



## ОЦЕНКА ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ

✉ Никитина П.А.<sup>1</sup>, Дунаев А.В.<sup>2</sup>, Землянскова А.А.<sup>1</sup>, Нестерова Н.В.<sup>1</sup>, Макарьева О.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

✉ nikitinapolina243@gmail.com

На территории Магаданской области ежегодно сходят лавины, нередко преграждая дороги, что приводит к остановке движения автотранспорта и экономическим издержкам. Для возможности прогноза лавинной активности необходимы сведения о характеристиках снежного покрова в горах. Ввиду того, что метеостанции в регионе расположены до высоты 850 м его составить практически невозможно. Авторами в 2022-2025 гг. была развернута автоматическая сеть мониторинга снежного покрова на высотах от 162 до 1232 м. Она охватывает различные ландшафты, а также многие пункты находятся на перевалах вблизи автодорог, что позволяет использовать данные сети в качестве основы для расчета характеристик лавин.

Ключевые слова: лавинная опасность, снежный покров, мониторинг, горные перевалы, Магаданская область, прогнозирование, дальность выброса лавины

Снежные лавины представляют собой одно из наиболее опасных природных явлений для горных регионов России, к которым относится и Магаданская область. Около 18% территории страны классифицируется как лавиноопасная [Войтовский, 1989]. Несмотря на отсутствие единой официальной статистики, известно, что ежегодно лавины приводят к человеческим жертвам, повреждениям инфраструктуры и значительным экономическим потерям [Seliverstov, 1998; McClung, Schaefer, 2006]. В Магаданской области, где горные системы пересекают ключевые автомобильные трассы (Колымская и Тенькинская), проблема организации лавинной безопасности является особенно актуальной. Перекрытие трасс лавинами приводит к остановке движения и экономическим издержкам, так как являются единственными артериями для связи населенных пунктов [Шубин, 1987].

Традиционные методы прогноза лавинной опасности в регионе основаны на корреляции схода лавин с данными метеорологических станций Росгидромет. Однако низкая плотность этой сети и ее ограниченность по высоте (не выше 850 м) не позволяют адекватно оценивать условия снегонакопления в горах, где формируются лавины [Шубин, 1987]. Это приводит к снижению точности прогнозов.

Высота и запас воды в снежном покрове являются ключевыми параметрами для расчета характеристик лавин (объема, дальности выброса) и проектирования защитных сооружений [СП 428.1325800.2018, 2018; Schweizer et al., 2003]. Поэтому актуальной задачей является организация мониторинга снежного покрова непосредственно в высокогорных лавиноопасных районах.

Цель исследования – на основе данных новой автоматической сети мониторинга снежного покрова выявить пространственно-временные особенности его формирования на горных перевалах вдоль автодорог Магаданской области, провести расчет дальности выброса лавин, сравнив результаты с оценкой по данным сети Росгидромет.

Исследования проводились вдоль Колымской (Р-504) и Тенькинской (44Н-4) трасс. Рельеф территории сильно расчленен, высота перевалов превышает 1000 м. Снежный покров залегает в среднем 208 дней, устанавливается около 10 октября и сходит 12 мая в долинах, а в высокогорье – до 13 июня [Климат Магадана, 1985]. Такие условия

способствуют формированию многочисленных лавинных очагов [Ушаков, 2018; Шубин, 1987].

В 2022–2025 гг. была создана и расширена до 26 пунктов автоматическая сеть мониторинга снежного покрова (рис. 1). Пункты оборудованы на высотах от 162 до 1232 м, что позволило охватить различные высотные и ландшафтные зоны, в то время как сеть Росгидромет на этом участке включает в себя 7 станций до высоты 850 м. Каждый пункт наблюдений оснащен фотоловушкой, фиксирующей градуированную снегомерную рейку дважды в сутки. После обработки данных формируется база данных с информацией о высоте снега, температуре воздуха.

