

УДК 551.578.48

Канд. техн. наук

В.В. Жданов¹**СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ПРОГНОЗОВ
ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ПРОГНОЗОВ В
РАЙОНЕ СЛС ШЫМБУЛАК)**

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, лавинная опасность, машинное обучение, оценка, прогноз, снежные лавины, факторы лавинообразования

В статье приведен краткий обзор современных методов оценки и прогноза лавинной опасности. Выделены перспективные направления в развитии снеголавинных прогнозов: использование искусственных нейронных сетей, численных моделей прогноза погоды и переход на вероятностные формы прогноза. Приводится описание экспериментального метода оценки и прогнозирования лавинной опасности. Результаты испытаний нового метода прогноза на снеголавинной станции Шымбулак показали общую оправдываемость 87 %. Искусственная нейронная сеть способна оценить уровень лавинной опасности в 64 % случаев. Это делает перспективным внедрение новых методов оценки и прогнозирования лавинной опасности в практической работе снеголавинной службы Казахстана.

Введение. Оценка и прогнозирование лавинной опасности является одним из основных способом защиты от лавин в Казахстане [9, 15, 16]. В настоящее время прогнозы составляются только по бассейнам двух рек Киши и Улькен Алматы в Иле Алатау. Все методы прогноза и нормативные документы разработаны еще во времена СССР [8, 14]. Улучшение качества прогнозов очень важно для обеспечения безопасности населения и объектов. В течении нескольких лет в лаборатории природных опасностей Института географии МОН РК ведется работа по изучению и адаптации мирового опыта прогноза лавин [1...6].

¹АО «Институт географии и водной безопасности» МОН РК, г. Алматы
Республика Казахстан

В результате изучения мирового опыта были выделены перспективные направления в развитии методов оценки и прогнозирования лавинной опасности:

1. машинное обучение и искусственные нейронные сети (ИНС), которые позволяют решать статистические задачи и обрабатывать большие массивы информации;
2. математические модели прогноза погоды, увеличивающие заблаговременность лавинных предупреждений;
3. вероятностный прогноз лавин и международная шкала опасности, которые позволяют оценить уровень риска в зависимости от ожидающейся снеголавинной обстановки.

Машинное обучение и искусственные нейронные сети. В настоящее время программы искусственного интеллекта (ИИ) используются во многих областях науки и техники [13]. В метеорологии и гидрологии ИИ способен решать задачи математической статистики: классификация, регрессия, прогноз временных рядов. Научное обоснование применения ИНС в прогнозе лавин дали специалисты из Швейцарского института изучения снега и лавин (Institut für Schnee – und Lawinenforschung (SLF)) в 90-х годах 20-го века [33, 34].

Для составления снеголавинных прогнозов широко используются статистические методы. Очень важно классифицировать текущую снеголавинную обстановку. Большинство существующих методов прогноза лавин – это разделение метеорологических параметров на снеголавинной станции на два класса: лавиноопасные и нелавиноопасные ситуаций. На практике обычно используется графический метод разделения.

Искусственные нейронные сети (ИНС) справляются с подобными задачами. Существуют нейросетевые приложения от известных производителей компьютерных программ: MathCad, Statistica, Microsoft Excel. Для экспериментов был выбран нейросимулятор Ясницкого и Черепанова из Пермского госуниверситета [21, 22, 37]. Его интерфейс приведен на рис. 1. Программа работает в трех режимах: обучение, тестирование, прогнозирование. Программа проста и удобна в работе. Нейросеть обучается на многолетних архивных данных о метеорологической обстановке и сходе снежных лавин. На его основе разрабатываются автоматические помощники в работе прогнозиста. Основное недостаток нейронных сетей – сильная зависимость от обучающей выборки. Хороший результат можно полу-

чить только после тщательной обработки архивных данных и выбора репрезентативных примеров для обучения ИНС.

