

УДК 551.311.21: 627.141.1

DOI: 10.34753/HS.2022.3.230

**ОПЫТ ВЫПУСКА
СНЕГОЛАВИННОГО
БЮЛЛЕТЕНЯ ДЛЯ ГОРНОГО
РЕГИОНА ЗАИЛИЙСКИЙ
АЛАТАУ**

В.П. Благовещенский, В.В. Жданов,
Т.С. Гуляева

*Институт географии и водной безопасности
Министерства науки и высшего образования
Республики Казахстан, г. Алматы, Республика
Казахстан*

Zhdanovvitaliy@yandex.kz

Аннотация. Самым распространенным методом доведения снеголавинных прогнозов до населения является снеголавинный бюллетень. Они составляются в большинстве крупных центров прогнозирования и изучения снежных лавин. В бюллетенях указывается актуальная информация о стабильности снежного покрова, уровне лавинной опасности, основных лавинных проблемах и прогнозе погоды. Потребителями информации являются туристы, горнолыжники, администрации туристических объектов. На их основе они могут планировать работу горнолыжных баз и другую рекреационную деятельность. В Республике Казахстан справка-рекомендация о лавинной опасности в горах составляется только для государственных органов, а население лишено информации о лавинах. В течение нескольких лет в лаборатории природных опасностей Института географии и водной безопасности Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан проводится эксперимент по выпуску снеголавинного бюллетеня. Для этого собирается текущая снеголавинная и метеорологическая информация на трех горных метеорологических станциях – Большое Алматинское озеро, Мынжилки и Чимбулак. Ежедневно проводится оценка уровня лавинной опасности по Казахстанскому варианту Европейской пятибалльной шкалы опасности. Классификация уровней лавинной опасности проводится с

**EXPERIENCE OF RELEASE OF AN
AVALANCHE BULLETIN FOR THE
MOUNTAIN REGION OF ILE
ALATAU**

Victor P. Blagoveshchensky,
Vitaly V. Zhdanov, Tamara S. Gulyaeva
*Institute of Geography and Water Security, Almaty,
Republic of Kazakhstan*

Zhdanovvitaliy@yandex.kz

Abstract. The most common method of communicating avalanche forecasts to the public is the avalanche bulletin. They are compiled at most major avalanche forecasting and research centers. Bulletins provide up-to-date information on snow cover stability, avalanche danger level, main avalanche problems and weather forecast. Consumers of information are tourists, skiers, administrations of tourist facilities. On their basis, they can plan the work of ski resorts and other recreational activities. In the Republic of Kazakhstan, a reference-recommendation on avalanche danger in the mountains is compiled only for government apparatus, and the population is deprived of information about avalanches. For several years, an experiment has been carried out in the laboratory of natural hazards of the Institute of Geography to issue an avalanche bulletin. For this, current avalanche and meteorological information is collected at three mountain meteorological stations – Lake Ulken Almaty, Mynzhylyki and Shymbulak. The level of avalanche danger is assessed weekly according to the Kazakhstan version of the European five-point danger scale. Classification of avalanche danger levels is carried out using a specially created neural network. Information about the level of avalanche danger, the state of the snow cover and the weather forecast is indicated in the weekly avalanche bulletin. The accuracy of the classification of avalanche situations using artificial intelligence was 84–90%. The final accuracy of forecasts of the level

Blagoveshchensky V.P., Zhdanov V.V., Gulyaeva T.S. Experience of release of an avalanche bulletin for the mountain region of Ile Alatau. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2022, vol. 4, iss. 3, pp. 230–243. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2022.4.3.230](https://doi.org/10.34753/HS.2022.4.3.230).

помощью специально обученной нейронной сети. Информация об уровне лавинной опасности, состоянии снежного покрова и прогноз погоды указывается в еженедельном снеголавинном бюллетене. Бюллетень публикуется в сети интернет и телеграмм-канале перед каждым выходными. Точность классификации лавиноопасной обстановки с помощью искусственного интеллекта составила 84–90%. Итоговая точность прогнозов уровня лавинной опасности с учетом прогноза погоды составила 73–82%. В дальнейшем планируется внедрить полученный опыт в работу официальной снеголавинной службы Республики Казахстан.

Ключевые слова: лавинная опасность; снеголавинный бюллетень; прогноз; пятибалльная шкала опасности; искусственный интеллект; нейронные сети; экспертная оценка.

Введение

Лавиноопасные районы Казахстана расположены на юге, юго-востоке и востоке республики. Воздействию лавин подвержены в основном участки дорог восточного Казахстана и туристические объекты Алматинской области [География лавин, 1992]. Ежегодно регистрируется сход катастрофических лавин [Medeu et al., 2022a]. В среднем в год отмечается два несчастных случая и гибнет один человек [Благовещенский, Жданов, 2021]. Поэтому защита от снежных лавин имеет важное государственное значение.

В Республике Казахстан за лавинную безопасность отвечают несколько организаций:

– Республиканское государственное предприятие «Казгидромет» (далее – РГП «Казгидромет») проводит мониторинг состояния снежного покрова и лавинной опасности в горах. По результатам выдается информационная справка для государственных органов. По бассейнам рек Большая Алматинка и Малая Алматинка дополнительно дается рекомендация о проведении профилактических спусков и штормовые предупреждения о лавинной опасности.

of avalanche danger, taking into account the weather forecast, was 73–82%. The bulletin is published on the Internet and telegram channel before every weekend. In the future, it is planned to introduce the experience gained into the work of the official avalanche service of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: avalanche danger; avalanche bulletin; forecast; five-point danger scale; artificial intelligence; neural networks; expert review.

– Государственное учреждение «Казселезащита» (далее – ГУ «Казселезащита») отвечает за проведение профилактических спусков снежных лавин на дорогах Восточного Казахстана и в окрестностях города Алматы. Для этого привлекаются специалисты взрывники из «Казавзрывпрома». Так же в функции ГУ «Казселезащита» входит строительство и эксплуатация инженерных защитных сооружений.

– Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан (далее – МЧС РК) проводит информационно-профилактические мероприятия путем рассылки SMS-предупреждений. Для этого в областных и городских департаментах созданы центры оповещения и предупреждения о чрезвычайных ситуациях.