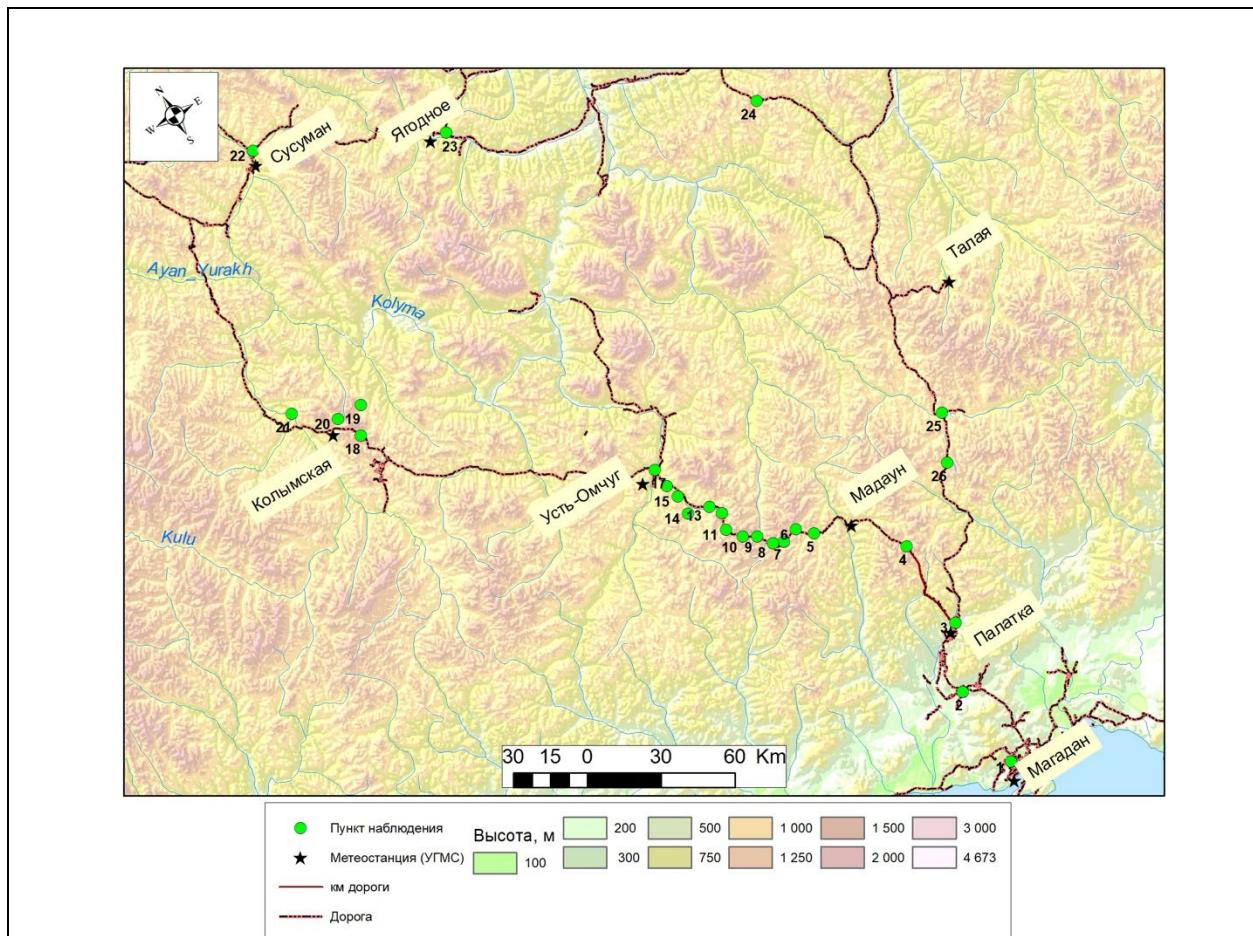


Рис. 1. Карта расположения оборудованных постов мониторинга характеристик снежного покрова.

Для анализа были отобраны пункты, расположенные на перевалах или высотах более 900 м. Рассчитывались средняя ( $H_{av}$ ) и максимальная ( $H_{max}$ ) высота снега за период устойчивого залегания снежного покрова, а также даты его установления ( $D_1$ ) и схода ( $D_2$ ). Эти данные сравнивались с информацией с ближайших метеостанций Росгидромет [Погода и Климат, 2025] (табл. 1).

Анализ материалов показал, что на перевалах средняя и максимальная высота снега была в 1,5–3 раза выше, чем на ближайших метеостанциях. Снежный сезон в горах начинался на 15–30 дней раньше и заканчивался на 10–15 дней позже. Например, на перевале Гусакова снег сошел 24 мая, в то время как на метеостанции Мадаун – 8 мая. Это подтверждает, что условия снегонакопления в высокогорьях существенно отличаются от тех, что фиксируется сетью Росгидромета.

В районе перевала Гусакова было обследовано два лавинных очага (рис. 2), для которых был проведен расчет дальности выброса лавин графоаналитическим способом по методике СП 428 [СП 428.1325800.2018, 2018] с использованием: 1) данных о высоте снега с метеостанции Мадаун (523 м) и 2) фактических данных с пункта мониторинга на

перевале Гусакова (989 м). По формуле С.М. Козика [СП 428.1325800.2018, 2018] определена потенциальная предельная дальность выброса. Морфометрические данные очагов получены по ЦМР ArcticDEM.

