



АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_138

MPHTI 20.23.27

Н.Ф. Денисова¹, О.А. Петрова², Ж.К. Идришева³, Р.К. Четтыкбаев⁴, М.И. Кайсина⁵

НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева»,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

¹E-mail: NDenisova@edu.ektu.kz

²E-mail: OPetrova@edu.ektu.kz*

³E-mail: Zhldrisheva@edu.ektu.kz

⁴E-mail: RChettykbayev@edu.ektu.kz

⁵E-mail: makpal_eco@mail.ru

**ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЛАВИННОЙ АКТИВНОСТИ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ**

**КӨШКІН ҚАУПІНІҢ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕЛЕРІН ӨЗІРЛЕУ ҮШІН
КӨШКІН БЕЛСЕНДІЛІГІН ЗЕРТТЕУДЕГІ ГАЖ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ**

**ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЛАВИННОЙ АКТИВНОСТИ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ**

**GIS TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF AVALANCHE ACTIVITY
FOR THE DEVELOPMENT OF AVALANCHE HAZARD MONITORING SYSTEMS**

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования ГИС-технологий при исследовании проблемы повышения лавинной активности в Восточно-Казахстанской области. Это происходит в условиях изменения климата. Данные необходимы для разработки мониторинговых систем лавинной опасности и научного обоснования их размещения.

Ключевые слова: ГИС, лавины, изменение климата, мониторинг, автоматизированные системы.

Аңдатпа. Мақалада Шығыс Қазақстан облысында көшкін белсенділігінің арту мәселесін зерттеу кезінде ГАЖ технологияларын қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Бұл климаттың өзгеруі жағдайында болады. Деректер көшкін қаупінің мониторингтік жүйелерін өзірлеу және оларды орналастырудың ғылыми негіздемесі үшін қажет.

Түйін сөздер: ГАЖ, қар көшкіні, климаттың өзгеруі, мониторинг, автоматтандырылған жүйелер.

Abstract. The article considers the possibility of using GIS technologies in the study of the problem of increasing avalanche activity in the East Kazakhstan region. This is happening in the conditions of climate change. The data are necessary for the development of avalanche hazard monitoring systems and the scientific justification of their placement.

Keywords: GIS, avalanches, climate change, monitoring, automated systems.

Введение. В современной экологической повестке вопросы изменения климата занимают одни из первых мест. Самыми главными из них являются разнообразные исследования причин климатических изменений, значимости в формировании этого явления антропогенной деятельности, а также предлагаемые решения, которые на перспективу могут переломить движение температурной кривой вверх. Но среди массы вопросов, касающихся

изменения климата, особую актуальность имеют последствия этого процесса как на глобальном, так и региональном уровне, с которыми человечество сталкивается здесь и сейчас во всем многообразии их проявлений. Это различные катаклизмы природного характера, сильные засухи, сопровождающие их пожары, в других регионах – обильные осадки, таяние ледников, наводнения. К таким же проявлениям климатических изменений на региональном уровне относится и возрастающая с каждым годом лавинная опасность на склонах Восточно-Казахстанской области. Обильные, многодневные снегопады все чаще провоцируют произвольный сход лавин, возрастает объем работ у восточно-казахстанского филиала «Казселезащита» по проведению профилактических спусков на особо опасных участках. По данным Департамента по чрезвычайным ситуациям, статистика наблюдений и профилактических спусков по области за последние несколько лет показывают, что количество лавин ежегодно увеличивается в среднем на 60 % (табл. 1).

Таблица 1. Статистика профилактических спусков лавин и самопроизвольных сходов по Восточно-Казахстанской области

Зимний период	Спуски и сходы			Объем снега, м ³
	профилактические	самопроизвольные	всего	
2019-2020 года	41	9	50	167140
2020-2021 года	90	0	90	590680
2021-2022 года	125	19	144	161420

По сравнению с остальной территорией республики повышение лавинной активности характерно именно для Восточного Казахстана (рис. 1).