– На двух крупных горнолыжных курортах «Шымбулак» и «Ак-Булак» созданы частные снеголавинные подразделения, сертифицированные МЧС РК. Они проводят профилактические спуски снежных лавин с помощью оборудования «GazEx» и «Avalancher».

Из-за того, что прогностические снеголавинные подразделения упразднены

население лишено актуальной информации о лавинной опасности в горах. Предупреждающие SMS-сообщения приходят регулярно в течение всего лавиноопасного сезона. Однако снеголавинные подразделения не проводят проверку качества и их оправдываемость остается неизвестной¹.

Для информирования населения об уровне лавинной опасности и состоянии снежного покрова в горах необходимо внедрение мирового опыта по выпуску снеголавинных бюллетеней. Детальная информация о снежных лавинах необходима для планирования хозяйственной и рекреационной деятельности в горах в лавиноопасный период.

Цель и задача исследований

Целью исследования является адаптация мирового опыта оценки уровня лавинной опасности для условий Казахстана. В ходе эксперимента решались следующие задачи:

- Создать механизм сбора оперативной метеорологической информации из различных источников: метеорологические станции международного обмена, снеголавинные станции РГП «Казгидромет», посты ГУ «Казселезащита», волонтеры из числа альпинистов и лыжников.
- Отработать метод экспертной оценки уровня лавинной опасности по Европейской пятибалльной шкале опасности.
- Проверить работоспособность и точность искусственной нейронной сети (далее – ИНС), обученной на архивных сведениях о погоде и сходе снежных лавин.
- Разработать метод распространения снеголавинных предупреждений среди населения и заинтересованных организаций.
- Дать рекомендации для дальнейшего использования метода в оперативной работе снеголавинной службы Казахстана.

Изучение мирового опыта

В течение многих лет авторами проводилось изучение мирового опыта в области

прогнозирования лавинной опасности. Снеголавинные бюллетени составляются в большинстве крупных центров изучения и прогнозирования лавин [Winkler, Techel, 2014]. В них указывается информация о текущем и прогнозируемом уровне лавинной опасности, состоянии снежного покрова, основные лавинные проблемы и прогноз погоды. Бюллетени выпускаются ежедневно в лавиноопасный сезон ко времени открытия туристических и горнолыжных комплексов. Для удобства пользователей к бюллетеням прикладываются карты-схемы опасных участков и иллюстрации основных лавинных проблем. При резком изменении погодных условий составляется экстренный бюллетень с уточнениями. С учетом этой информации население может планировать хозяйственную и рекреационную деятельность. По оценкам Швейцарских специалистов бюллетени очень популярны и имеют сотни тысяч скачиваний в сутки [Avalanche Bulletin, 2022]. Образцы бюллетеней Австрийского и Канадского противолавинных центров приведены на рисунке 1.

В настоящее время снеголавинные бюллетени начали выпускаться в популярных туристических районах Российской Федерации: Красной поляне и Хибинах². Подобный опыт будет очень полезен для обеспечения лавинной безопасности туристических объектов в окрестностях города Алматы.

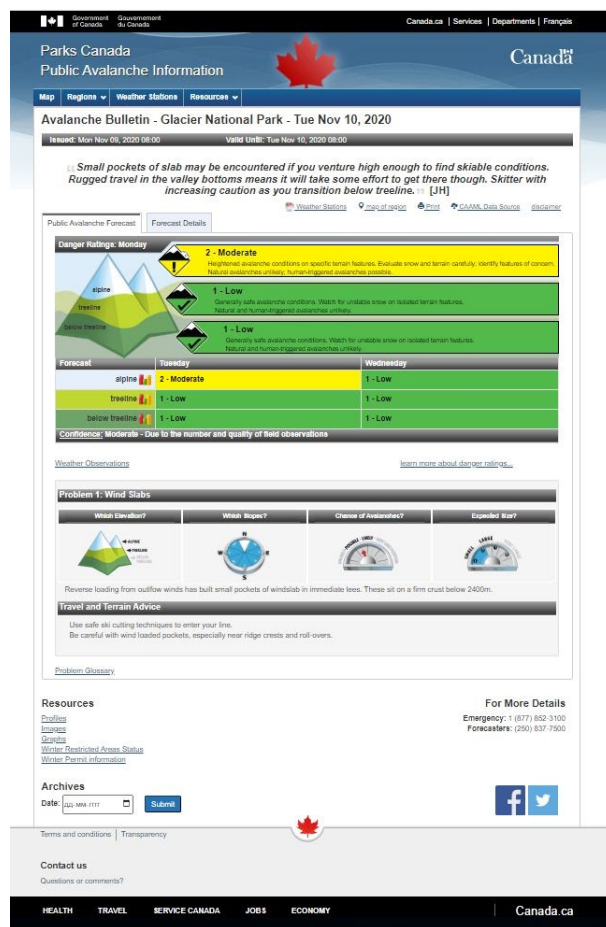
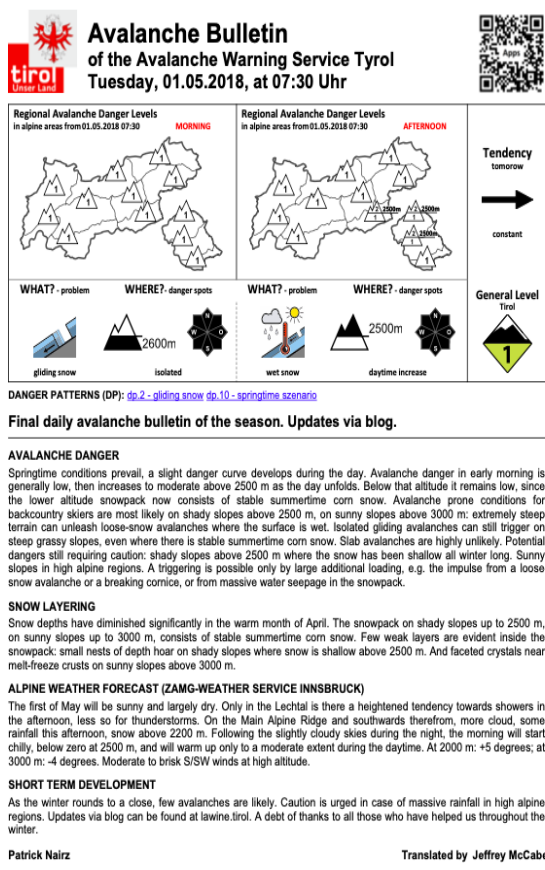
Выбор пунктов наблюдений и прогностических предикторов

Реперными точками для оценки лавинной опасности в окрестностях города Алматы являются следующие метеорологические станции:

- Мынжилки, высота 3 017 м над уровнем моря, индекс станции 36889 (N43°05'06,9"; E77°04'37,5");
- Большое Алматинское озеро, высота 2 502 м над уровнем моря, индекс станции 36879 (N43°03'33,3"; E76°58'55,0");

¹Нормативно-правовые акты. Устав РГП «Казгидромет» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/uploads/files/314/file/6194e980ecec80novyy-ustav.pdf>.

