

А.Р. Медеу,  **В.П. Благовещенский,**  **В.В. Жданов*** 

Институт географии и водной безопасности, Казахстан, г. Алматы,

*e-mail: Zhdanovvitaliy@yandex.ru

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА УРОВНЯ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ В ГОРАХ ИЛЕ АЛАТАУ

Прогнозы лавинной опасности имеют большое значение для обеспечения безопасности населения и туристов в горных районах. Все методы прогноза снежных лавин, применяемые в работе снеголавинной службы Казахстана, были разработаны в 80-е годы XX века. Они нуждаются в существенной модернизации. В лаборатории природных опасностей Института географии и водной безопасности ведутся работы по изучению передовых научных методов по оценке и прогнозированию лавинной опасности. В зимний период с декабря 2020 по апрель 2021 года был проведен эксперимент по оценке уровня лавинной опасности в окрестностях города Алматы и выпуску еженедельного снеголавинного бюллетеня. Основная задача проекта – адаптировать опыт Швейцарского института снега и лавин (SLF) для условий Казахстана. В процессе работы анализировалась метеорологическая информация, поступающая с метеорологических станций международного обмена. Уровень лавинной опасности оценивался по международной пятибалльной шкале. Экспертная оценка осуществлялась с учетом рекомендаций института SLF. Для облегчения работы прогнозиста была разработана автоматическая экспертная система с применением нейросетевых технологий. Нейронная сеть обучалась на многолетних данных о снеголавинной обстановке в бассейне реки Киши Алматы. Для увеличения заблаговременности снеголавинных предупреждений использовались прогнозы погоды европейского центра (EC-MWF). Результаты оценки уровня лавинной опасности публиковались еженедельно на сайте Института географии и водной безопасности, а также в социальной сети Telegram. Этот метод рекомендуется использовать в оперативной работе РГП «Казгидромет» и ГУ «Казселезашита».

Ключевые слова: лавинная опасность, математические модели прогноза погоды, международная шкала лавинной опасности, снежные лавины, снеголавинный бюллетень, экспертная оценка.

A.R. Medeu, V.P. Blagovechshenskiy, V.V. Zhdanov*

Institute of Geography and Water Safety, Kazakhstan, Almaty,

*e-mail: Zhdanovvitaliy@yandex.ru

Innovative technologies for assessing and forecasting the avalanche danger level in the Ile Alatau mountains

Avalanche danger forecasts are of great importance for ensuring the safety of residents and tourists in mountainous areas. All methods for forecasting snow avalanches used in the work of the snow avalanche service in Kazakhstan were developed in the 80s of the XX century. They are in need of significant modernization. In the laboratory of natural hazards of the Institute of Geography and Water Safety, work is underway to study advanced scientific methods for assessing and forecasting avalanche danger. In the winter period from December 2020 to April 2021, an experiment was carried out to assess the level of avalanche danger in the vicinity of the city of Almaty and to issue a weekly avalanche bulletin. The main objective of the project is to adapt the experience of the Swiss Institute for Snow and Avalanches (SLF) for the conditions of Kazakhstan. In the course of work, the meteorological information received from meteorological stations of international exchange was analyzed. The level of avalanche danger was assessed on an international five-point scale. The expert assessment was carried out taking into account the recommendations of the SLF institute and a specially trained neural network. European Center Weather Forecast Mathematical Models (ECMWF) were used to increase the lead time of avalanche warnings. The results of the assessment of the level of avalanche danger were published as a weekly avalanche bulletin on the website of the Institute of Geography and Water Safety, as well as on the Telegram social network.. This method is recommended to be used in the operational work of the Kazhydromet and the Kazselezashchita.

Key words: avalanche danger, avalanche bulletin, expert assessment, international scale of avalanche danger, mathematical models of weather forecast, snow avalanches.

А.Р. Медеу, В.П. Благовещенский, В.В. Жданов*
География және су қауіпсіздігі институты, Қазақстан, Алматы қ.,
*e-mail: Zhdanovvitaliy@yandex.ru

Іле Алатауы тауларындағы көшкін қаупінің деңгейін бағалау мен болжаудың инновациялық технологиялары

Көшкін қаупінің болжамдарын жасау – таулы аудандардағы тұрғындар мен туристердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін үлкен маңызға ие. Қазақстанның қар көшкіні қызметінің жұмысында қолданылатын қар көшкінін болжаудың барлық әдістері ХХ ғасырдың 80-ші жылдары әзірленді. Олар елеулі жаңғыртуды қажет етеді. География және су қауіпсіздігі институтының табиғи қауіптер зертханасында таудағы көшкін қаупін бағалау және болжау бойынша алдыңғы қатарлы ғылыми әдістерді зерттеу жұмыстары жүргізілуде. 2020 жылғы желтоқсаннан 2021 жылғы сәуірге дейінгі қысқы кезеңде Алматы қаласының маңында көшкін қаупінің деңгейін бағалау және қар көшкінінің апта сайынғы бюллетенін шығару бойынша эксперимент жүргізілді. Жобаның негізгі міндеті – Швейцария қар және қар көшкіні институтының (SLF) тәжірибесін Қазақстанның жағдайына бейімдеу. Жұмыс барысында халықаралық алмасу бойынша метеорологиялық станциялардан келетін метеорологиялық ақпарат талданды. Көшкін қаупінің деңгейі халықаралық бес балдық шкала бойынша бағаланады. Эксперттік бағалау SLF институтының ұсыныстарын ескере отырып жүзеге асырылды. Болжам жасаушының жұмысын жеңілдету үшін нейрондық желі технологияларын қолдана отырып, автоматты сараптама жүйесі құрылды. Нейрондық желі Кіші Алматы өзені бассейніндегі қар көшкіні туралы көпжылдық мәліметтерді қолдана отырып жасалды. Қар көшкіні туралы ескертулердің ұзақтығын арттыру үшін Еуропалық орталықтың (ECMWF) ауа-райы болжамдары қолданылды. Көшкін қаупінің деңгейін бағалау нәтижелері апта сайын география және су қауіпсіздігі институтының сайтында, сондай-ақ Telegram әлеуметтік желісінде жарияланды. Бұл әдісті «Қазгидромет» РМК және «Қазселденқорғау» ММ жедел жұмыстарында пайдалану ұсынылады.