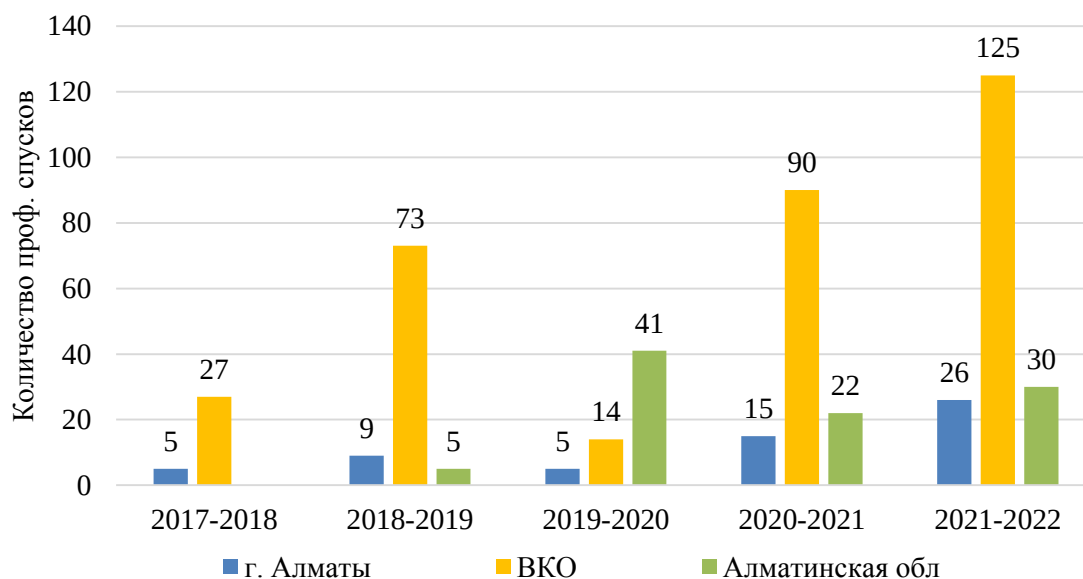


Рисунок 1. Динамика профилактических спусков по регионам за последние пять лет

Важно отметить, что в связи с освоением горных территорий ежегодно количество лавиноопасных участков, влияющих на человеческую деятельность, увеличивается. Об этом свидетельствует увеличение количества лавиноопасных участков с 548 до 610 (прирост составляет 62 участка) за последние пять лет. Динамика изменения их количества

по годам показана на рис. 2.

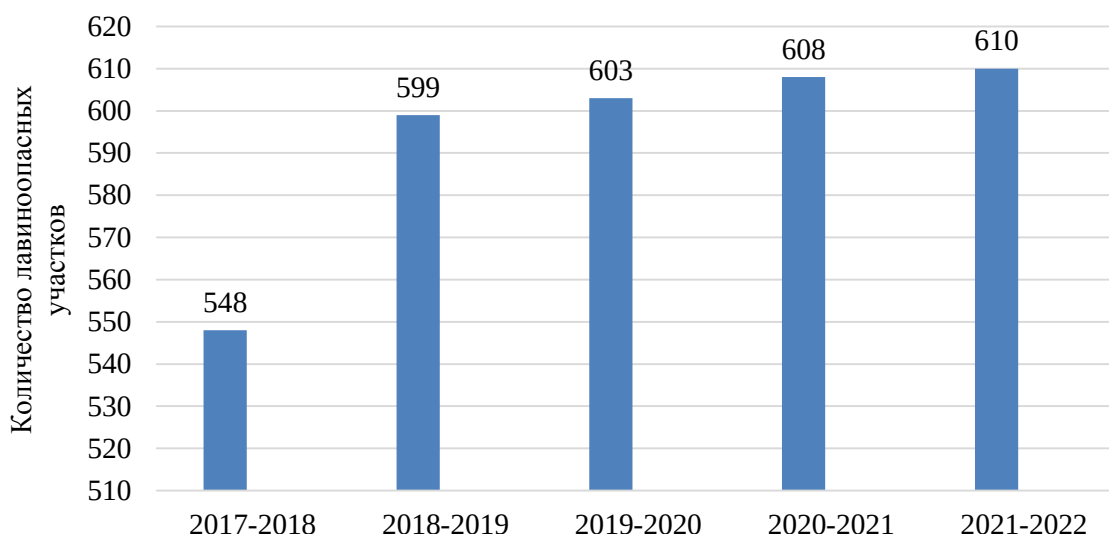


Рисунок 2. Динамика изменения количества лавиноопасных участков за последние пять лет