²Погода в Красной Поляне [Электронный ресурс]. URL: <https://avalanche.bonch-ikt.ru>.



a

b

Рисунок 1. Образцы снеголавиных бюллетеней разных стран: Австрия (a) и Канада (b).
 Figure 1. Sample avalanche bulletins from different countries: Austria (a) and Canada (b).

■ Чимбулак, высота 2 200 м над уровнем моря, индекс станции 36873 (N43°07'57,3"; E77°04'39,51").

Анализируемые метеорологические станции являются станциями международного обмена информацией. Это старейшие метеостанции в регионе, работающие по стандарту всемирной метеорологической организации (далее – ВМО). На них проводится полный комплекс метеорологических наблюдений в стандартные 8 сроков, через каждые 3 часа. Данные наблюдений находятся в свободном доступе в стандартном коде КН-01 – SYNOP³. Пункты наблюдений Чимбулак и

Большое Алматинское озеро являются комплексными метеорологическими и снеголавиными станциями. Пункт наблюдений Мынжилки является только метеорологической станцией. Данные снеголавиных наблюдений по стандарту ВМО в свободный доступ не выкладываются. Они хранятся в бумажных архивах РГП «Казгидромет»⁴ и могут быть получены по запросу.

Данные о сходах снежных лавин были получены из оперативных данных о стихийных природных явлениях МЧС РК⁵ и ежегодных обзоров об опасных явлениях погоды [Долгих и др., 2021]. Анализировались сходы снежных

³Погода в 243 странах мира [Электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru>.

⁴Государственный климатический кадастр [Электронный ресурс]. URL: https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/.

⁵Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан / Пресс-центр / Статьи [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emcr/press/article/1?lang=ru>.

лавины только в лавиносборах, расположенных в популярных туристических районах.

Данные об устойчивости снежного покрова были получены из годовых отчетов снеголавинных станций, хранящихся в архивах гидрометеорологической службы. Учитывалось только наличие лавиноопасного слоя в снежном пласте. В базе данных устойчивый снежный покров обозначался цифрой 1, неустойчивый – 0. Данные хранятся в форматах Microsoft Excel и Statistica Spreadsheet.

В качестве прогностических предикторов авторы выбрали доминирующие факторы лавинообразования в данном регионе. Они приведены в таблице 1. Основание для выбора этих входных данных – это стандартные наблюдения, проводимые на сети метеорологических и снеголавинных станций Казахстана.

Экспертная оценка уровня лавинной опасности

Для разработки вероятностных прогнозов лавин была проведена экспертная оценка архивных сведений о лавинной опасности [Medeu et al., 2022b]. Для этого был взят архив наблюдений за снежными лавинами в бассейнах рек Большая Алматинка и Малая Алматинка за период с 1966 по 2020 год. Все исторические лавиноопасные периоды были классифицированы в соответствии с пятибалльной шкалой лавинной опасности⁶. С помощью методов математической статистики были определены пороговые значения метеоэлементов для каждого класса лавинной опасности. Классификация проводилась с учетом рекомендаций Швейцарского Института исследований снега и лавин и Североамериканской лавинной ассоциации⁷ [Greene et al., 2016]. На основе европейской и американской шкал была разработана Казахстанская шкала лавинной опасности (таблица 2). При описании лавинной опасности учтены региональные условия схода снежных лавин в Заилийском Алатау.

Таблица 1. Метеорологические критерии, анализируемые ИНС для оценки уровня лавинной опасности.

Table 1. Meteorological criteria analyzed by the neural network to assess the level of avalanche danger.

| Переменная | Значение переменной |
|----------------------------|--|
| <i>Входные переменные</i> | |
| X_1 | Сумма осадков за предыдущие трое суток, мм |
| X_2 | Прирост снега за снегопад, см |
| X_3 | Высота снега перед началом снегопада, см |
| X_4 | Наличие слабых слоев (1) и устойчивых слоев (0) в снежном покрове |
| X_5 | Сумма максимальных температур воздуха за предыдущие трое суток, °C |
| <i>Выходная переменная</i> | |
| Y_1 | Уровень лавинной опасности по пятибалльной шкале |

⁶Avalanche Danger Scale – EAWS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.avalanches.org/education/avalanche-danger-scale/>.

⁷Observation guidelines and recording standards for weather, snowpack and avalanches. Revelstoke: Canadian Avalanche Association, 2014. 109 p. [Электронный ресурс]. URL: https://cdn.ymaws.com/www.avalancheassociation.ca/resource/resmgr/Standards_Docs/OGRS2014web.pdf.

Таблица 2. Казахстанская региональная шкала лавинной опасности.