Түйін сөздер: көшкін қаупі, ауа-райын болжаудың математикалық модельдері, көшкін қаупінің халықаралық шкаласы, қар көшкіні, қар көшкіні бюллетені, эксперттік бағалау.

Введение

Оценка и прогнозирование уровня лавинной опасности является самым распространенным способом защиты от лавин в Казахстане. На основании предупреждений о лавинной опасности, выдаваемых Казгидрометом, осуществляется SMS-оповещение населения и проведение защитных мероприятий: закрытие автодорог, ограничение доступа туристов в опасную зону, профилактические спуски лавин. От качества снеголавинных прогнозов зависит безопасность населения и туристов. Большое значение имеет оправдываемость этих предупреждений. Необоснованные предупреждения приводят к экономическим потерям и недоверию населения к прогнозам лавин.

В окрестностях города Алматы расположены популярные туристские объекты: каток «Медеу», горнолыжный комплекс «Шымбулак», альпинистский лагерь «Туюксу», озеро Улкен Алматы. Этот район ежегодно посещают множество жителей города и туристов. Но в лавиноопасный период с ноября по май здесь происходят несчастные случаи, связанные со сходом снежных лавин. Несмотря на то, что многие объекты защищены инженерными противолавинными сооружениями, туристы и отдыхающие попадают в лавины. За период 1951-2020 гг. в Казахста-

не произошло 95 несчастных случаев, связанных с лавинами. Погибло 95 и пострадало 93 человека. Из них 81% (74 несчастных случая) произошли в горах Иле Алатау. Для предотвращения несчастных случаев необходимо регулярно проводить профилактическую работу и информировать население о текущем уровне лавинной опасности в горах.

В течение ряда лет в Институте географии и водной безопасности МОН РК ведется работа по оценке и прогнозированию уровня лавинной опасности. Результаты работы публиковались в научных статьях (Благовещенский, Жданов, 2019: 178-191).

В зимний период 2020-2021 годов Институт географии и водной безопасности впервые в Казахстане начал выпускать снеголавинный бюллетень, доступный широкому кругу населения. В бюллетене публикуются результаты оценки текущего уровня лавинной опасности и прогноз на ближайшие дни.

Цель и задача исследований

Целью исследований является адаптация мирового опыта по оценке уровня лавинной опасности для условий Казахстана. В процессе 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 лавинной опасности, рекомендованный Швейцарским институтом снега и лавин (SLF).

Проверить работоспособность и точность искусственной нейронной сети, 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.

Мировой опыт оценки и прогнозирования лавинной опасности

Снеголавинные предупреждения составляются во многих странах мира, где есть угроза схода снежных лавин: страны Северной Америки, Скандинавии, Европейские Альпийские регионы. Для составления прогнозов используются материалы наблюдений на метеорологических станциях Всемирной Метеорологической организации (WMO), специализированные наблюдения на снеголавинных станциях, а также сведения, поступающие от горных гидов и лыжных патрульных (Avalanche Bulletin Interpretation Guide. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF: 25).

Информация об ожидаемом сходе снежных лавин доводится до потребителей по двум каналам – профессиональному и любительскому. Первый канал передачи информации предназначен для спасательных служб. Второй – для населения и туристов. Существуют два типа прогнозов: вероятностные и альтернативные. В странах бывшего СССР принято предавать экстренные сообщения в альтернативной (категорической) форме, когда ожидается опасное явление без указания вероятности. В остальных странах прогнозы опасных явлений выдают в вероятностной форме. Для прогноза лавин существует международная пятибалльная шкала опасности, разработанная в институте SLF (European Avalanche Danger Scale (link)). Самый удобный способ отображения информации – это снеголавинный бюллетень. Отличие снеголавинного бюллетеня от предупреждения заключается в подробной информации о погодных условиях и лавинной опасности. Обычно бюллетень составля-

ется вместе с лавинным предупреждением, где потребитель прогноза могут узнать более детальную информацию. Это увеличивает доверие к лавинному предупреждению. Образцы лавинных бюллетеней из Швейцарии и России приведены на рисунке 1 (URL: <https://snowsense.ru>, URL: <https://SLF.ch>).