На территории Восточно-Казахстанской области Департаментом по чрезвычайным ситуациям установлено 497 лавиносборов, из которых 325 очагов угрожают объектам хозяйствования и жизни людей. Эти участки расположены на административной территории одного города и пяти районов области: г. Риддер – 96 участков, Глубоковский район – 26 участков, Уланский район – 20 участков, Кокпектинский район – 8 участков, Катон-Карагайский район – 45 участков, район Алтай – 130 участков. В зоне их поражения находятся 44 жилых дома и 11 объектов общественного и производственного назначения (2 лыжных трассы, 2 канатных дороги, 1 участок железной дороги, 1 ж/д вокзал, 1 школа, 3 производственных здания, 1 крестьянское хозяйство). На этой территории проживают и работают почти 1000 человек. Особенную опасность представляют лавиноопасные очаги, расположенные вдоль автомобильных дорог. Так под возможный сход лавины попадают 14 участков общей протяженностью 93 км (республиканские дороги – 15 км, областные дороги – 19 км, местные дороги – 59 км).

За последние несколько лет профилактическая работа по спуску лавин позволила избежать трагических случаев на этих участках. Но статистика по несчастным случаям по республике не утешительная: всего с 2017 по 2022 годы в результате схода снежных лавин погибло 12 и пострадало 18 человек (рис. 3).

Лавины наносят значительный ущерб как хозяйственной деятельности, так и окружающей среде: лавины уничтожают десятки кубометров леса, наносят ущерб лесным ландшафтам и берегам рек.

Возрастающая угроза лавинной опасности требует решения проблемы безопасности людей в первую очередь. В связи с этим, приоритетом становится раннее предупреждение о возможном сходе лавины и своевременное принятие профилактических мер.

Поэтому целью работы является исследование лавинной активности и территориального распределения лавиносборов Восточно-Казахстанской области для разработки мониторинговых систем лавинной опасности и научного обоснования их размещения.

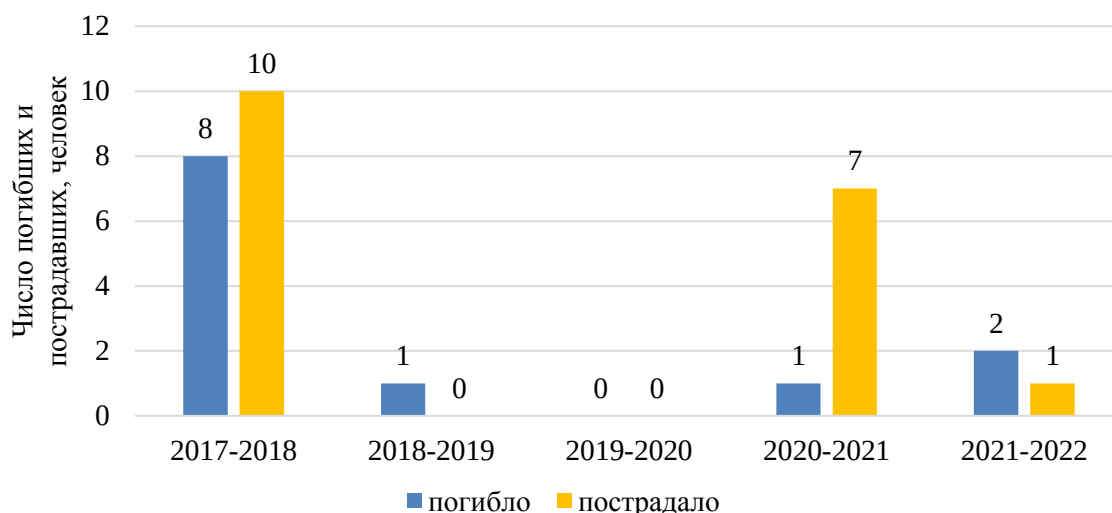


Рисунок 3. Динамика изменения количества погибших и пострадавших в результате схода лавин за последние пять лет

Материалы и методы исследования. На сегодняшний день ГИС-технологии находят широкое применение в экологии, в том числе для исследования изменений климата и региональных проявлений этого процесса. Программное обеспечение ГИС открывает новые возможности для математико-картографического моделирования и пространственного анализа проблемных ситуаций. В работе проводится исследование горных склонов Восточно-Казахстанской области по степени лавинной опасности на основе полевых изысканий, использования ГИС-технологий с систематизацией лавиноопасных участков. Исследуются микроклиматические параметры и морфология склонов лавиноопасных участков области значимых для разработки мониторинговых систем. Итогом является разработка методики выбора приоритетных горных склонов для размещения мониторинговых систем лавинной опасности.