Табл. 1. Сравнение характеристик снежного покрова в пунктах сети мониторинга с данными метеостанций Росгидромет.

Пункт наблюдения (высота, м)	Hmax, см	Hav, см	D1	D2
М/с Мадаун (523)	37–70	24–32	30.09–16.10	08–16.05
(4) Перевал Гусакова (989)	130	66	30.09	24.05
М/с Усть-Омчуг (575)	32–49	20–30	21.09–09.10	24.04–02.05
(9) Сопка (1027)	79–94	60–65	08–18.09	25–27.05

Hmax и Hav – максимальная и средняя высота снега, D1 и D2 – даты установления и схода снежного покрова.



Рис. 2 Лавинособоры в орографически правом борту долины р. Дондычан.

Расчет дальности выброса для лоткового лавинного очага (рис. 3) показал, что по данным метеостанции Мадаун ( $H_{max} = 37$  см) лавина должна остановиться в нижней части склона, не достигая дна долины. По фактическим данным с перевала Гусакова ( $H_{max} = 130$  см) расчетная дальность выброса увеличилась вдвое. Так, лавина должна

была перекрыта часть дна долины р. Дондычан, остановившись в 200 м от склона. Этот результат подтверждается обнаружением снежника во время полевых работ.

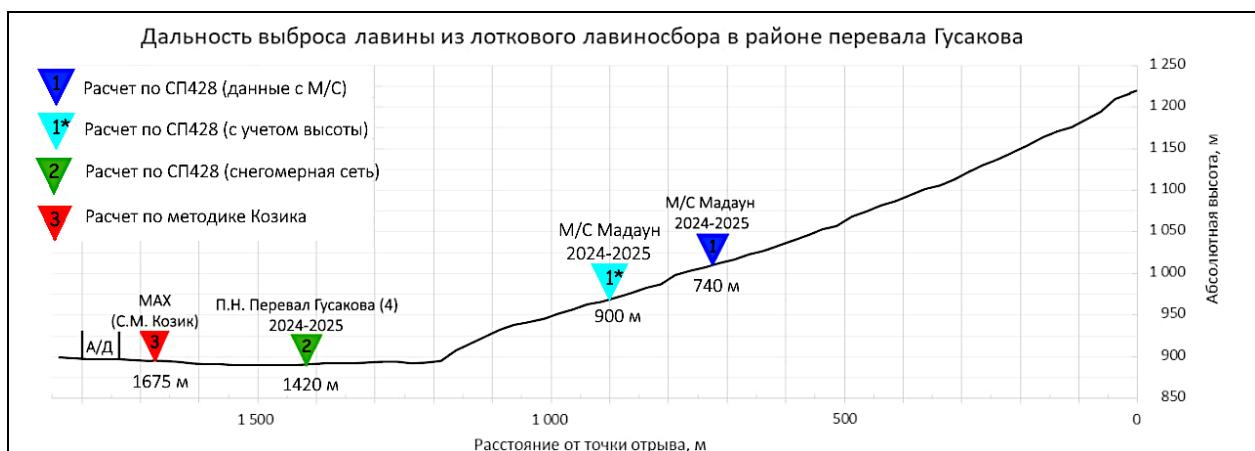


Рис. 3 Продольный профиль лоткового лавиносбора с отмеченными дальностями выброса.

Для осевого очага (рис. 4) расчет по данным метеостанции также показал заниженную дальность выброса. Предельная расчетная дальность выброса по методике Козика для этих очагов может достигать 1040–1500 м, что в многоснежные зимы создает прямую угрозу полотну автодороги.



Рис. 4. Продольный профиль осевого лавиносбора с отмеченными дальностями выброса.

Попытки скорректировать данные метеостанции на высоту по справочным коэффициентам [Атлас, 1997] не дали удовлетворительного результата, что свидетельствует о не репрезентативности данных для горных условий.

Таким образом, результаты исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Созданная автоматическая сеть мониторинга снежного покрова в Магаданской области предоставила первые репрезентативные данные о высоте и сроках залегания снега в высокогорьях вдоль автодорог.

2. Установлено, что характеристики снежного покрова на перевалах (высота >900 м) значительно (в 1,5–3 раза) превышают значения, регистрируемые метеостанциями Росгидромета, а снежный сезон длится на 20–25 дней дольше.

3. На примере перевала Гусакова показано, что использование данных метеостанций для расчета лавинной опасности приводит к критическому занижению (в 1,5–2 раза) дальности выброса лавин, что не соответствует реальной ситуации и повышает риски для инфраструктуры.

4. Существующая сеть Росгидромета недостаточна для эффективного прогнозирования лавинной опасности в условиях горного рельефа Магаданской области.