Table 2. Kazakhstan regional avalanche danger scale.

| Уровень лавинной опасности | Описание ситуации по международной пятибалльной шкале | Региональные снежно-метеорологические условия в Заилийском Алатау |
|--|--|--|
| <p>Низкий</p>  | <p>Самопроизвольные и спровоцированные лавины маловероятны. Снежный покров на горных склонах стабилен.</p> | <p>Ситуация сохраняется при стабильной погоде без сильных осадков и оттепелей. На склонах преобладает высота снега 20–30 см. Водность снежного покрова не превышает 100 мм. Результаты тестирования снежного покрова показывают отсутствие лавиноопасных слоев и кристаллов глубинной изморози.</p> |
| <p>Умеренный</p>  | <p>Самопроизвольные лавины маловероятны. Спровоцированные возможны при большой нагрузке. Снежный покров на крутых склонах закреплен умеренно, на остальных склонах – хорошо.</p> | <p>Ситуация отмечается при стабильной погоде без лавиноопасных оттепелей и снегопадов. Высота снега на склонах преобладает 40–60 см, водность около 100 мм. Основное отличие от первого уровня – это появление нестабильных слоев в снегу. Тестирование снежного покрова показывает наличие лавиноопасных слоев и кристаллов глубинной изморози.</p> |
| <p>Значительный</p>  | <p>Спровоцированные лавины возможны при небольшой нагрузке. Самопроизвольные лавины возможны на отдельных склонах. Снежный покров закреплен на крутых склонах либо умеренно, либо слабо.</p> | <p>Ситуация отмечается при преобладающей высоте снега на склонах 50–60 см и водности снега 100–150 мм. Отдельные сухие лавины могут сходить при приросте снега 15–20 см. В периоды оттепелей (март-апрель) наблюдается сход отдельных мокрых лавин, когда максимальная температура воздуха держится больше 10°C в течение 3 суток. При наличии слабых слоев в снегу критические значения количества осадков и суммы положительных температур уменьшаются.</p> |
| <p>Высокий</p>  | <p>Самопроизвольные и спровоцированные лавины весьма вероятны. Снежный покров слабо закреплен на большинстве склонов.</p> | <p>Высокий уровень лавинной опасности отмечается во время сильных сухих снегопадов в середине зимы и при выпадении осадков на фоне оттепели весной. Критическое количество осадков составляет 20–25 мм и прирост снега 20–30 см снега при высоте старого снега более 80 см. В это время происходит массовый сход лавин среднего размера, есть вероятность схода крупных лавин. При наличии слабых слоев в снегу критические значения количества осадков и суммы положительных температур уменьшаются.</p> |
| <p>Экстремальный</p>  | <p>Снежный покров нестабилен. Многочисленные самопроизвольные и спровоцированные лавины неизбежны.</p> | <p>Самый опасный период отмечается при выпадении очень сильных осадков (более 30 мм), и приросте снега более 40 см. Он наблюдается в конце зимы или начале весны, при высоте старого снега на склонах более 100 см и водности более 250 мм. Периоды с высшим уровнем лавинной опасности связаны с экстремальными снегопадами редкой повторяемости, весной после продолжительной оттепели. В это время происходит сход катастрофических лавин. При наличии слабых слоев в снегу критические значения количества осадков и суммы положительных температур уменьшаются.</p> |

Применение численных моделей прогноза погоды для улучшения заблаговременности лавинных прогнозов

Недостаток большинства существующих методов оценки и прогноза лавинной опасности – это отсутствие заблаговременности. Все методы оценки и прогноза анализируют текущую снеголавинную обстановку по данным со снеголавинных станций. Такие методы еще называют NOW-CASTING или прогноз текущей погоды. Информация от метеорологических и снеголавинных станций приходит в метеоцентр с запозданием. В итоговый срок 9:00 по местному времени поступает информация за прошедшие сутки. Одним из способов увеличения заблаговременности является применение при прогнозе лавинной опасности результатов численных моделей прогноза погоды [Кондрашов, 1991]. В этом случае немного падает оправдываемость прогноза, но увеличивается заблаговременность.

Реперными точками для прогноза снежных лавин являются три горные метеостанции: Чимбулак, Мынжилки, Большое Алматинское озеро. Эти станции входят в базу данных международного обмена и имеют большие ряды наблюдений. Они расположены близко к местам схода снежных лавин. Прогноз погоды для этих пунктов важен для увеличения заблаговременности прогнозов лавин. Для этого авторами были проанализированы данные трех численных моделей прогноза температуры воздуха и количества осадков. Это глобальные прогностические модели: *ECMWF*, *GFS* и *ICON*. Прогнозные данные по трем моделям были взяты с интерактивной карты погоды⁸. Результаты сравнивались с текущей погодой на метеорологических станциях.

Наилучшую оправдываемость в условиях Заилийского Алатау по количеству осадков показывает модель *GFS*, а по температуре воздуха – модель *ICON*. Значения коэффициентов

корреляции для температуры воздуха выше, чем для количества осадков. С увеличением высоты места над уровнем моря точность результатов моделирования погоды падает. При оценке лавинной опасности вместо текущих значений метеоэлементов вносятся прогнозные моделированные значения. Это уменьшает точность оценки, но увеличивает заблаговременность прогноза.

Обучение искусственной нейронной сети

Для облегчения работы лавинного эксперта была обучена ИНС, обрабатывающая архивную информацию. В настоящее время подобные автоматизированные экспертные системы используют многие лавинные центры в мире. Они помогают избежать субъективной оценки и сильно помогают неопытному прогнозисту лавинщику [Schweizer, Fohn, Schweizer, 1994; Schweizer, Föhn, 1996; Singh, Ganju, 2008].

Существуют два подхода в работе с нейронными сетями – написание собственного продукта в открытом коде (например, на языке *PYTHON*) или использование готовых нейросимуляторов. В своей работе авторы использовали готовый продукт от компании *StatSoft Russia*⁹. Это лидер в области программного обеспечения профессиональной статистической обработки данных. Он включает в себя пакеты *Neural Networks* и *Data Mining*. Программа способна работать в нескольких режимах – обучение ИНС на новых данных и работа ИНС со значениями пользователя в режиме анализ. Алгоритм работы с программой приведен на рисунке 2. В режиме обучения ИНС используются архивные сведения о метеообстановке и уровне лавинной опасности. При внесении значений пользователя в режиме анализ данных готовая ИНС сравнивает данные с архивом и относит их к определенному классу лавинной опасности.

⁸Windy: Wind map & weather forecast [Электронный ресурс]. URL: <https://www.windy.com>.

⁹STATISTICA: Data Mining, анализ данных, контроль качества, прогнозирование, обучение, консалтинг [Электронный ресурс]. URL: <http://www.statsoft.ru>.