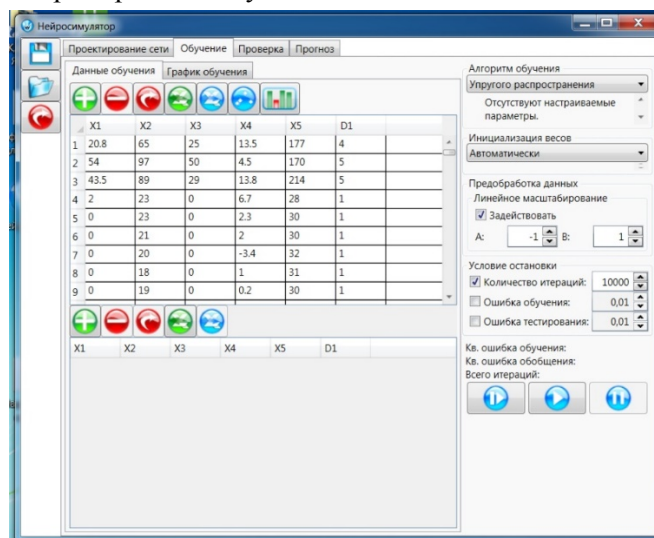


Рис. 1. Интерфейс нейросимулятора авторов Ясницкого и Черепанова (Пермский госуниверситет).

Математические модели прогноза погоды. В настоящее время на снеговалинных станциях (СЛС) используются статистические методы прогноза лавин, которые относятся к методам классификации текущей обстановки. Они обладают нулевой заблаговременностью. Такие методы прогноза получили современное название «тренд-прогноз» или «наукастинг» [11, 12]. Решить проблему увеличения заблаговременности возможно с применением моделей численного прогноза погоды.

Современные среднесрочные прогнозы составляются в мировых центрах прогнозирования и распространяются бесплатно для стран членов Всемирной метеорологической организации (ВМО) [12, 17, 18]. Модель способна спрогнозировать основные метеорологические параметры у поверхности земли и на высоте: температура воздуха, давление, влажность, ветер. Модели подразделяются на глобальные, региональные и национальные. Самыми популярными и надежными являются глобальные модели: GFS (г. Вашингтон, США) и ECMWF (г. Реддинг, Великобритания). Широко используются и региональные модели, например, Росгидромета [20]. 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, приведенные на рис. 2. [38].

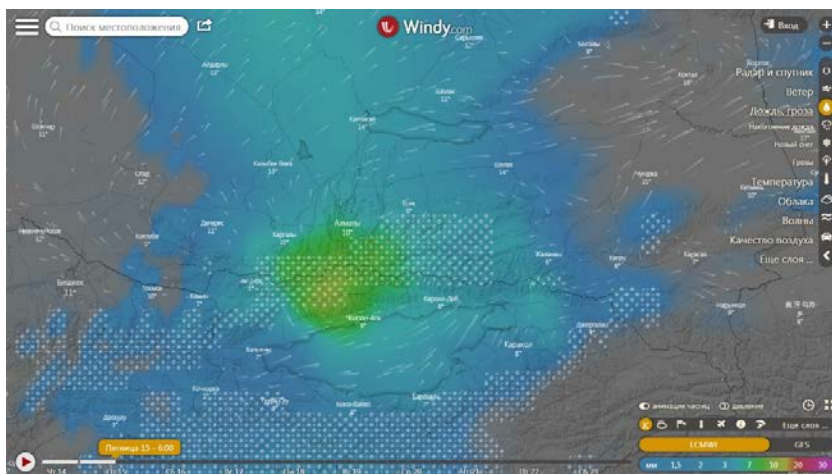


Рис. 2. Прогностическая карта количества осадков у поверхности в предгорьях Иле Алатау. Визуализированный результат математической модели. Данные с сайта Windy.com.

Физико-статистические методы прогноза основаны на обнаружении зависимости между прогнозируемыми основными метеорологическими параметрами и локальными явлениями погоды. Так работают большинство национальных прогностических центров в мире. В РГП «Казгидромет» математические модели успешно применяются при прогнозе опасных гидрологических явлений. Прогностические карты температуры воздуха и осадков для РК выводятся на рабочий стол прогнозиста-гидролога.

Основными предикторами для прогноза лавин являются максимальная температура воздуха и количество выпавших осадков (прирост снежного покрова) [8, 9, 14]. Поэтому прогноз этих параметров наиболее важен для увеличения заблаговременности лавинных предупреждений.

Из-за ошибок прогностических моделей растет ошибка снеголавинных прогнозов, особенно на длительные сроки. При оценке подобного метода прогноза необходимо учитывать неопределенность прогноза погоды и ошибки классификации лавиноопасных ситуаций.

Вероятностный прогноз лавинной опасности. Любой прогноз обладает неопределенностью. В настоящее время прогнозы РГП «Казгидромет» передаются в категорической форме «Лавиноопасно» или «Нелавиноопасно» [15, 16]. Для уточнения указывается среднестатистическая оправдываемость прогнозов за многолетний период. Она составляет 80...90 %.