Автоматическая сеть мониторинга может служить основой для создания современной системы оценки лавинных рисков, планирования защитных мероприятий и обеспечения безопасности на автомобильных трассах региона. Первоочередными шагами должны стать расширение сети на наиболее опасных участках и накопление архива данных для верификации прогностических моделей формирования лавин.

## ЛИТЕРАТУРА

Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Под ред. В.М. Котлякова. М.: Изд-во РАН, 1997. Т. 1. 392 с.

Войтковский К.Ф. Лавиноведение. М.: Изд-во МГУ, 1989. 280 с.

Климат Магадана. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 140 с.

Погода и климат: архив данных. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 15.09.2025).

СП 428.1325800.2018 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Защита от снежных лавин. Правила проектирования. М., 2018. (Building Code).

Ушаков М.В. Статистический метод прогноза снеголавинной активности на юго-западе Магаданской области // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 4. С. 60-65. doi: 10.32686/1812-5220-2018-15-4-60-65

Шубин В.С. К прогнозу лавинной опасности вдоль Тенькинской автодороги в районе снеголавинного поста Дондычан // Труды Второго Всесоюзного совещания по лавинам. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. С. 100–107.

McClung D., Schaefer P. The Avalanche Handbook. 3rd ed. Seattle: The Mountaineers Books, 2006. 342 p.

Schweizer J., Jamieson J.B., Schneebeli M. Snow avalanche formation // Reviews of Geophysics. 2003. Vol. 41. Is. 4. P. 1016. doi: 10.1029/2002RG000123

Seliverstov Yu., Glazovskaya T. Forecast of avalanche danger for the intracontinental regions of Northeast of Eurasia // NGI Publication. 1998. № 203. p. 245–248.

## AVALANCHE HAZARD ASSESSMENT IN THE MAGADAN REGION ACCORDING TO THE DATA OF THE AUTOMATIC SNOW OBSERVATION NETWORK

Nikitina P.A.<sup>1</sup>, Dunaev A.V.<sup>2</sup>, Zemlianskova A.A.<sup>1</sup>, Nesterova N.V.<sup>1</sup>, Makarieva O.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State hydrological institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Avalanches descend annually on the territory of the Magadan region, often blocking roads, which leads to traffic jams and economic costs. To be able to predict avalanche activity, information about the characteristics of the snow cover in the mountains is required. Due to the fact that the weather stations in the region are located up to a altitude of 850 m, it is almost impossible to compile it. In 2022-2025, the authors deployed an automatic snow cover monitoring network at altitudes from 162 to 1232 m. It covers various landscapes, as well as many points located on passes near highways, which makes it possible to use network data as a basis for calculating avalanche characteristics.

Keywords: *Avalanche hazard, snow cover, monitoring, mountain passes, Magadan Region, forecasting, avalanche runout distance*

## REFERENCES:

World Atlas of Snow and Ice Resources / Ed. V.M. Kotlyakov. Moscow: Institute of Geography RAS, 1997. Vol. 1. 392 p. (in Russian).

Voytkovskiy K.F. Avalanche Science. Moscow: Moscow State University Press, 1989. 280 p. (in Russian).

Climate of the Magadan. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 140 p. (in Russian).

Weather and Climate: data archive. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (accessed: 15.09.2025). (in Russian).

SP 428.1325800.2018 Inzhenernaya zashchita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Zashchita ot snezhnykh lavin. Pravila proektirovaniya [Building Code 428.1325800.2018. Engineering protection of territories, buildings and structures from hazardous geological processes. Protection against snow avalanches. Design rules]. Moscow, 2018. (in Russian).

*Ushakov M.V.* Statistical method of forecasting snow avalanche activity in the south-west of the Magadan region // Problemy analisa risika. 2018. Vol. 15. No. 4. P. 60-65. doi: 10.32686/1812-5220-2018-15-4-60-65

*Shubin V.S.* K prognozu lavinnoy opasnosti vdol' Ten'kinskoy avtodorogi v rayone snegolavinnogo posta Dondychan // Trudy Vtorogo Vsesoyuznogo soveshchaniya po lavinam. L.: Gidrometeoizdat, 1987. P. 100–107.

*McClung D., Schaefer P.* The Avalanche Handbook. 3rd ed. Seattle: The Mountaineers Books, 2006. 342 p.

*Schweizer J., Jamieson J.B., Schneebeli M.* Snow avalanche formation // Reviews of Geophysics. 2003. Vol. 41. Is. 4. P. 1016. doi: 10.1029/2002RG000123

*Seliverstov Yu., Glazovskaya T.* Forecast of avalanche danger for the intracontinental regions of Northeast of Eurasia // NGI Publication. 1998. № 203. p. 245–248.