинский, где благоприятное сочетание крутизны (35–50°), глубоких радиальных эрозионных форм и экстремального снегонакопления (до 9 м) формирует условия для лавин с дальностью выброса свыше 5.5 км. Оставшаяся часть очагов приурочена к левому борту долины (хр. Тополовый, гора Бабий Камень) и району Мутновской ГеоЭС, причём фиксация лавин в зонах, где ранее не документировались случаи их схода, свидетельствует о недостаточной изученности отдельных участков бассейна и необходимости расширения сети наблюдений для уточнения границ лавиноопасных территорий.

Результаты исследования также подтверждают, что склоны вулкана Вилучинский представляют собой наиболее активную и опасную зону лавинообразования в бассейне р. Паратунка. В научной литературе подробно описаны случаи формирования лавин на вулканических склонах в период извержений, где триггером выступают сейсмические процессы, пирокластические потоки или обрушение куполов. Вместе с тем специфика зарождения

\* СП 428.1325800.2018. *Инженерные изыскания для строительства в лавиноопасных районах. Общие требования*. Москва: Минстрой России, 2019. IV+58 с.

SP 428.1325800.2018. *Engineering surveys for construction in avalanche-prone areas. General requirements*. Moscow: Minstroy Rossii, 2019. IV+58 p. (In Russ.).

и динамики исключительно снежных лавин в межэруптивный период остается малоизученной. Наши данные показывают, что даже без вулканической активности стратовулканы обладают уникальным комплексом морфометрических характеристик, которые в сочетании с региональным климатом и термическим режимом создают условия для регулярного формирования высокоэнергетических лавин.

На основе метода взвешенного линейного суммирования (WLC) разработана карта лавинной опасности, отражающая пространственное распределение вероятности формирования стартовых зон. Интеграция четырех предикторов (крутизна склона, относительная высота, растительный покров и абсолютная высота) с экспертно обоснованными весовыми коэффициентами позволила выделить четыре класса опасности и зону геоморфологического исключения.

Несмотря на доказанную адекватность модели, отмечено, что разработанная карта отражает лишь предрасположенность склонов к отрыву снежной массы и не учитывает динамику движения лавин, дальность выброса и зоны аккумуляции. Пространственное разрешение исходной ЦМР (30 м) и статический характер данных о растительном покрове не позволяют учитывать микроформы рельефа, сезонную изменчивость стабилизирующих факторов и влияние геотермальных аномалий на метаморфизм снега. Тем не менее, высокая пространственная корреляция зон высокой и очень высокой опасности с историческими точками схода лавин, включая трагедию 2006 г. и массовые события 2020 и 2026 гг., подтверждают научную обоснованность выбранной методологии и весовых коэффициентов.

Для перехода от оценки опасности к управлению рисками необходимо дополнить разработанную модель динамическим модулем расчета лавинных траекторий (например, RAMMS или AVAL-1D), провести полевую верификацию на репрезентативных склонах и интегрировать карту с данными о критической инфраструктуре, туристических маршрутах и рекреационных потоках. Регулярный

мониторинг температурного режима грунтов, мощности снежного покрова и метеоусловий позволит уточнить региональные весовые коэффициенты и разработать эффективные критерии раннего предупреждения.

Полученные результаты закладывают научно-методическую основу для минимизации лавинных рисков при развитии горнолыжного туризма и расширении хозяйственной деятельности в долине р. Паратунка. Предложенная карта лавинной опасности и систематизированный архив лавинных событий могут служить надежной базой для проектирования противолавинных сооружений, оптимизации транспортной сети и формирования стратегий устойчивого развития одного из наиболее перспективных, но природно-опасных районов Камчатского края.

## Список литературы

1. Чепур А.А. История лавиноведения на Камчатке. В кн.: *Ветер веков в парусах России: материалы XX Крашенинниковских чтений, г. Петропавловск-Камчатский, 24-25 апреля, 2003*. Петропавловск-Камчатский: Камчатская обл. науч. б-ка, 2003, с. 135–138.
2. Виноградов В.Н. Снежные лавины на Камчатке. *Вопросы географии Камчатки*. 1965, 3: 43–48.
3. Тушинский Г.К. *Лавиноопасные районы Советского Союза*. М.: Изд-во МГУ, 1970, 200 с.
4. *Кадастр лавин СССР*. Т. 20. Л.: Гидрометеиздат, 1986, 1988, 1991.
5. Шайхутдинов Р.Ш. *Особенности условий лавинообразования на Камчатке*. Л.: Гидрометеиздат, 1987, с. 398–404. (Труды Второго Всесоюзного совещания по лавинам).
6. Шайхутдинов Р.Ш. *О возможности защиты г. Петропавловска-Камчатского от снежных лавин*. Л.: Гидрометеиздат, 1989, с. 28–33. (Труды Третьего Всесоюзного совещания по лавинам).
7. Шайхутдинов Р.Ш. О снежных лавинах Камчатки. Нальчик: ВГИ, 2012, с. 60–67. (Труды Высокогорного геофизического института; вып. 97).
8. Мягков С.М. (ред.), Канаев Л.А. (ред). *География лавин*. М.: Изд-во МГУ, 1992, 332 с.
9. Котляков В.М. (ред.). *Атлас снежно-ледовых ресурсов мира*. М.: Изд-во РАН, 1997, т. 1. 392 с. EDN: YLUUXL