Принятие экстренных мер осуществляется на основании «Штормовых предупреждений». Поскольку любая лавина, начиная от 100 м³, считается опасным явлением (ОЯ), то прогнозист обязан выдавать «Штормовое предупреждение». Любые ошибки прогноза вызывают экономические потери и недовольство пользователей прогнозом лавинной опасности. Хотя по нормативным документам прогнозы укладываются в утвержденный норматив качества [9, 10, 14].

В России опасным явлением считается только массовый сход лавин, угрожающих населению и объектам. В этом случае составляется «Шторм-предупреждение» и объявляется чрезвычайная ситуация. Сход мелких лавин, в которых могут пострадать туристы в отдаленных районах не учитывается. В этом случае оправдываемость предупреждений растет [11].

В большинстве стран с развитой системой горного и лыжного туризма оценка лавинного риска осуществляется на основании вероятностных прогнозов лавинной опасности. В Швейцарском институте изучения снега и лавин для этих целей разработана пятибалльная шкала лавинной опасности [23...36]. Вероятностный прогноз составляется группой лавинных экспертов. При этом оценка эталонного и местного эксперта может различаться в 25 % случаев [27]. Для помощи в составлении вероятностного прогноза в SLF были разработаны автоматизированные экспертные системы на базе искусственного интеллекта. Точность классификации лавиноопасных ситуаций составила 65 % случаев [33...34]. Ошибка классификации с помощью ЭВМ гораздо больше, чем различия в экспертных оценках специалистов. Поэтому автоматизированные системы до сих пор являются вспомогательным инструментом. А решение остается за группой экспертов-прогнозистов.

Экспериментальный метод оценки и прогноза лавинной опасности для СЛС Шымбулак. В Институте географии был разработан экспериментальный метод прогноза снежных лавин в районе СЛС Шымбулак с применением, описанных выше методов. Первый вариант этого метода был описан в статьях и прошел испытания на снеголавинной станции в 2015 г. [7]. Он представляет собой метод разделения текущей метеорологической обстановки на два класса: лавиноопасно и нелавиноопасно. Для разделения использовались методы дискриминантного анализа или симулятор искусственной нейронной сети. Метод показал хорошую точность классификации. Но в процессе испытания метода прогноза на СЛС были выявлены недостатки. Во-первых, это отсутствие заблаговременности, так

же как у существующих методов прогноза. Во-вторых, симулятор ИНС требует более мощных компьютеров.

Для увеличения заблаговременности было принято решение использовать прогностические данные моделей прогноза погоды (сумма осадков и максимальная температура воздуха). Для этого были внесены изменения в исходные данные о метеорологической и снеголавинной обстановке. В обучающей выборке были использованы данные о высоте снежного покрова перед началом лавиноопасного периода, а данные об осадках и температуре воздуха взяты в момент схода снежных лавин. Эти предикторы применяют в настоящее время в оперативной работе СЛС «Шымбулак».

Доработанный метод прогноза позволяет классифицировать лавиноопасную ситуацию для трех основных типов снежных лавин в ущелье Киши Алматы: лавины, связанные с сухими снегопадами, смешанными осадками и оттепелью. Были взяты данные о метеорологической обстановке и сходе снежных лавин за период 1978..2018 гг. Обучающая выборка охватывала период 1978...2014 гг., тестовая выборка – период 2015...2018 гг.

Если с помощью нейросимулятора разделять текущую снеголавинную обстановку на два класса, то заблаговременность будет нулевая. Если при оценке будущей лавиноопасной ситуации использовать данные о прогностических суммах осадков и максимальных температурах воздуха, то заблаговременность прогноза увеличится, но упадет его точность. Результаты оценки итоговой точности распознавания и прогнозирования лавиноопасных ситуаций приведены в табл. 1.