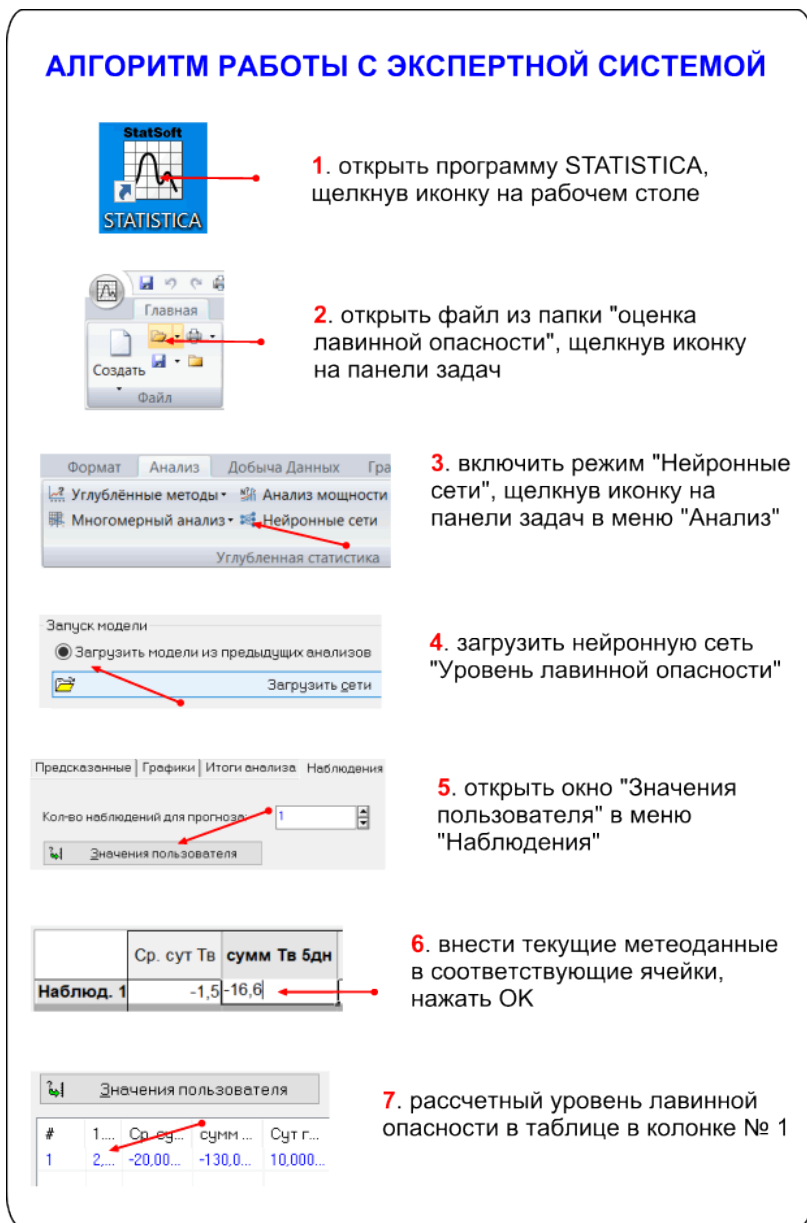


Рисунок 2. Алгоритм работы с программным обеспечением Statistica Neural Networks в режиме анализа значений пользователя.

Figure 2. Algorithm for working with the Statistica neural networks software in the user value analysis mode.

Вид снеголавинного бюллетеня

Разработанная модель оценки и прогноза уровня лавинной опасности использовалась при составлении экспериментального снеголавинного бюллетеня. Работы проводились в лавиноопасный сезон 2021/2022 года. Бюллетень еженедельно публикуется в сети интернет и

социальных сетях. Он доступен населению и туристам по ссылке¹⁰. В дальнейшем планируется применить этот опыт в работе государственной противолавинной службы.

Для составления прогнозов лавинной опасности ежедневно в течение лавиноопасного сезона анализировались данные метеорологических станций и прогноз погоды.

¹⁰Снеголавинный бюллетень [Электронный ресурс] – Google Диск. URL: <https://drive.google.com/drive/folders/1Aa3QofePBNYCLM0fPAdezZy0UsBvCwOu>.


Данные о погоде в оперативном режиме получались с сайтов^{3,8}. Данные об устойчивости снега поступали от волонтеров. Текущая снеговальная обстановка классифицировалась по пятибалльной шкале опасности. В работе использовался метод экспертной оценки и полученная ИНС.

В лавинном бюллетене приводится анализ снеговальной обстановки, дается оценка

текущего уровня лавинной опасности и на основании прогноза погоды дается прогноз изменений лавинной опасности на ближайшие дни. В заключение даются рекомендации по мерам лавинной безопасности для туристов, лыжников и альпинистов (таблица 3). К бюллетеню прилагается карта лавиноопасных участков с указанием уровня лавинной опасности для каждого из них (рисунок 3).

Таблица 3. Образец лавинного бюллетеня.

Table 3. Sample Avalanche Bulletin.

|  ЛАВИННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ № 6 | |
|--|---|
| 24.12.2021 | |
| УРОВЕНЬ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ | |
|  | <p>В пятницу 24 декабря в горных районах Иле Алатау выше 2 500 м отмечается «Желтый» Умеренный уровень лавинной опасности. Возможен сход отдельных спровоцированных лавин небольших объемов. Угрозы объектам в горах нет. Условия для занятий альпинизмом и фрирайдом хорошие.</p> |
| ПОГОДА И СНЕГОЛАВИННАЯ ОБСТАНОВКА | |
| <p>На прошедшей неделе 20 декабря в горных районах прошел небольшой снегопад. В среднегорной зоне количество осадков было 3–5 мм, прирост снежного покрова составил 4–8 см. В высокогорной зоне количество осадков было больше: 7 мм, прирост снега составил до 14 см. После выпадения осадков в горах немного похолодало – до 10 мороза в высокогорье. Но к концу недели опять потеплело. В среднегорной зоне дневная температура поднималась до 9°C, в высокогорье до 0°C.</p> <p>В низкогорной и среднегорной зонах до 2 500 м высота снежного покрова была в пределах 15–20 см. На склонах южной экспозиции снег полностью отсутствует. В высокогорье в долинах отмечается 20–25 см снега и до 50 см на северных склонах. Нынешняя зима относится к типу теплых малоснежных зим. Температура воздуха превышает средние многолетние значения на 5–10°C, а высота снега на 30–50% ниже нормы. За весь декабрь в горах было только 2 небольших снегопада. За последнюю неделю данных о сходе лавин не поступало.</p> <p>По данным проведения тестов на устойчивость отмечается слабый нестабильный слой только в высокогорной зоне. В среднегорной зоне снежный покров либо отсутствует, либо спрессовался из-за продолжительной оттепели. В малоснежные зимы не бывает крупных лавин, угрожающих строениям. Но для туристов и альпинистов такие зимы могут оказаться опасными. Не стоит забывать о правилах техники безопасности, так как для человека опасна даже маленькая лавина!</p> | |
| ПРОГНОЗ ПОГОДЫ И ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ | |
|  | <p>В выходные 25 и 26 декабря сохраняется «Желтый» умеренный уровень лавинной опасности. Ожидается облачная погода без осадков. Температура воздуха – от -6 до -8°C.</p> <p>В понедельник 27 декабря ожидается небольшой снегопад, температура воздуха от -10 до -12°C. В последующие дни будет ясная погода, от -6 до -4°C. Сохранится умеренный уровень лавинной опасности.</p> |