10. Гинзбург Н.А., Турчанинова А.С. Проблема лавинной безопасности г. Петропавловска-Камчатского. В кн.: *Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации*. Москва: Геомаркетинг, 2022, с. 222–227. EDN: HXHDJB
11. Michael E.A., Samanta S. Landslide vulnerability mapping (LVM) using weighted linear combination (WLC) model through remote sensing and GIS techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2016,2(2):1–14. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0141-7>
12. Malczewski J. On the use of weighted linear combination method in GIS: Common and best practice approaches. *Transactions in GIS*. 2002,4(1):5–22. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>
13. Malczewski J. *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1999, 392 p.
14. Маркин В. На «полюсе снежности». *Наука и жизнь*. М.: Изд-во «Правда», 1981, №8: 33–40.
15. Кондратюк В.И. *Климат Камчатки*. М.: Гидрометеиздат, 1974, 202 с.
16. Виноградов В.Н., Ходаков В.Г. Итоги и перспективы исследования географии снежного покрова Камчатки. *Гляциологические исследования*. 1976,25:5–12.
17. Муравьев Я.Д. Снежный покров горных районах Камчатки. *Вопросы географии Камчатки*. 1985,9: 30–41. URL: <http://repo.kscnet.ru/id/eprint/2118> (дата обращения 14.04.2026 г.).
18. Pierson T.C., Janda R.J. Volcanic mixed avalanches: A distinct eruption-triggered mass-flow process at snow-clad volcanoes. *Geological Society of America Bulletin*. 1994,106(10):1351–1358.
19. Waitt R.B. Jr., Pierson T.C., Macleod N.S., Janda R.J., Voight B., Holcomb R.T. Eruption-triggered avalanche, flood, and lahar at Mount St. Helens – effects of winter snowpack. *Science*. 1983,221(4618):1394–1397.
20. Казаков Н.А., Генсировский Ю.В., Жируев С.П. 2018. Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова. *Криосфера Земли*, XXII (1): 72–93. [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-1\(72-93\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-1(72-93))
21. Казаков Н.А. О формировании снежных лавин в лесу. *Материалы гляциологических исследований*. 2007,102:192–196.
22. Васильковского М.Г. (ред). *Ресурсы поверхностных вод СССР. Камчатка*. Л.: Гидрометеиздат, 1973, т. 20. 366 с.
2. Vinogradov V.N. [Snow avalanches in Kamchatka]. *Voprosy geografii Kamchatki [Questions of Kamchatka Geography]*. 1965,3:43–48. (In Russ.).
3. Tushinskiy G.K. [Avalanche-prone regions of the Soviet Union]. Moscow: MSU Publ., 1970, 200 p. (In Russ.).
4. [Cadastral of avalanches of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 1988, 1991, vol. 20. (In Russ.).
5. Shaikhutdinov R.Sh. [Features of avalanche formation conditions in Kamchatka]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, 398–404. (Proceedings of the Second All-Union Conference on Avalanches). (In Russ.).
6. Shaikhutdinov R.Sh. [On the possibility of protecting Petropavlovsk-Kamchatsky from snow avalanches]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989, 28–33. (Proceedings of the Third All-Union Conference on Avalanches). (In Russ.).
7. Shaikhutdinov R.Sh. [On snow avalanches of Kamchatka]. Nalchik: VGI, 2012, p. 60–67. (Proceedings of the High-Mountain Geophysical Institute; issue 97). (In Russ.).
8. Myagkov S.M., Kanaev L.A. (eds) [Geography of avalanches]. Moscow: MSU Publ., 1992, 332 p. (In Russ.).
9. Kotlyakov V.M. (ed.). [Atlas of snow and ice resources of the world]. Moscow: Izd-vo AN, 1997, vol. 1. 392 p. (In Russ.).
10. Ginzburg N.A., Turchaninova A.S. [The problem of avalanche safety in Petropavlovsk-Kamchatsky]. In: *Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation*, Moscow: Geomarketing, 2022, p. 222–227. (In Russ.).
11. Michael E.A., Samanta S. Landslide vulnerability mapping (LVM) using weighted linear combination (WLC) model through remote sensing and GIS techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2016,2,88. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0141-7>
12. Malczewski J. On the use of weighted linear combination method in GIS: Common and best practice approaches. *Transactions in GIS*. 2002,4(1):5–22. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>
13. Malczewski J. *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1999, 392 p.
14. Markin V. [At the “pole of snowiness”]. *Nauka i zhizn [Science and Life]*. 1981,8:33–40. (In Russ.).
15. Kondratyuk V.I. [Climate of Kamchatka]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1974, 202 p. (In Russ.).
16. Vinogradov V.N., Khodakov V.G. [Results and prospects of studying the geography of snow cover in Kamchatka]. *Glaciological Studies*. 1976,25:5–12. (In Russ.).
17. Murav'ev Ya.D. [Snow cover in mountainous areas of Kamchatka]. *Voprosy geografii Kamchatki [Questions of Kamchatka Geography]*. 1985,9: 30–41. (In Russ.).