Таблица 1
Точность прогнозирования отдельных типов лавин с учетом математических моделей прогноза погоды

Метеорологический параметр	Точность классификации лавиноопасных ситуаций, %	Точность численных прогнозов погоды, %	Итоговая точность прогноза лавин, %
Смешанные осадки	94	80	74
Оттепель	92	90	82
Сухие снегопады	97	80	77

Затем экспериментальный метод прогноза был проверен по стандартной методике оценки качества прогнозов Багрова-Обухова. Результа-

ты сравнивались с отчетами о работе снеголавинной станции [5]. Данные приведены в табл. 2. Предлагаемый метод обладает большей общей оправдываемостью прогноза и критерием точности Багрова-Обухова. Но предупреденность опасного явления (ОЯ) ниже, вероятно, сказывается человеческий фактор. Прогнозисты лавинщики часто допускают ошибку страховки, при этом предупреденность ОЯ увеличивается, но общая оправдываемость прогноза падает.

Таблица 2

Оправдываемость нового и старого метода прогноза снежных лавин
в районе СЛС Шымбулак

Метод прогноза	Общая оправдываемость прогнозов, %	Предупрежденность опасного явления, %	Критерий Багрова-Обухова, %
Новый метод прогноза лавин	87	62	0,48
Методы прогноза лавин на СЛС «Шымбулак»	79	65	0,35

Для внедрения передовых методов были проведены эксперименты с обучением искусственной нейронной сети (ИНС) при составлении вероятностного прогноза лавин в районе СЛС «Шымбулак». Вначале была создана обучающая выборка – электронные таблицы данных о погоде и сходе снежных лавин. Входные данные – это факторы лавинообразования: высота и водность снежного покрова, количество осадков и прирост высоты снежного покрова. Данные взяты к моменту схода снежных лавин. Если лавин не было, то использовались данные о высоте снежного покрова в срок составления лавинных прогнозов, то есть в 15 ч. Разделение на пять классов опасности проведено по методу экспертной оценки, рекомендованной SLF [24, 28].

Точность классификации уровней лавинной опасности экспериментальной ИНС – 64 %, что близко к результатам заграничных аналогов. Это подтверждает выводы специалистов из SLF – пока экспертные системы на базе ИНС являются вспомогательным инструментом для составления вероятностных прогнозов. Хорошим помощником в оценке лавинной опасности по пятибалльной шкале может стать методическое руководство для инженеров снеголавинной службы. Проект методов оценки уровней лавинной опасности в районе СЛС «Шымбулак» был опубликован в статьях [2, 3]. Это таблицы с характеристиками метеоэлементов, характерных

для присвоения определенной степени лавинной опасности. Обобщенная информация из предлагаемого методического руководства, по вероятностным прогнозам, приведена в табл. 3.

Таблица 3

Краткое описание лавиноопасной ситуации при различных уровнях опасности в районе снеголавинной станции «Шымбулак»

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 залегает устойчиво.
Умеренный	Умеренный уровень опасности наблюдается в конце зимы и весной в период снеготаяния (февраль-апрель). В этот период сход самопроизвольных лавин маловероятен, но существует опасность провоцирования лавин. Так же периоды умеренной лавинной опасности отмечаются в начале и середине зимы после снегопадов в течение нескольких дней.
Значительный	Значительная лавинная опасность отмечается в начале зимы после сильных снегопадов. Пока еще снега на склонах не достаточно для схода крупных лавин. В это время сходят отдельные лавины из свежевыпавшего снега. В период снеготаяния март-апрель в дни со значительным 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 снегозапасах на склонах. В это время происходит сход катастрофических лавин, угрожающих людям и объектам. Экстремальный уровень опасности отмечается раз в 5...10 лет в многоснежные зимы и может сохраняться 1...3 дня.

Выводы. Метод оценки и прогнозирования лавинной опасности необходим для планирования мероприятий по защите от лавин и предупреждения населения об опасности. Совершенствование существующих моделей прогноза должно идти по нескольким направлениям:

1. машинное обучение и искусственные нейронные сети необходимы для решения задач математической статистики;
2. математические модели прогноза погоды позволяют увеличить заблаговременность лавинных прогнозов;
3. вероятностный прогноз лавин и международная шкала лавинной опасности необходимы для оценки лавинного риска в зависимости от ожидающейся снеголавинной обстановки.

Благодарности: автор выражает благодарность сотрудникам СЛС «Шымбулак» за помощь в проверке работоспособности полученного экспериментального метода прогноза.