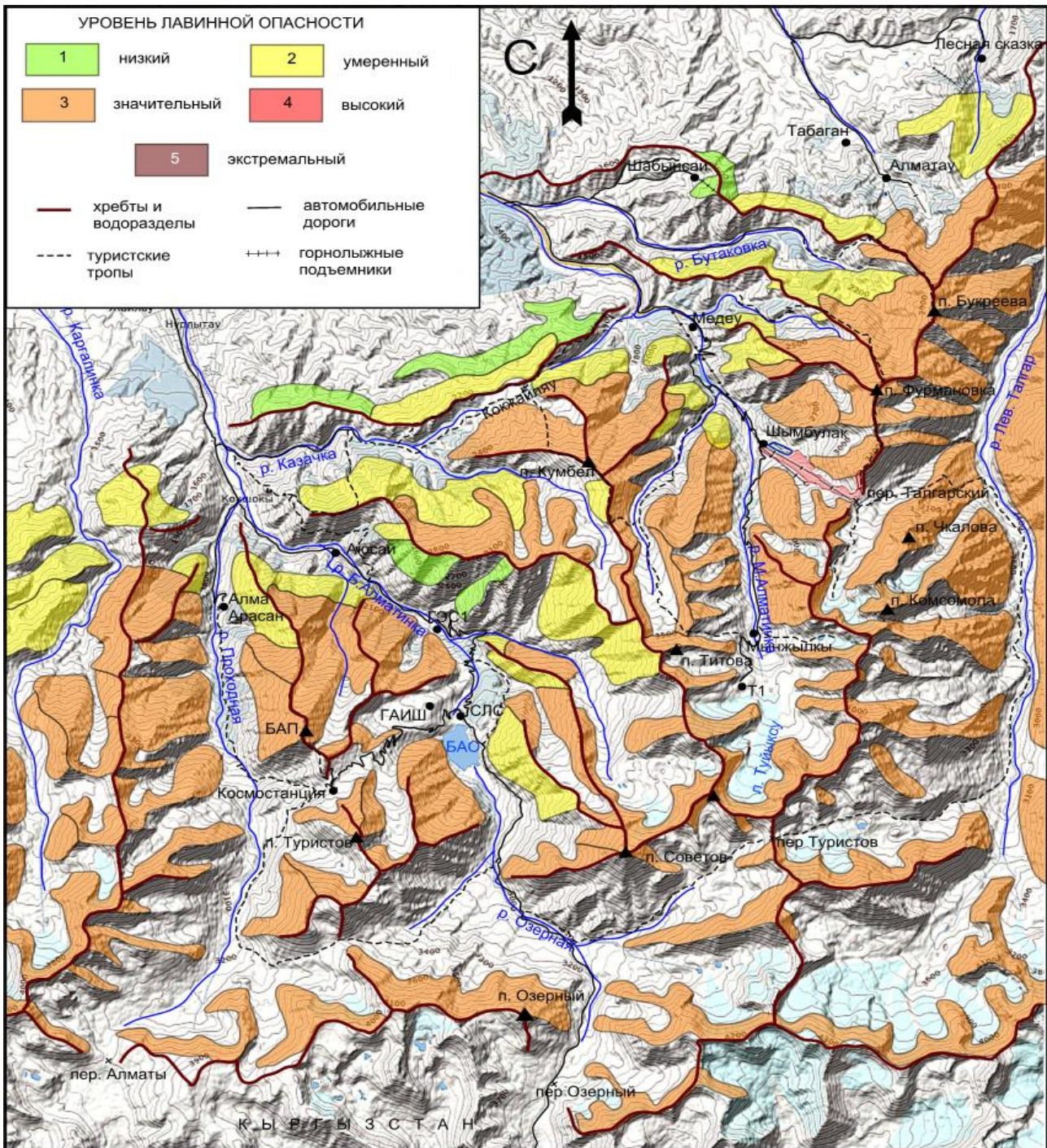


Рисунок 3. Карта-схема опасных участков, прилагаемая к снеголавиному бюллетеню.

Figure 3. Map-scheme of hazardous areas attached to the avalanche bulletin.

Таблица 4. Точность оценки текущего уровня лавинной опасности экспертами и искусственным интеллектом.

Table 4. Accuracy of assessing the current level of avalanche danger by experts and artificial intelligence.

| Метеостанция | Количество дней | Правильная оценка, дни | Ошибочная оценка, дни | % правильных оценок | % ошибочных оценок |
|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| Эксперты* | | | | | |
| Чимбулак | 175 | 133 | 42 | 76 | 24 |
| Мынжилки | 175 | 143 | 32 | 82 | 18 |
| Большое Алматинское озеро | 175 | 128 | 47 | 73 | 27 |
| Искусственный интеллект | | | | | |
| Чимбулак | 175 | 157 | 18 | 90 | 10 |
| Мынжилки | 175 | 147 | 28 | 84 | 16 |
| Большое Алматинское озеро | 175 | 158 | 17 | 90 | 10 |

Примечание: итоговая оценка лавинной опасности проводилась с приоритетом экспертной оценки и учетом прогноза погоды на трое суток

Проверка качества оценки и прогноза лавинной опасности в сезоне 2021/2022 года

Точность оценок уровня лавинной опасности с помощью эксперта и методов машинного обучения указаны в таблице 4. Оценка качества проведена по методу, применяемому в РГП «Казгидромет»¹¹. Методы оценки эффективности прогнозов рекомендуются ВМО и являются стандартными во всем мире¹². Это облегчает сопоставлять результаты. По формуле 1 было рассчитано количество ошибочных оценок (различий между прогнозными и фактическими значениями), выраженное в процентах:

$$P = \frac{n}{N} * 100\% \quad (1)$$

где P – оправдываемость прогноза опасного явления, %;

n – количество оправдавшихся прогнозов, дни;

N – общее количество прогнозов, дни.