На первом этапе полевых изысканий используются методики стандартных наблюдений за лавиносборами: «Правила ведения наблюдений за селями, снежными лавинами и оползнями» и «Методика оценки риска возникновения и определения селевых, лавинных явлений и оползневых процессов», утвержденные Приказом Председателя Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан от 5 марта 2016 года № 63 [1, 2]. Данные наблюдения осуществляются в сотрудничестве с Департаментом по чрезвычайным ситуациям и областным филиалом ГУ «Казселезащита».

Согласно правилам, наблюдение за лавинами осуществляется специализированными Службами Республиканского государственного предприятия «Казгидромет», постами службы наблюдения и оповещения ГУ «Казселезащита» Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан. Анализ, обобщение ежедневных данных постов наблюдения осуществляется главным диспетчерским пунктом Казселезащиты и выпускается в виде ведомственного бюллетеня оперативной информации службы наблюдения и оповещения. Наблюдения за снежными лавинами в Восточно-Казахстанской области выполняется специалистами Восточно-Казахстанского областного эксплуатационного управления Казселезащита, так как в указанном районе отсутствуют специализированные снеголавинные посты и станции Казгидромета.

При производстве измерений применяют следующие средства измерений:

- 1) рейка снегомерная стационарная деревянная длиной 1300-1800 мм с ценой деления 1 см;
- 2) рейка снегомерная переносная длиной 1300-1800 мм с ценой деления 10 см;
- 3) линейка с ценой наименьшего деления 1 мм;
- 4) снегомерная металлическая переносная рейка М-46 для снежного покрова высотой более 1,5 м.

На летний период рейки снимаются обязательно (рис. 4).



Рисунок 4. Наблюдения за лавиносборами, снегомерная рейка

Ежедневные наблюдения за снежным покровом проводятся при любых погодных условиях с соблюдением норм и требований по технике безопасности, что не исключает полностью вероятность несчастных случаев с наблюдателями.

Наблюдение за лавинами осуществляется с помощью снегомерных съемок, для которых выбираются и закрепляются на местности маршруты, устанавливаются сроки, составляется описание окружающей местности и маршрутов, составляется топографический план.

Гидрометеорологическая информация о состоянии снега в горах Казахстана выпускается Казгидрометом ежедневно со времени установления устойчивого снежного покрова на опорной сети пунктов наблюдений в зависимости от продолжительности снежного периода [3]. Если существует лавинная опасность, в бюллетене выдается рекомендация о том, что не рекомендуется выход на крутые заснеженные склоны из-за возможного провоцирования схода лавин, при этом указывается не какой-то конкретный склон, а бассейны рек. Данные рекомендации даются для горных районов Илейского Алатау. По Восточно-Казахстанской области такие станции наблюдения Казгидромета отсутствуют.

В связи с этим совершенствование методики наблюдения является также актуальной задачей данной работы.

Результаты и их обсуждения. По итогам полевых изысканий составляются паспорта лавиносборов. Паспорт аккумулирует в себе сведения о физико-географических характеристиках района расположения объекта и общие сведения о нем, которые включают следующее описание, например:

– Место расположения: Автомобильная дорога «Усть-Каменогорск – Горная Ульбинка – Северное» 30 км + 800м. Правый склон бассейна реки Проходная.

– Геодезические координаты: 49058'38"87 северной широты, 82056'34"34 восточной долготы.

– Высота над уровнем моря: 413 м.

– Степень лавинной опасности: 2 категория.

– Морфологический тип: Эрозионный врез.

– Экспозиция склона: Западная.

– Крутизна склона: 42°.