Статья написана по результатам исследований по проекту «Разработка научно-прикладного обеспечения по созданию автоматизированного мониторинга лавинной опасности на территории г. Алматы для предотвращения несчастных случаев среди населения», финансируемому Департаментом по чрезвычайным ситуациям г. Алматы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благовещенский В.П., Жданов В.В. Опыт оценки и прогноза лавинной опасности в Швейцарии // Гидрометеорология и экология. – 2019. – № 1. – С. 178-191.
2. Жданов В.В. Возможность применения международной шкалы лавинной опасности в оперативной работе снеголавинной службы Казахстана // Вопросы географии и геоэкологии. – 2014. – № 2. – С.33-37.
3. Жданов В.В. Вероятностный прогноз снежных лавин и международная шкала лавинной опасности // Вопросы географии и геоэкологии. – 2018. – № 4. – С. 3-8.
4. Жданов В.В. О различных методах определения устойчивости снежного покрова // Вопросы географии и геоэкологии. – 2018. – № 2. – С. 86-91.
5. Жданов В.В. Анализ ошибок снеголавинных наблюдений и прогнозов // Вопросы географии и геоэкологии. – 2015. – № 3. – С. 52-55.
6. Жданов В.В. Опыт участия в региональной лавинной конференции на горнолыжной базе Жыргалан (Иссык-кульская область, Кыргызстан) // Вопросы географии и геоэкологии. – 2018. – № 1. – С. 101-105.
7. Жданов В.В. Экспериментальный метод прогноза лавин на основе нейронных сетей // Лед и снег. – 2016. – № 56 (4). – С. 502-510. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-4-502-510>.

8. Кондрашов И.В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 72 с.
9. Методические указания по прогнозированию лавин и снеголавинному обеспечению в Казахстане // под ред. Е.И. Колесникова. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2003. – 43 с.
10. Наставление по службе прогнозов погоды. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2006. – 28 с.
11. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. РД 52.27.724.2019. – Москва, ФБГУ «Гидрометцентр России». – 2019. – 72 с.
12. Наставление по глобальной системе обработки данных и прогнозирования. Дополнение к 4 техническому регламенту ВМО / Бюллетень ВМО № 485. – 2017. – 134 с.
13. Нейронные сети: методология и технологии современного анализа данных / под ред. В.П. Боровикова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 392с.
14. Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности в Казахстане / под ред. Е.И. Колесникова. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2005. – 262 с.
15. Руководство по снеголавинным работам (временное). – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 600 с.
16. Руководство по снеголавинным работам. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2006. – 262 с.
17. Рекомендации по предоставлению данных о неопределенности прогнозов / Бюллетень Всемирной метеорологической организации. – PWS 18 WMO/TD, № 1422 – 52 с.
18. Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию / Бюллетень ВМО № 1091. P-WDS-12717. – 2012. – 29 с.
19. Сайт Швейцарского федерального института изучения снега и лавин [Электрон. ресурс]. – 2020.– URL:<https://www.slf.ch> (Дата обращения 10.05.2020 г.).
20. Толстых М.А. Шашкин В.В., Фадеев Р.Ю., Шляева А.В., Мизяк В.Г., Рогутов В.С., Богословский Н.Н., Гойман Г.С., Махнорылова С.В., Юрова А.Ю. Система моделирования атмосферы для бесшовного прогноза. – Москва, 2017. – 167 с.
21. 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.

22. Черепанов Ф.М. Исследовательский симулятор нейронных сетей, обзор его приложений и возможности применения для создания системы диагностики заболеваний сердечнососудистой системы // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. [Электрон. ресурс]. – 2013.– URL: www.science-education.ru/107-8392.
23. Avalanche Bulletin Interpretation Guide WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. 16th revised edition. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. 50 pages. [Электрон. ресурс]. Jürg Schweizer. On using local avalanche danger level estimates for regional forecast verification / (Режим доступа). [Электрон. ресурс]. – URL://<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.07.012>.
24. European Avalanche Danger Scale (link) [Электрон. ресурс].– 2019. – URL:http://www.avalanches.org/eaws/en/main_layer.php?layer=basics&id=2 (Дата обращения 01.02.2019 г.).
25. Observation Guidelines and Recording Standards for Weather, Snowpack and Avalanches. – Canadian Avalanche Association, 2014. –109 p.
26. Jamieson J.B. and Schweizer J. Using a checklist to assess manual snow profiles // Avalanche News, 72. – 2005. – P. 57-61.
27. Jürg Schweizer. On using local avalanche danger level estimates for regional forecast verification / (Режим доступа). [Электрон. ресурс].– URL://<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.07.012>
28. SNOW, WEATHER, AND AVALANCHES: Observation Guidelines for Avalanche Programs in the United States. American Avalanche Association, 2016. – 104 p.
29. Stucki T / SLF-Beobachterhandbuch. – 2016. – 60 p.
30. Schweizer J. The Rutschblock test – Procedure and application in Switzerland / The Avalanche Review, 2002. –V. 20, – P. 14-15.
31. Schweizer J., and Jamieson J. B. Snowpack tests for assessing snow-slope instability // Ann. Glaciol., 2010. – V. 51. – P. 187-194.
32. Schweizer J., Kronholm K., Wiesinger T. Verification of regional snowpack stability and avalanche danger // Cold Regions Science and Technology, 2003. – V. 37(3). – P. 277-288.
33. Schweizer J., Jamieson J.B., Skjonsberg D. Avalanche Forecasting for Transportation Corridor and Backcountry in Glacier National Park (BC, Canada). – Oslo, NGI, Pub. – N. 203. – 1998. – P. 238-244.