Ошибочной оценкой считалась любая, при которой фактический и прогностический уровень опасности были различны. Точность оценки уровня лавинной опасности с помощью искусственного интеллекта оказалась в пределах 84–90%. Однако при этом оценивалась текущая обстановка, и прогноз имел нулевую заблаговременность. Поэтому его нельзя использовать для предупреждения населения. Точность экспертной оценки оказалась ниже – 73–82%. Это объясняется тем, что для составления прогноза в приоритете была экспертная оценка с учетом прогноза погоды на ближайшие трое суток. Этой заблаговременности хватает для составления бюллетеня и предупреждения населения.

Полученные результаты сравнимы с данными других исследователей [Cagnati et al., 1998; Techel, Schweizer, 2017; Schweizer et al., 2020]. В большинстве лавинных центров точность оценки с помощью искусственного интеллекта сравнима с точностью экспертной оценки, это

¹¹РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 150 с.

¹²Рекомендации ВМО по предоставлению неопределенности в прогнозах погоды PWS-18 WMO/TD No. 1422. ВМО, 2018.

объясняется тем, что ИНС обучается на тех же данных, которые используют эксперты для прогноза.

Выводы

В результате экспериментального выпуска снеголавинного бюллетеня были отработаны механизмы сбора оперативной информации,

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам снеголавинных подразделений РГП «Казгидромет»: Тыналину О.Ж., Голенко А.Е., Берману О.О., Есенжоловой Г.М. и руководителю спасательной службы горнолыжного курорта «Шымбулак» Львову В.Б.

Статья написана по результатам исследований по проекту «Разработка метода прогноза снежных лавин в Иле Алатау с использованием методов искусственного интеллекта», финансируемому Комитетом науки Министерством образования и науки Республики Казахстан (Грант № AP09260155).

Литература

Благовецкий В.П., Жданов В.В. Лавинные Инциденты в горах Иле Алатау // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2021. Т. 3. № 2. С. 122–132.

География лавин / Под ред. С.М. Мягкова, Л.А. Канаева. М.: МГУ, 1992. 330 с.

Долгих С.А., Исабекова Ж.К., Вережкина И.В., Ибраев С.Е., Муқанов Е.Н., Амирова И.М., Ивкина Н.И., Васенина Е.И., Смирнова Е.Ю., Жездібаева Б.Т. Стихийные гидрометеорологические явления, наблюдавшиеся на территории Казахстана в 2020 году // Гидрометеорология и экология. 2021. № 4 (103). С. 53–86. DOI: [10.54668/2789-6323-2021-103-4-53-86](https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-103-4-53-86).

Кондрашов И.В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 72 с.

Avalanche Bulletin Interpretation Guide. Edition December 2022. / WSL Institute for Snow and

экспертной оценки уровня лавинной опасности, обучения ИНС и доведение информации до потребителей. Эксплуатация модели показала приемлемую точность оценки и прогноза 73–82%, что сравнимо с другими мировыми центрами. В дальнейшем планируется внедрить полученный опыт в практическую работу Казахстанской снеголавинной службы.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the employees of the avalanche departments of the Republican State Enterprise "Kazhydromet": Tynalin O.Zh., Golenko A.E., Berman O.O., Esenzholova G.M. and the head of the rescue service of the ski resort "Shymbulak" Lvov V.B.

The article was written based on the results of research on the project "Development of a method for forecasting snow avalanches in Ile Alatau using artificial intelligence methods", funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant № AP09260155).

References

Avalanche Bulletin Interpretation Guide. Edition December 2022. / WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF (ed.). 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.slf.ch/files/user_upload/SLF/Lawinenbulletin_Schneesituation/Wissen_zum_Lawinenbulletin/Interpretationshilfe/Interpretationshilfe_EN.pdf.

Blagovechshenskiy V.P., Zhdanov V.V. Lavinnie incident v gorah Ile Alatau [Avalanche risk in Kazakhstan at different levels of avalanche danger]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya. [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena]*, 2021, vol. 3, iss. 2, pp. 122–132 (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2021.3.2.122](https://doi.org/10.34753/HS.2021.3.2.122).

Cagnati A., Valt M., Soratroi G., Gavalda J., Sellé S.C.G. A field method for avalanche danger-level verification. *Annals of Glaciology*, 1998, vol. 26, pp. 343–346. DOI: [10.3189/1998AoG26-1-343-346](https://doi.org/10.3189/1998AoG26-1-343-346).