В Казахстане в настоящее время детальные снеголавинные прогнозы не составляют. Снеголавинные станции РГП «Казгидромет» передают в МЧС справку о состоянии снега в горах и рекомендации о проведении профилактических спусков лавин. Для населения передается только «Штормовое предупреждение», без объяснения причин и указания конкретной информации о лавинной опасности (Колесников, 2003: 43). Это соответственно вызывает недоверие к прогнозам, особенно если происходит необоснованное закрытие туристических объектов.

Описание эксперимента

Сбор и обработка информации о снежных лавинах и погодных условиях. Для оценки и прогнозирования лавинной опасности собиралась текущая метеорологическая информация со станций международного обмена. Метеорологические данные представлялись в международном коде KN-01 SYNOP (URL: <http://www.rp5.ru>). Информация о сходе снежных лавин поступала от работников снеголавинных станций, лыжных патрульных, сотрудников Института географии и водной безопасности, туристов и альпинистов. Информация о состоянии снежного покрова собиралась в ходе полевых обследований, проводимых сотрудниками Института географии и водной безопасности.

Список метеорологических станций, используемых для оценки погодных условий:

- Мынжылки, 3000 м н.у.м, индекс 36889,
- Озеро Улкен Алматы, 2500 м н.у.м, индекс 36879,
- Шымбулак, 2200 м н.у.м, индекс 36873,
- Каменское Плато, 1300 м н.у.м, индекс 36875.

Метеорологические параметры, используемые для оценки уровня лавинной опасности:

- Суточное количество осадков в 9.00, мм,
- Сумма осадков за предыдущие 3 суток, мм,
- Высота снежного покрова в 9.00, см,
- Водность снежного покрова, 9.00, мм.
- Максимальная суточная температура воздуха, °С
- Сумма максимальных температур воздуха за предыдущие 3 суток, °С

а). Бюллетень (Швейцария)



б). Бюллетень (Россия)



Рисунок 1 – Образцы снеголавинных бюллетеней разных стран
 (а) – бюллетень Швейцарского института снега и лавин SLF,
 (б) – бюллетень Российского противолавинного центра г. Кировск

Параметры снежного покрова, используемые для оценки уровня лавинной опасности:

- Наличие слабого слоя в снежной толще, определяемое с помощью тестов на сжатие (Compression test) по рекомендациям Северо-Американской лавинной ассоциации.
- Наличие признаков неустойчивости, по рекомендациям Швейцарского института изучения снега и лавин (SLF).

Математические модели прогноза погоды. В настоящее время на СЛС используются статистические методы прогноза лавин, которые относятся к методам классификации текущей снеголавинной обстановки. Они обладают нулевой заблаговременностью. Такие методы прогноза получили современное название «тренд-прогноз» или «нау-кастинг». Решить проблему увеличения заблаговременности возможно с применением современных моделей численного прогноза погоды (Нас-

тавление по глобальной системе обработки данных и прогнозирования, 2017: 134, Толстых, 2017: 167).

Современные среднесрочные прогнозы составляются в мировых центрах прогнозирования и распространяются бесплатно для стран – членов Всемирной метеорологической организации (WMO). Модель способна спрогнозировать основные метеорологические параметры: температура воздуха, давление, влажность, ветер. Модели подразделяются на глобальные, региональные и национальные. Самые популярные и совершенные глобальные математические модели прогноза: это GFS (г. Вашингтон – США) и ECMWF (г. Реддинг – Великобритания). Популярностью пользуются и региональные модели, например, от «Росгидромета» или Чешский сайт (URL: <http://www.windy.com>). Статистическая точность краткосрочных прогнозов (1-3 дня): 80 % при прогнозе осадков и 90 % при прогнозе температуры

воздуха. Результаты глобальных прогностических моделей – это прогностические карты основных

метеорологических параметров, изображенные на рисунке 2 (URL: <https://meteocenter.asia>).