– Морфометрия лавиносбора: длина – 300 м, ширина – 100 м, площадь – 30000 м².

– Морфометрия лотка: длина – 70 м, ширина – 50 м, площадь – 3500 м².

– Описание поверхности лавиносбора (наличие осыпей и др.): Поверхность дна лавиносбора сложена из коренных кристаллических пород, почвенный горизонт 10 см.

– Растительный покров: Кустарник, разнотравье, пихта, осина.

– Общие описания: Лавиносбор расположен в западном склоне хребта. В зону поражения лавиносбора №1 попадает база отдыха «Зоя Космедьянская» и участок автодороги «Усть-Каменогорск – Горная Ульбинка – Северное». Для передачи информации и изучения снежного покрова установлена снегомерная рейка. Низ склона зарос кустарниками и различными породами деревьев, которые также служат природным источником, задерживающим сход лавин.

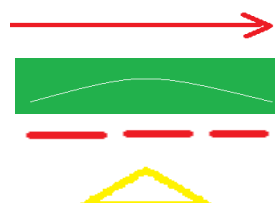
Сход со склона скопившейся снежной массы обычно провоцируется климатическими причинами: резкой сменой погоды (в том числе перепадами атмосферного давления, влажности воздуха), дождями, обильными снегопадами, а также механическими воздействиями на снежную массу. Иногда, в силу установившегося относительного равновесия между действующей силой трения и силой давления, сход лавины может инициироваться незначительным толчком. Прогреваясь на солнце, они обуславливают подтаивание и обрушение венчающих скальные выступы снежных «шапок». В результате снегопадом здесь формируются многочисленные, преимущественно небольшие лавины из свежего снега.

Паспорт лавиносбора включает карту-схему с указанием направления возможного схода лавин, площади лавиносбора, участка автодороги, находящегося в зоне риска, строений (жилые дома, базы отдыха, объекты) (рис. 5).

Обязательно приводятся данные об объектах, находящихся в зоне лавинного разрушения: наименование объекта, ведомственная принадлежность, количество проживающих или работающих в зоне риска.

Данные обо всех лавиносборах Восточно-Казахстанской области сведены в Альбом лавиноопасных участков, которые объединены по бассейнам близлежащих рек (рис. 6). В нем отражены данные о бассейнах рек и их характеристики, степень лавинноопасности, количество лавиносборов, количество установленных снегомерных реек, площадь и длина зоны поражения, наименование объектов, попадающих в зону воздействия (жилые дома, объекты социально-бытового назначения, дороги, линии электропередач и прочие),

количество этих объектов, количество проживающих и работающих.



Условные обозначения

- Направления возможного схода лавин
- Площадь лавиносбора
- Участок автодороги, находящий в зоне риска
- Строения (жилые дома, базы отдыха, объекты)