## References

1. Chepur A.A. History of avalanche studies in Kamchatka. In: *Wind of Ages in the Sails of Russia: proceedings of the XX Krashennnikov Readings, Petropavlovsk-Kamchatsky, 24-25 april, 2003*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka Regional Scientific Library, 2003, p. 135–138. (In Russ.).

- URL: <http://repo.kscnet.ru/id/eprint/2118> (accessed on 14.04.2026).
18. Pierson T.C., Janda R.J. Volcanic mixed avalanches: A distinct eruption-triggered mass-flow process at snow-clad volcanoes. *Geological Society of America Bulletin*. 1994,106(10):1351–1358.
  19. Waitt R.B. Jr., Pierson T.C., Macleod N.S., Janda R.J., Voight B., Holcomb R.T. Eruption-triggered avalanche, flood, and lahar at Mount St. Helens – effects of winter snowpack. *Science*. 1983,221(4618):1394–1397.
  20. Kazakov N.A., Gensiorovskiy Yu.V., Zhiruev S.P. [Lithological and stratigraphic complexes of snow cover]. *Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]*. 2018. XXII (1):72–93. [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-1\(72-93\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2018-1(72-93)) (In Russ.).
  21. Kazakov N.A. [On the formation of snow avalanches in forests]. *Materials of Glaciological Studies*. 2007,102:192–196. (In Russ.).
  22. Vaskovskiy M.G. (ed.) [*Surface water resources of the USSR. Kamchatka*]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, vol. 20, 366 p. (In Russ.).

## Об авторах

**Озеров Алексей Юрьевич**, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН), Петропавловск-Камчатский, Россия, [ozarov@kscnet.ru](mailto:ozarov@kscnet.ru). <https://orcid.org/0000-0002-6296-4441>

✉ **Боброва Дарья Андреевна**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории оптимизации измерительных платформ, Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН (СКБ САМИ ДВО РАН), г. Южно-Сахалинск, Россия, [darya-kononova@yandex.ru](mailto:darya-kononova@yandex.ru). <https://orcid.org/0000-0002-5768-2677>

**Мельников Дмитрий Владимирович**, старший научный сотрудник лаборатории геодезии и дистанционных методов исследования, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН), Петропавловск-Камчатский, Россия, [dvmivs@gmail.com](mailto:dvmivs@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0001-6882-3124>

## About the Authors

**Ozerov, Alexey Yu.**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Director, Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences (IVS FEB RAS), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, [ozarov@kscnet.ru](mailto:ozarov@kscnet.ru). <https://orcid.org/0000-0002-6296-4441>

✉ **Bobrova, Darya A.**, Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher, Head of the Laboratory for optimization of measurement platforms, Special Research Bureau for Automation of Marine Researches, Far East Branch, Russian Academy of Sciences (SDB MRAT FEB RAS), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, [darya-kononova@yandex.ru](mailto:darya-kononova@yandex.ru). <https://orcid.org/0000-0002-5768-2677>

**Melnikov, Dmitry V.**, Senior Researcher, Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences (IVS FEB RAS), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, [dvmivs@gmail.com](mailto:dvmivs@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0001-6882-3124>

Поступила 16.06.2026

Принята к публикации 11.07.2026

Received 16 June 2026

Accepted 11 July 2026