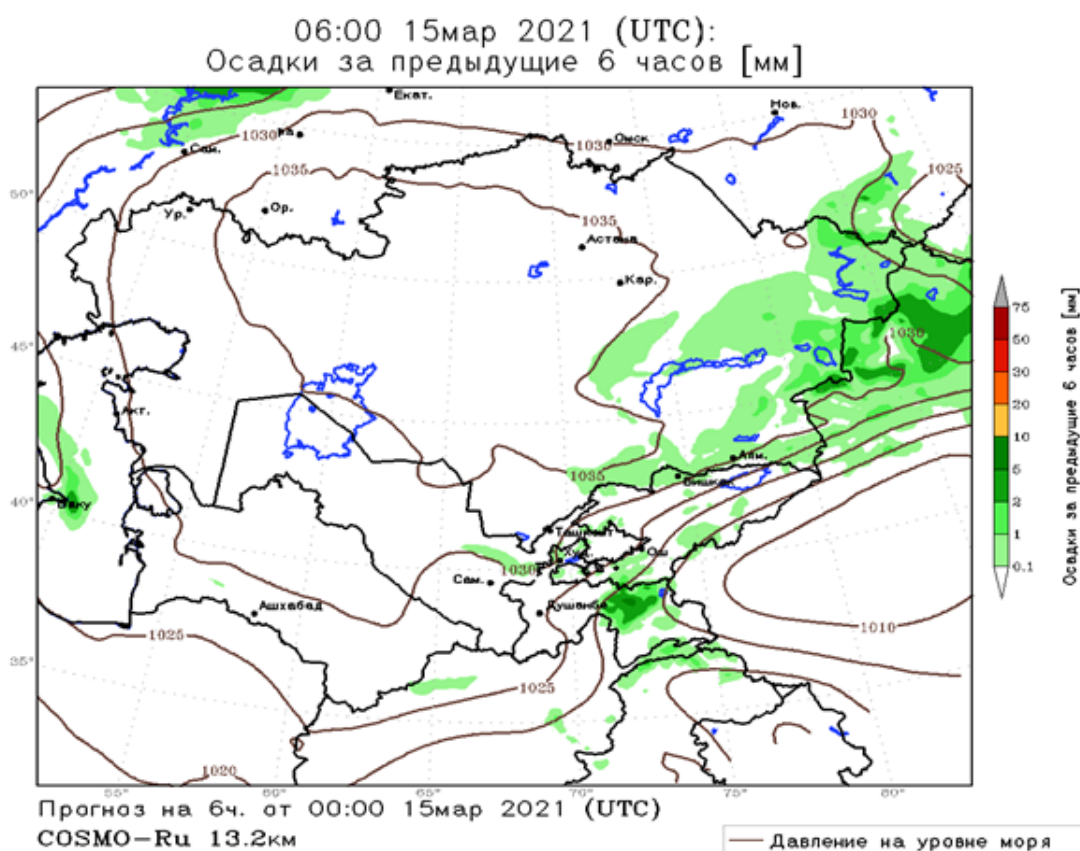


Рисунок 2 – Прогностическая карта погоды. Результат модели прогноза COSMO (Россия)

Экспертная оценка уровня лавинной опасности. Экспертная оценка уровней лавинной опасности проводилась в районе снеговальной станции «Шымбулак». При этом применялась методика, рекомендованная специалистами из Швейцарского института изучения снега и лавин (Observation Guidelines and Recording Standards for Weather, Snowpack and Avalanches, 2014: 109, SNOW, WEATHER, AND AVALANCHES, 2016: 104). Исторические сведения о сходе снежных лавин были разделены на периоды с различным уровнем лавинной опасности. Каждому периоду со сходом снежных лавин был присвоен уровень лавинной опасности по международной пятибалльной шкале.

Метод экспертной оценки, разработанный в институте SLF, в настоящее время применяется при оценке и прогнозировании лавинной опасности по всему миру. Он подробно описан в серии научных работ и публикуется на сайте SLF (Jürg Schweizer, 2017:119-125, Jürg Schweizer, 2020: 3503-3521). При определении уровня лавинной опасности учитываются основные факторы лавинообразования – погодные условия и устойчивость снежного покрова на склонах. С увеличением уровня лавинной опасности растет вероятность схода крупных лавин и увеличивается риск для объектов и населения в лавинопасной зоне. Краткое описание лавинопасных ситуаций приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Описание лавиноопасной ситуации при различных уровнях опасности

Уровень лавинной опасности	Описание лавиноопасной ситуации
Низкий	Лавинная опасность отсутствует. Ситуация сохраняется в течение большей части зимнего сезона ноябрь-январь. В малоснежные зимы может отмечаться даже в конце зимы и весной. Снежный покров в пределах 20-30 см на склонах залегаёт устойчиво. Однако даже при первой степени лавинной опасности возможен сход лавин на крутых склонах в гляциальной зоне. Провоцирование лавин возможно при профилактических спусках.
Умеренный	Умеренный уровень опасности наблюдается в конце зимы и весной в период снеготаяния. В этот длительный период сход самопроизвольных лавин маловероятен, но существует опасность провоцирования лавин. Также периоды «желтой» лавинной опасности отмечаются в начале и середине зимы после снегопадов в течение нескольких дней. Желтый уровень опасности связан с неустойчивым состоянием снежного покрова. Неустойчивость определяется с помощью различных методов тестирования снежного пласта.
Значительный	Значительная лавинная опасность отмечается в начале зимы после сильных снегопадов. Пока еще на склонах недостаточно снеготаяния для схода крупных лавин. В это время сходят отдельные лавины из свежеснежного покрова. В период снеготаяния март-апрель в дни с «оранжевым» уровнем опасности наблюдается сход отдельных мокрых лавин в периоды оттепели. В среднем в год отмечается 1-2 недели со значительной лавинной опасностью.
Высокий	Высокий уровень лавинной опасности отмечается во время сухих снегопадов зимой и при выпадении сильных осадков весной. Когда выпадает 30-40 см снега при сплошном старом снежном покрове. В это время регистрируется массовый сход лавин. В весеннее время осадки часто выпадают на фоне оттепели. Периоды высокой лавинной опасности отмечаются 1-3 раза за лавиноопасный период. Опасность обычно сохраняется в течение 2-3 дней подряд.
Экстремальный	Самый опасный период отмечается при выпадении очень сильных осадков (более 40 см). Наблюдается в конце зимы или начале весны, при максимальных снеготаяниях на склонах. В это время происходит сход катастрофических лавин, угрожающих людям и объектам. «Красный» уровень опасности отмечается раз в 5-10 лет в многоснежные зимы и может сохраняться 1-3 дня.