Рисунок 5. Карта-схема лавиносбора

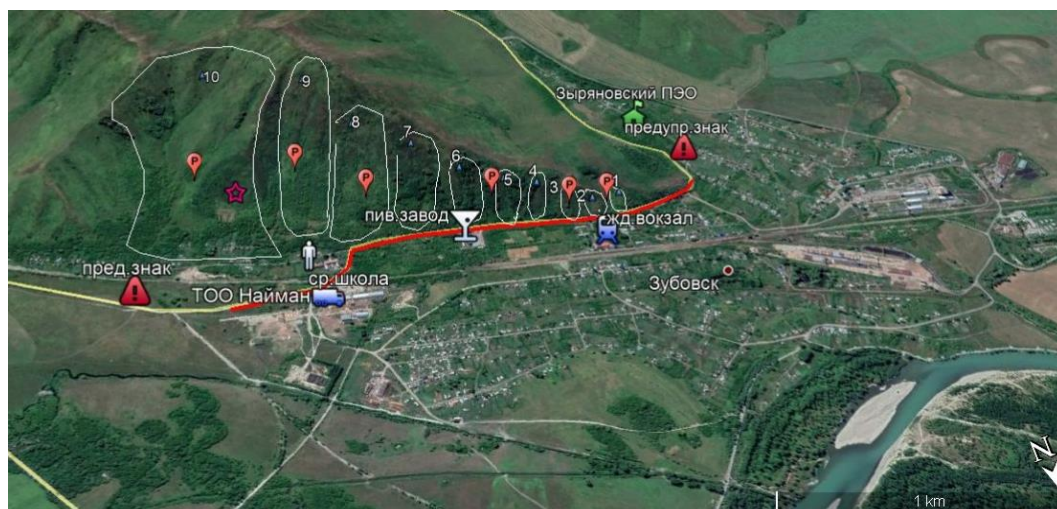
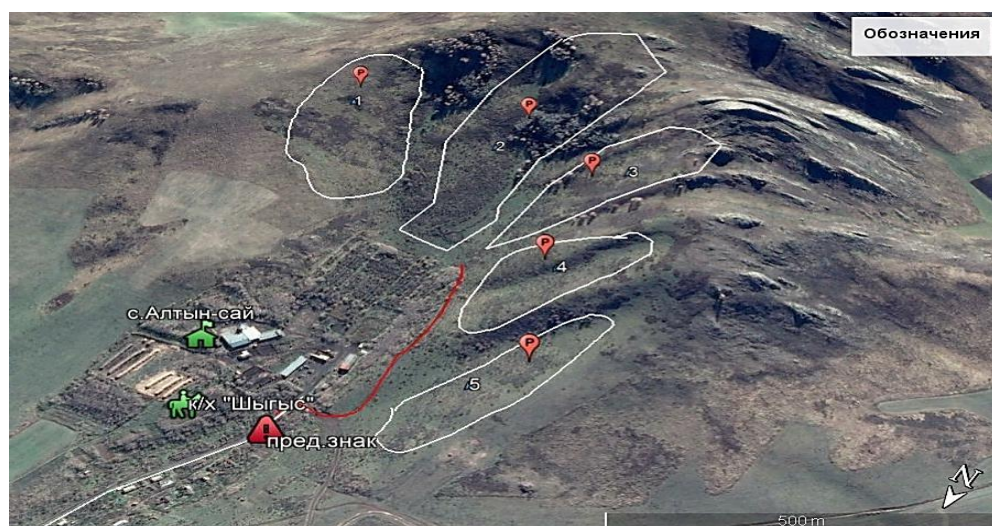


Рисунок 6. Лавиноопасный участок по р. Бухтарма в районе горы Зубовская
На картах-схемах отмечаются места установки снегомерных реек (рис. 7).



- место установки снегомерной рейки

Рисунок 7. Отметка расстановки снегомерных реек по лавиносорам

Все лавиносоры разделены по степени лавной опасности [2]. Критерии отнесения лавиносора к той или другой степени приведены в табл. 2. Но данный метод оценки не позволяет выбрать приоритетные места установки для автоматизированной системы мониторинга лавинной опасности, так как отнесение лавиносборов учитывает незначительное количество параметров и не учитывает нахождение объектов в зоне поражения. В связи с этим необходима разработка соответствующей методики выбора приоритетных горных склонов для размещения мониторинговых систем лавинной опасности, которая будет на основе использования ГИС-технологии соотносить все имеющиеся данные о лавиносборе и определять наиболее опасные участки.

Таблица 2. Критерии определения степени лавинной опасности лавиносора

Степень опасности (цвет маркировки)	Период повторяемости: год	Вероятность схода лавины
I – очень высокая	1/20-1/2	0,05-0,5
II – высокая (красный)	1/100-1/20	0,01-0,05
III – умеренная (желтый)	1/500-1/100	0,002-0,01
IV – низкая (зеленый)	менее 1/500	менее 0,002

Дальнейшей целью является разработка самой автоматизированной системы мониторинга лавинной опасности. В основном в научной литературе по изучаемой проблеме исследования труды посвящены использованию для построения прогнозов возникновения и движения лавин различных математических, статистических и имитационных методов моделирования [4-11]. Автоматизированные системы мониторинга лавинной опасности сравнительно новое техническое средство. В отечественной и зарубежной литературе приводятся данные об использовании и преимуществах таких систем [12, 13], но практически нет публикаций, отражающих подход к выбору участков для размещения АСМ на склонах.