- Avalanche Research SLF (ed.). 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://www.slf.ch/files/user_upload/SLF/Lawinenbulletin_Schneesituation/Wissen_zum_Lawinenbulletin/Interpretationshilfe/Interpretationshilfe_EN.pdf.
- Cagnati A., Valt M., Soratroi G., Gavalda J., Sellés C.G. A field method for avalanche danger-level verification // *Annals of Glaciology*. 1998. Vol. 26. P. 343–346. DOI: [10.3189/1998AoG26-1-343-346](https://doi.org/10.3189/1998AoG26-1-343-346).
- Greene E., Birkeland K., Elder K., McCammon I., Staples M., Sharaf D. *Snow, weather, and avalanches: Observation guidelines for avalanche programs in the United States*. Victor: American Avalanche Association, 2016. 105 p.
- Medeu A., Blagovechshenskiy V., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S. Interannual variability of snowiness and avalanche activity in the Ile Alatau Ridge, Northern Tien Shan // *Water*. 2022a. No. 14 (18). 2936. DOI: [10.3390/w14182936](https://doi.org/10.3390/w14182936).
- Medeu A.P., Благовещенский В.П., Жданов В.В., Ранова С.У. Применение методов математической статистики для оценки уровня лавинной опасности в горах Иле Алатау // *Метеорология и гидрология*. 2022b. № 8. С. 34–45. DOI: [10.52002/0130-2906-2022-8-34-45](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-8-34-45)
- Schweizer J., Mitterer C., Techel F., Stoffel A., Reuter B. On the relation between avalanche occurrence and avalanche danger level // *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14. Iss. 2. P. 737–750. DOI: [10.5194/tc-14-737-2020](https://doi.org/10.5194/tc-14-737-2020).
- Schweizer J., Föhn P.M.B. Avalanche forecasting – an expert system approach // *Journal of Glaciology*. 1996. Vol. 42. Iss. 141. P. 318–332. DOI: [10.3189/S0022143000004172](https://doi.org/10.3189/S0022143000004172).
- Schweizer M., Fohn P.M.B., Schweizer J. Integrating neural networks and rule based systems to build an avalanche forecasting system // *Proceedings of the IASTED International Conference "Artificial Intelligence, Expert Systems and Neuronal Networks"* (4–6 July 1994, Zurich, Switzerland). International Association of Science and Technology for Development (IASTED), IASTED Acta Press. 1994. P. 1–4.
- Geografiya lavin [Geography of Avalanches]*. Myagkov S.M., Kanaev L.A. (eds.). Moscow, Publ. of MSU, 1992. 330 p. (In Russian).
- Greene E., Birkeland K., Elder K., McCammon I., Staples M., Sharaf D. *Snow, weather, and avalanches: Observation guidelines for avalanche programs in the United States*. Victor: American Avalanche Association, 2016. 105 p.
- Dolgikh S.A., Isabekova Zh.K., Verevkin I.V., Ibraev S.E., Mukanov E.N., Amirova I.M., Ivkina N.I., Vasenina E.I., Smirnova E.Yu., Zhezdibaeva B.T. Stikhiinye gidrometeorologicheskie yavleniya, nablyudavshiesya na territorii Kazakhstana v 2020 godu [Accidental hydrometeorological phenomena observed on the territory of Kazakhstan in 2020]. *Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and ecology]*, 2021, iss. 4, pp. 53–86. (In Russian; abstract in English and Kazakh). DOI: [10.54668/2789-6323-2021-103-4-53-86](https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-103-4-53-86).
- Greene E., Birkeland K., Elder K., McCammon I., Staples M., Sharaf D. *Snow, weather, and avalanches: Observation guidelines for avalanche programs in the United States*. Victor: American Avalanche Association, 2016. 104 p.
- Kondrashov I.V. *Prognoz lavin i nekotorykh kharakteristik snezhnosti v gorakh Kazakhstana [Forecast of avalanches and some characteristics of snow cover in the mountains of Kazakhstan]*. Leningrad, Publ. Gidrometizdat, 1991. 72 p. (In Russian).
- Medeu A., Blagovechshenskiy V., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S. Interannual variability of snowiness and avalanche activity in the Ile Alatau Ridge, Northern Tien Shan. *Water*, 2022a, no. 14 (18), 2936. DOI: [10.3390/w14182936](https://doi.org/10.3390/w14182936).
- Medeu A.R., Blagovechshenskiy V.P., Zhdanov V.V., Ranova S.U. Application of mathematical statistics to assess the avalanche danger level in the Ile Alatau mountains. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2022b, vol. 47, no. 7, pp. 596–603. DOI: [10.3103/S1068373922080052](https://doi.org/10.3103/S1068373922080052). (Russ ed.: Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Zhdanov V.V., Ranova S.U. Primenenie metodov matematicheskoi statistiki dlya otsenki urovnya lavinnoi opasnosti v gorakh Ile Alatau.

Singh D., Ganju A. Expert system for prediction of avalanches // *Current science*. 2008. Vol. 94. Iss. 8. P. 1076–1081.

Techel F., Schweizer J. On using local avalanche danger level estimates for regional forecast verification // *Cold regions science and technology*. 2017. Vol. 144. P. 52–62. DOI: [10.1016/j.coldregions.2017.07.012](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.07.012).

Winkler K., Techel F. Users' rating of the Swiss avalanche forecast // *Proceedings International Snow Science Workshop (29 September – 3 October 2014, Banff, Alberta, Canada)*. P. 437–444. DOI: [10.13140/2.1.4588.9283](https://doi.org/10.13140/2.1.4588.9283).

Meteorologiya i gidrologiya, 2022, no. 8., pp. 34–45. DOI: [10.52002/0130-2906-2022-8-34-45](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-8-34-45)).

Schweizer J., Mitterer C., Techel F., Stoffel A., Reuter B. On the relation between avalanche occurrence and avalanche danger level. *The Cryosphere*, 2020, vol. 14, iss. 2, pp. 737–750. DOI: [10.5194/tc-14-737-2020](https://doi.org/10.5194/tc-14-737-2020).

Schweizer J., Föhn P.M.B. Avalanche forecasting – an expert system approach. *Journal of Glaciology*, 1996, vol. 42, iss. 141, pp. 318–332. DOI: [10.3189/S0022143000004172](https://doi.org/10.3189/S0022143000004172).

Schweizer M., Föhn P.M.B., Schweizer J. Integrating neural networks and rule based systems to build an avalanche forecasting system. *Proceedings of the IASTED International Conference "Artificial Intelligence, Expert Systems and Neuronal Networks" (4–6 July 1994, Zurich, Switzerland)*. International Association of Science and Technology for Development (IASTED), IASTED Acta Press. 1994. P. 1–4.

Singh D., Ganju A. Expert system for prediction of avalanches. *Current science*, 2008, vol. 94, iss. 8, pp. 1076–1081.

Techel F., Schweizer J. On using local avalanche danger level estimates for regional forecast verification. *Cold regions science and technology*, 2017, vol. 144, pp. 52–62. DOI: [10.1016/j.coldregions.2017.07.012](https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.07.012).

Winkler K., Techel F. Users' rating of the Swiss avalanche forecast. *Proceedings International Snow Science Workshop (29 September – 3 October 2014, Banff, Alberta, Canada)*, pp. 437–444. DOI: [10.13140/2.1.4588.9283](https://doi.org/10.13140/2.1.4588.9283).