Машинное обучение и искусственные нейронные сети. В настоящее время программы искусственного интеллекта (ИИ) используются во многих областях науки и техники (Боровиков, 2003: 688, Боровиков 2008: 392). В метеорологии и гидрологии ИИ способен решать задачи математической статистики: классификация, регрессия, прогноз временных рядов. Научное обоснование применения ИИ в прогнозе лавин дали специалисты из Швейцарского института снега и лавин в 90-х годах XX-го века.

Для составления снеголавинных прогнозов широко используются статистические методы. Большинство существующих методов прогноза лавин – это разделение метеорологических параметров на два класса: лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций. На практике используется графический метод разделения. Искусственные нейронные сети (ИНС) справляются с подобными задачами. Даже бесплатный учебный нейросимулятор способен класси-

фицировать лавиноопасные ситуации и облегчать работу прогнозиста лавинщика.

Существуют нейросетевые приложения от известных производителей компьютерных программ: MathCad, Statistica, Microsoft Excel. Также существуют бесплатные учебные симуляторы ИНС. В нашей работе использовался нейросимулятор Ясницкого и Черепанова из Пермского госуниверситета (Черепанов, 2011: 137-139, Черепанов, 2013: 107-109). Программа работает в трех режимах: обучение, тестирование, прогнозирование (URL: <http://www.LbAI.ru>). Алгоритм работы с экспертной автоматизированной системой приведен на рисунке 3.

Достоинство метода машинного обучения – это возможность автоматизации работы инженера-прогнозиста. Недостаток – это зависимость от качества архивных данных, которые использовались для обучения ИНС. Для хорошей работы модели необходимы достоверные данные. Данные, обрабатываемые ИНС, приведены в таблице 2.

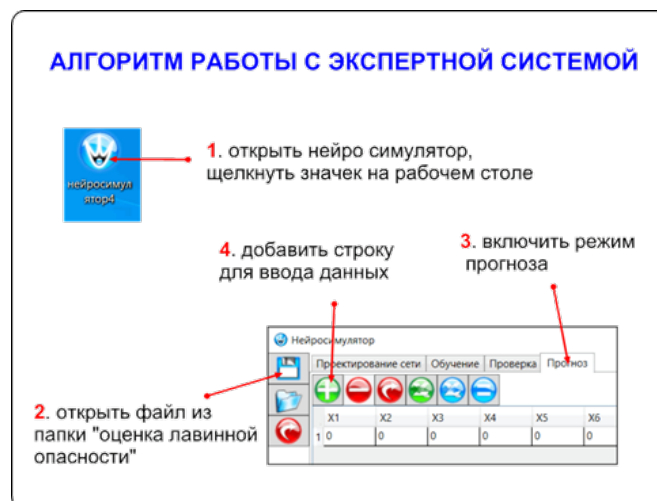


Рисунок 3 – Алгоритм работы с автоматизированной экспертной системой, основанной на нейросимуляторе Ясницкого и Черепанова

Таблица 2 – Метеорологические критерии для присвоения уровня лавинной опасности

Переменная	Значение переменной
Входные переменные (сигналы)	
X1	Количество осадков за снегопад, мм
X2	Высота снега перед началом снегопада, см
X3	Прирост снега за снегопад, см
X4	Интенсивность осадков, мм/ч
X5	Максимальная T воздуха, °C
X6	Сумма max T воздуха, °C
X7	Водность снега в день проведения оценки опасности, мм
X8	Коэффициент устойчивости в день проведения оценки
Результат работы ИНС (выходной сигнал)	
Y1	Уровень лавинной опасности по международной шкале от 1 до 5 баллов

Выпуск экспериментального снеголавиного бюллетеня. Результаты оценки и прогнозирования уровня лавинной опасности еженедельно публиковались в виде снеголавиного бюллетеня (URL: <http://www.ingeo.kz>) на гугл-диске по ссылке: <https://drive.google.com/drive/folders/1Aa3QofePBNYCLM0fPAdezZy0UsBvCwOu>. В нем указывалось краткое описание снеголавиной обстановки в горах, прогноз погоды и лавинной опасности на ближайшие выходные. Бюллетень показан на рисунке 4.

Обсуждение результатов

Всего за зимний период с 1 декабря 2020 года по 30 апреля 2021 года было отмечено семь

лавиноопасных периодов: 23.01.2021г. – значительный «оранжевый» уровень опасности, 10-13.02.2021г. – высокий «красный» уровень опасности, 05-08.03.2021г. – значительный «оранжевый» уровень опасности, 11.03.2021г. – высокий «красный» уровень опасности, 26.03-04.04.2021г. – значительный «оранжевый» уровень опасности, 9-12.04.2021г. – значительный «оранжевый» уровень опасности и 22-25.04.2021г. – значительный «оранжевый» уровень опасности.

Первый лавиноопасный период 23 января был вызван снегопадом. Выпало 12 мм осадков, прирост снега составил 20 см. Из-за небольшой высоты старого снега (30 см на метеоплощадке СЛС Шымбулак) отмечался только сход отдельных лавин объемами до 1000 м³. В этот период

а). Бюллетень (страница 1)

б). Бюллетень (страница 2)



Рисунок 4 – Экспериментальный снеголавиновый бюллетень Института географии и водной безопасности. а – страница 1 (обзор снеголавиновой обстановки), б – страница 2 (карта-схема лавинной опасности в окрестностях г. Алматы)

уровень опасности был оценен как значительный «оранжевый». После обследования лавин правильность оценки подтвердилась.