В современном информационном поле больше внимания уделяется техническим новинкам в данной сфере. Современные системы по мониторингу лавинной опасности начали использовать в Европе, где разработана пятиступенчатая шкала степени лавинной опасности. В Альпах бюллетени с прогнозом лавинной опасности публикуются в Интернете и СМИ ежедневно рано утром. Их составляют региональные лавинные бюро на основании данных наблюдений за состоянием снежного покрова на станциях и сведений о погоде с автоматических станций. Только в Швейцарии таких пунктов наблюдений более 100 [14].

В настоящее время в Швейцарии действуют более 150 автоматических станций для измерения снега и ветра [15]. Они работают в жестких условиях высокогорья, автономно, с минимальным обслуживанием.

Инженеры Skyward разработали программно-аппаратный комплекс Snowburst. Решение является большой частью новой концепции прогнозирования лавинной ситуации и позволяет накапливать данные, проводить анализ, строить отчеты и многое другое [16].

Система Snowburst может кастомизировать список отслеживаемых параметров, а мгновенные уведомления оповещают об изменении критических показателей по удобным каналам связи, например в Telegram-чате. Создание такого автоматизированного продукта позволило расширить зону наблюдения в горах [17].

Лавинный радар является эффективной технологией для надежного автоматического обнаружения лавин. Как только лавина обнаружена, система автоматически подает сигнал на любое устройство либо перекрывает дорогу / железнодорожный путь посредством подключенных шлагбаумов / светофоров / семафоров. Лавинный радар предназначен для обеспечения раннего предупреждения о лавинах и запуска сигнала тревоги. В случае схода лавины автомобильные и железнодорожные линии автоматически закрываются в течение нескольких секунд, а люди в опасной зоне надежно предупреждаются. Лавинный радар также применяется для работ по борьбе с лавиной, чтобы проверить успешность искусственно вызванной лавины [18].

Устройство акустического обследования склона дало возможность ежедневного получения информации о циклах таяния и замерзания в толще снега, которая может оказаться полезной для прогнозирования возможной лавины [19].

Метод дистанционного определения толщины снежного покрова в лавинных очагах с использованием лазерного дальномера закреплен в руководящем документе РД 52.37.789-2013, разработанном Федеральным государственным бюджетным учреждением «Высокогорный геофизический институт» (ФГБУ "ВГИ") Росгидромета [20]. Согласно РД дистанционное определение толщины снежного покрова в лавинных очагах проводят с использованием современного измерительного лазерного оборудования. Дальность дистанционных измерений зависит от технических характеристик используемого прибора. В качестве возможного варианта в методике рассмотрено применение тахеометра Leica TS09ultra 1"Arctic, позволяющего проводить измерения толщины снега на расстояниях до 1 км.

Любая технология лазерного сканирования предусматривает съемку с площадок, лежащих выше снимаемого объекта, обязательно с хорошей видимостью во все стороны: с вышки, с мачты, с пригорка, с крыши автомашины или вагона и т. д. Такой подход обеспечивает отображение на одном скане наибольшей площади снимаемой территории и плотности точек сканирования, что повышает информативность съемки, но ведет к дополнительным затратам на сооружение или поиск оптимальной площадки [21]. Так же используется линейно-угловой метод и метод лазерного сканирования для геодезических наблюдений по определению параметров положения точек границ распространения

снежных лавин. Этот метод способствует построению достоверной цифровой модели рельефа для определения границ лавиноопасных зон. Используется для этого электронный тахеометр и лазерный сканер. Но данный метод не предназначен для автоматизированных систем [22].

Машинное обучение может быть использовано для прогнозирования схода лавин и смягчения последствий аварий [23, 24].

Закключение. На основе изысканий, проведенных на первом этапе работы, получены и систематизированы сведения о лавиносборах Восточно-Казахстанской области. Установлена необходимость разработки методики на основе использования ГИС-технологий для выбора приоритетных горных склонов для размещения мониторинговых систем лавинной опасности.