34. Stephens J., Adams E., Huo X., Dent J., Hicks J., McCarty D. Use of neural networks in avalanche hazard forecasting. ISSW'98. URL: <http://www.issw.noaa.gov/hourly%20agenda.htm>.
35. Winkler K., Kuhn T. Fully automatic multi-language translation with a catalogue of phrases – successful employment for the Swiss avalanche bulletin. Lang. Resour. Eval. online first, 2015. – 23 p. [Электрон. ресурс]. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1509/1509.06937.pdf> (Дата обращения 01.02.2019 г.).
36. Winkler K., Techel F. Users' Rating of the Swiss Avalanche Forecast / In: Proceedings ISSW, Banff, Alberta, Canada, 2014. [Электрон. ресурс]. http://www.slf.ch/info/mitarbeitende/techel/download/winkler_techel_2014.pdf (Дата обращения 01.02.2019 г.).
37. URL: <http://www.LbAI.ru> (Пермская школа искусственного интеллекта).
38. URL: <http://www.windy.com> (Прогностические карты погоды для всего мира, результат численных моделей прогноза).

Поступила 03.06.2020

Техника. ғылымд. канд.

В.В. Жданов

ДАМУ КОНЦЕПЦИЯСЫ БОЛЖАМДАР ҚАР КӨШКІНІ ҚАУШ (МЫСАЛЫ, БОЛЖАМДАР АУДАНЫНДА ҚКС «ШЫМБҰЛАҚ»)

Түйін сөздер: жасанды нейрондық желілер, қар көшкіні жүру қаупі, машиналық оқыту, бағалау, болжам, қар көшкіні, қар көшкіні факторлар

Бабында келтірілген қысқаша шолу қазіргі заманғы әдістерін бағалау және болжау көшкін қаупі. Бөлінген перспективалық дамыту бағыттары қар көшкіні болжамдарды пайдалану, жасанды нейронды желілер, сандық модельдерін ауарайын болжау және ауысу ықтималдық нысанды болжау. Сипаттамасы келтіріледі эксперименттік әдісін бағалау және болжау көшкін қаупі. Сынақ нәтижелері жаңа әдісті болжам қар көшкіні станциялары "Шымбұлақ" көрсетті жалпы болжамының расталуы 87 %. Жасанды нейрон желісі қабілетті деңгейін бағалауға көшкін қаупі 64 % жағдайда. Бұл перспективалық жаңа әдістерін енгізу, бағалау және болжау көшкін қаупі практикалық жұмыста қар көшкіні қызметі.

MODERN CONCEPT OF DEVELOPMENT OF FORECASTS OF AVALANCHE DANGER (ON THE EXAMPLE OF FORECASTS IN THE AREA OF AVALANCHE STATION “SHYMBULAK”)

Keywords: artificial neural networks, avalanche danger, machine learning, assessment, forecast, avalanches, avalanche factors.

The article provides a brief overview of modern methods for assessing and forecasting avalanche danger. Promising areas in the development of snow-avalanche forecasts are identified: the use of artificial neural networks, numerical models of weather forecasts and the transition to probabilistic forecast forms. A description is given of an experimental method for assessing and predicting avalanche danger. The test results of the new forecasting method at the “Shymbulak” snow-avalanche station showed a total justification of 87 %. An artificial neural network is able to estimate the level of avalanche danger in 64 % of cases. This makes it promising to introduce new methods for assessing and predicting avalanche danger in the practical work of the snow-avalanche service of Kazakhstan.