Второй лавиноопасный период 10-13 февраля был вызван сильными смешанными осадками на фоне оттепели. Количество осадков на СЛС Шымбулак составило 30,5 мм, а прирост влажного снега – всего 8 см. Но из-за большого увеличения водности снега и наличия слабых слоев отмечался массовый сход лавин средних и крупных размеров. Максимальные объемы лавин превышали 10 тыс. м³. Уровень опасности был оценен как высокий «красный», оценка подтверждается лавиноопасной обстановкой в горах.

Третий лавиноопасный период 5 марта так же был вызван выпадением сильных осадков на фоне оттепели. Количество осадков на СЛС Шымбулак составило 22,5 мм, а прирост влажного снега – 27 см. Однако после сильного похолодания в снежном покрове сформировались прочные снежные корки, которые увеличивают устойчивость снега и осложняют оценку уровня опасности. Уровень опасности был ошибоч-

но оценен как высокий «красный». В горах отмечался только сход отдельных снежных лавин объемами 300-500 м³. После обследования сошедших лавин итоговая оценка опасности была исправлена на значительную «оранжевую».

Четвертый лавиноопасный период 11 марта был вызван сильными осадками. Выпало 10-19 мм осадков, прирост снега составил более 10-15 см. Сначала было выдано предупреждение о четвертом высоком уровне опасности. Однако в дальнейшем уровень опасности был понижен. Отмечался сход небольших отдельных снежных лавин.

Пятый лавиноопасный период начался 26 марта и закончился 26 апреля. В это время в горах отмечалось выпадение сильных осадков на фоне оттепели. Количество осадков достигало 20 мм. А максимальная температура воздуха – 12°C. В горах отмечался массовый сход снежных лавин. Крупнейшие из них достигали объема несколько тысяч кубических метров. Сведений о жертвах и ущербе не поступало. В течение двух дней сохранялся четвертый высокий уровень опасности, остальные дни третий значительный уровень.

В течение апреля отмечались еще два лавиноопасных периода: 9-12 и 22-25 числа. Они были вызваны интенсивной оттепелью и потерей устойчивости снега на склонах. Но массового схода крупных лавин уже не регистрировалось. Отмечались только отдельные небольшие лавины.

Также за зимний период в связи с выпадением осадков и интенсивной оттепелью два раза уровень опасности повышался до значительного «оранжевого». В эти периоды схода лавин не отмечалось. Если оценивать данные прогнозы по методике Багрова-Обухова, то придется записывать ошибку, так как прогноз не подтверждается наличием опасного явления погоды. Но подобный метод не рекомендуется для оценки вероятностных прогнозов опасного явления.

Оценка точности модели. Для объективной оценки результатов эксперимента была выполнена оценка точности прогнозирования лавинной опасности. Для этого использовались методы, применяемые в СНГ и статистические критерии, рекомендованные SLF (Наставление по службе прогнозов погоды, 2006: 28, Jürg Schweizer, 2020: 3503-3521).

В прогностических центрах стран СНГ принято составлять прогнозы стихийных явлений в категорической форме. Допускается формули-

ровка ДА или НЕТ без указания вероятности! Оправдываемость (надежность) прогностической модели оценивается как отношение:

$$O = (P_c / P_o) * 100 \%$$

где: O – общая оправдываемость прогнозов,
P_c – Число сбывшихся прогнозов,
P_o – общее число прогнозов.

Критерий Багрова-Обухова – это отношение оправдавшихся предупреждений опасного явления погоды к общему числу таких предупреждений. При значении критерия выше 0,33 штормовые предупреждения считаются качественными (Наставление по службе прогнозов погоды, 2006: 28).

В мировых центрах прогнозирования лавин составляются вероятностные прогнозы по пятибалльной шкале, поэтому метод оценки точности модели в процентах считается не очень точным. Для этого необходимо накопить статистические данные за несколько лет. Для оценки вероятностных прогнозов за короткий период (100 дней) рекомендуется использовать статистические критерии Вилкоксона-Манна-Уитни (Боровиков 2008: 392).

Результаты оценки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты оценки качества прогнозов лавинной опасности методом Багрова-Обухова

Вид прогноза	Прогноз лавиноопасно, дни	Факт схода лавин, дни	Всего прогнозов, дни	Ошибочные прогнозы, дни	Точные прогнозы, дни	Общая оправдываемость, %	Критерий Багрова Обухова
Альтернативные прогнозы: Лавиноопасно-нелавиноопасно	14	6	98	10	88	89,8	0,43
Вероятностные прогнозы с применением 5-балльной шкалы	14	6	98	20	78	79,6	0,43

Из таблицы 3 видно, что общая оправдываемость альтернативных прогнозов была около 90%, а вероятностных – около 80 %. Точность экспериментальной модели близка к точности прогноза лавин в большинстве мировых лавинных центров (Jürg Schweizer, 2020: 3503-3521). Для первых результатов эксперимента это неплохие показатели.

Для оценки точности прогностических моделей в настоящее время применяется критерий

Вилкоксона-Манна-Уитни (W). Это непараметрический статистический критерий, предназначенный для установления зависимости между двумя зависимыми выборками. Он разработан специально для оценки результатов экспериментов с ограниченным числом наблюдений (меньше 100). При расчёте критерия оценивается разница в парных наблюдениях, которая ранжируется от большего к меньшему. Критерий W рассчитывается статистической программой Statistica 10.0,

от компании StatSoft (Боровиков, 2003: 688). Программа сравнивает его с табличным значением. При значении критерия выше табличных величин принимается нулевая гипотеза: существует тесная статистическая связь между группами переменных. Вероятность ошибки расчета оценивается параметром *p-level*. Результаты проверки качества

снеголавинных прогнозов приведены в таблице 4. Рассчитанные критерии оказались статистически значимыми на 5 % уровне значимости. Это говорит о тесной связи между оценочным и фактическим уровнем лавинной опасности, и подтверждает правильность экспертной оценки уровня лавинной опасности.

Таблица 4 – Результаты оценки качества прогнозов лавинной опасности по критерию Вилкоксона-Манна-Уитни

Статистическая зависимость между результатами эксперимента:	Количество рангов (различий между парными наблюдениями) - n	Критерий Вилкоксона-Манна-Уитни		p-level – (вероятность ошибки)
		T – значение критерия при $n \leq 25$	Z – значение критерия при $n >$	
Результат работы ИНС и фактическим уровнем ЛО	32	99,00000	3,085325	0,002033
Оценка уровня ЛО с помощью ИНС и экспертной оценкой	34	0,00	5,086213	0,000000
Экспертная и фактическая оценка уровня ЛО	14	0,00	3,295765	0,000982

Качество экспериментальной модели прогноза было оценено двумя различными методами. Оба метода показали точность модели 80-90 % и статистическую зависимость фактических и прогностических результатов. Это говорит о возможности дальнейшего применения новых технологий прогноза в практической работе снеголавинной службы Казахстана.

Выводы

В результате проведения эксперимента была проведена работа по адаптации международного опыта оценки и прогнозирования уровня лавинной опасности к условиям Казахстана. Были определены преимущества и недостатки предлагаемого метода в окрестностях города Алматы. Выделены несколько перспективных направлений в развитии технологии составления снеголавинных прогнозов. Ошибки при оценке уровня опасности немного ни-

же чем в работе лавинных центров. По результатам работы составлены учебные и методические пособия, которые помогут при внедрении новых методов прогноза лавин в оперативную работу РГП «Казгидромет» и ГУ «Казселезащита». Внедрение новых технологий повысит качество снеголавинных предупреждений. Качественный прогноз увеличит доверие населения к штормовым предупреждениям о лавинной опасности и уменьшит экономические потери от простоя туристических объектов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам снеголавинных станций, лыжным патрульным и волонтерам, помогавшим в сборе снеголавинной информации.

Исследования профинансированы Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант AP09260155).

Литература

- Благовещенский В.П., Жданов В.В. Опыт оценки и прогноза лавинной опасности в Швейцарии // Гидрометеорология и экология. – 2019. – № 1. – С. 178-191.
- Боровиков В.П. Искусство анализа данных на компьютере. – Издание 2-е. – М.: Питер, 2003. – 688 с.
- Методические указания по прогнозированию лавин и снеголавинному обеспечению в Казахстане / Под ред. Е.И. Колесникова. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2003. – 43 с.
- Наставление по службе прогнозов погоды. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2006. – 28 с.
- Наставление по глобальной системе обработки данных и прогнозирования. Дополнение к 4 техническому регламенту ВМО / Бюллетень ВМО № 485. – 2017. – 134 с.

Нейронные сети: методология и технологии современного анализа данных / Под ред. В.П. Боровикова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 392 с.

Толстых М.А. и соавторы. Система моделирования атмосферы для бесшовного прогноза. – М., 2017. – 167 с.

Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Исследовательский симулятор нейронных сетей // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации: материалы Пятой Всероссийской конференции, Москва, МГТУ МИРЭА, 9-11 ноября 2011 г. – М.: Радио и Связь, 2011. – С. 137-139.

Черепанов Ф.М. Исследовательский симулятор нейронных сетей, обзор его приложений и возможности применения для создания системы диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: www.science-education.ru/107-8392

Avalanche Bulletin Interpretation Guide. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. 16th revised edition. – WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. – 50 p.

European Avalanche Danger Scale (link) URL:http://www.avalanches.org/eaws/en/main_layer.php?layer=basics&id=2

Observation Guidelines and Recording Standards for Weather, Snowpack and Avalanches. – Canadian Avalanche Association, 2014. – 109 p.

Jürg Schweizer. On using local avalanche danger level estimates for regional forecast verification / Cold Reg. Sci. ... Technol., 62(2-3). – 2017. – P. 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.07.012>

Jürg Schweizer, Christoph Mitterer, Benjamin Reuter, Frank Techel. Avalanche danger level characteristics from field observations of snow instability / Cryosphere, № 14, 2020. – P. 3503-3521. <https://doi.org/10.5194/tc-14-3503-2020>

SNOW, WEATHER, AND AVALANCHES: Observation Guidelines for Avalanche Programs in the United States. – American Avalanche Association, 2016. – 104 p.

URL: <http://www.ingeo.kz/?services=бюллетень-уровня-лавинной-опасности> [Электрон. ресурс] (Сайт Института географии и водной безопасности, уровень лавинной опасности).

URL: <http://www.LbAI.ru> [Электрон. ресурс] (Пермская школа искусственного интеллекта).

URL: <https://meteocenter.asia> [Электрон. ресурс] (Прогностические карты для стран Средней Азии).

URL: <http://www.rp5.ru> [Электрон. ресурс] (Метеоинформация со станций международного обмена в коде КН-01).

URL: <https://snowsense.ru> [Электрон. ресурс] (Образовательный центр лавинной безопасности, г. Кировск, Россия).

URL: <https://SLF.ch> [Электрон. ресурс] (Сайт Швейцарского института снега и лавин SLF, г. Давос).

URL: <http://www.windy.com> [Электрон. ресурс] (Прогностические карты погоды для всего мира, результат численных моделей прогноза).

Reference

blagoveschenskiy V.P., Zhdanov V.V. (2019) Opyt ocenki i prognoza lavin v Shveytsarii [Experience in assessing and forecasting avalanche hazard in Switzerland]. Hydrometeorology and ecology. No. 1. P. 178-191. (in Russian).

Borovikov V. P. (2003) Iskustvo analiza dannyh na computere [Art of the analysis of data on the computer]. Edition 2. Moscow: Publishing House «St. Petersburg», p. 688. (in Russian).

Metodicheskie ukazaniya po prognozirovaniy lavin i lavinnomu obespecheniy v Kazahstane [Guidelines for avalanche forecasting and snow avalanche support in Kazakhstan] (2003) / Ed. E.I. Kolesnikova Almaty: Publishing House “Kazakhstan meteo service”, 43 p. (in Russian).

Nastavlenie po sluzhbe prognozov pogody [Manual for the service of weather forecasts]. (2006) Almaty: Publishing House “Kazakhstan meteo service”, 28 p. (in Russian).

Nastavlenie po globalnoy sisteme obrabotki dannyh i prognozirovaniy [Manual on the global data processing and forecasting system]. (2017) Supplement to 4 WMO technical regulations / WMO Bulletin No. 485. 134 p. (in Russian).

Neuronnye seti: metodologiy i tehnologiy sovremennogo analiza dannyh [Neural networks: methodology and technologies of the modern analysis of data] (2008) / Under the editorship of V.P. Borovikov. Moscow: Publishing House “Hot line-Telecom”, 392. (in Russian).

Tolstykh M.A. and coauthors. (2017) Sistema modelirovaniy atmosfery dly besshovnogo prognoza [Atmosphere modeling system for seamless forecasting]. Moscow, 167 p. (in Russian).

Cherepanov F.M., Yasnitsky L.N. (2011) Issledovatel'skiy simulaytor neyronnih setey [Survey simulator of neural networks] // Artificial intelligence: philosophy, methodology, innovations: materials of the Fifth All-Russian conference, Moscow, MGTU of MIREA, on November 9-11, 2011. Moscow: Publishing House “Radio and Communication”, P. 137-139. (in Russian).

Cherepanov F.M. (2013) Issledovatel'skiy simulaytor neyronnih setey: obzor ego prilozheniy i vozmozhnosti primeneniya dly sozdaniy sistemy diagnostiki zabolevaniy serdechnososudistoy sistemy [Survey simulator of neural networks, review of its appendices and possibility of application for creation of system of diagnosis of diseases of cardiovascular system] // Modern problems of science and education, URL: www.science-education.ru/107-8392. (in Russian).

Avalanche Bulletin Interpretation Guide WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. 16th revised edition. – WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. 50 p.

Jürg Schweizer. (2017) On using local avalanche danger level estimates for regional forecast verification / Cold Reg. Sci. ... Technol., 62(2-3), P 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.07.012>

European Avalanche Danger Scale (link) URL:http://www.avalanches.org/eaws/en/main_layer.php?layer=basics&id=2

Observation Guidelines and Recording Standards for Weather, Snowpack and Avalanches. (2014) Canadian Avalanche Association, 109 p.

Jürg Schweizer, Christoph Mitterer, Benjamin Reuter, Frank Techel. (2020) Avalanche danger level characteristics from field observations of snow instability / *Cryosphere*, № 14, P. 3503-3521. <https://doi.org/10.5194/tc-14-3503-2020>

SNOW, WEATHER, AND AVALANCHES: Observation Guidelines for Avalanche Programs in the United States (2016) American Avalanche Association, 104 p.

URL: <http://www.ingeo.kz/?services=бюллетень-уровня-лавинной-опасност> [online] (Institute of Geography and Water Safety website, avalanche danger level).

URL: <http://www.LbAI.ru> [online] (Perm School of Artificial Intelligence).

URL: <https://meteocenter.asia> [online] (Forecast maps for the countries of Central Asia).

URL: <http://www.rp5.ru> [online] (Meteorological information from international exchange stations in the KN-01 code).

URL: <https://snowsense.ru> [online] (Avalanche Safety Education Center, Kirovsk, Russia).

URL: <https://SLF.ch> [online] (Site of the Swiss Institute for Snow and Avalanches SLF, Davos)

URL: <http://www.windy.com> [online] (Forecast weather maps for the whole world, result of numerical forecast models).