Проанализированы методы автоматизированного мониторинга лавинной опасности. Для склонов ВКО выбран метод с использованием метеостанций с разработкой программного комплекса. При этом показатели, рассчитываемые системой, будут объединять: минимальную и максимальную температуру и ее динамику, статистику направлений и скорости ветра, наличие ветрового переноса, накопление снега за различные промежутки времени, статистику снегопадов и их прогноз. Эта разработка необходима для эффективного расходования средств на установку и обслуживание мониторинговых систем, снижение затрат на ликвидацию последствий и возмещение ущерба, наносимых лавинами. Но самое главное – она направлена на повышение безопасности условий проживания и перемещения людей, благодаря раннему предупреждению о возникновении чрезвычайной ситуации (лавины), на развитие безопасной транспортной и туристической инфраструктуры в горных районах, сохранение качества окружающей среды, от чего в итоге зависит повышение устойчивости экономики страны, ее человеческого капитала, повышение национальной безопасности и устойчивое развитие государства. Это обеспечит доступность оперативной информации как для государственных структур, промышленности, так и для граждан Республики Казахстан, позволит быстрее реагировать на возникновение возможных ЧС и разрабатывать эффективные программы по их предотвращению, реагировать на возникновение региональных последствий изменения климата.

Список литературы

1. Правила ведения наблюдений за селями, снежными лавинами и оползнями, утвержденные Приказом Председателя Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан от 5 марта 2016 года, № 63.
2. Методика оценки риска возникновения и определения селевых, лавинных явлений и оползневых процессов, утвержденная Приказом Председателя Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан от 5 марта 2016 года, № 63.
3. Гидрологическая информация о состоянии снега в горах – Казгидромет. – 2023. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/gidrologicheskaya-informaciya-o-sostoyanii-snega-v-gorah>
4. Лебедев О.М. Математические модели лавинных процессов для автоматизированных систем поддержки принятия управленческих решений в чрезвычайных ситуациях: Автореф. дис. канд. тех. наук. – Воронеж, 2012. – 16 с.
5. Гарнага В.В. Статистическая модель прогнозирования схода снежных лавин с нейросетевым управлением: Автореф. дис. канд. Физ.-матем. наук. – Краснодар, 2004. – 24 с.
6. Соловьев А.Ю. Геоинформационные методы исследования лавино-опасности на примере Хибинского горного массива: Автореф. дис. канд. геогр. наук. – М., 2002. – 24 с.
7. Лебедев О.М. Математическое моделирование поведения снежной массы на горном склоне / А.С. Соловьев, О.М. Лебедев, А.В. Калач // Вестник ВГТУ. 2011. – Т. 7. – № 4. – С.115-117.
8. Лебедев О.М. Мониторинг рисков возникновения и способы предотвращения чрезвычайных ситуаций связанных со сходом снежных лавин / О.М. Лебедев, А.С. Соловьев, А.В. Калач // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2012. – № 2(22). – С. 44-50.

9. Благовещенский В.П., Кондрашов В.П., Есеркепова И.Б., Гасснер М., Латенсер М. Опыт использования программы NXD2000 для прогноза лавин в Заилийском Алатау. – Материалы гляциологических исследований. – Москва, 2003. – Вып. 94. – С. 115-118.
10. Кондрашов И. В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. – Л., 1991. – 72 с.
11. Дяченко О.Н., Фастова Д.В., Куземин Ю.А. Прогнозирование лавинной опасности и принятие решений // Сб. материалов конференции «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции их развития». – Харьков: ХНУРЭ, 2006. – С. 290-291.
12. Лебедев О.М. «Лавина-С»: информационная система прогнозирования последствий схода лавин / О.М. Лебедев, А.С. Соловьёв, А.В. Калач// Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2012. – № 1. – С. 20-24.
13. Gassner M., H. Elter, K. Birkeland 2000. NXD2000: An improved avalanche forecasting program based on the nearest neighbor method. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop, Big Sky USA. – Pp. 22-30.
14. Благовещенский В., Мырзахметов М., Садвакасов Е. / Научные основы организации дистанционного мониторинга лавинной опасности в Иле Алатау// Институт географии МОН РК, КазННТУ им Сатпаева. – URL: <https://чс-ник.kz/opasnosti/sel/item/760-nauchnye-osnovy-organizatsii-distantsionnogo-monitoringa-lavinnoj-opasnosti-v-ile-alatau>
15. Предупреждения о лавинах компании «СенсАльпин», Lawinenwarnung-Schneemeteorologie. – URL: <https://www.sensalpin.ch/anwendungen/lawinenwarnung/>
16. Разработка программно-аппаратного комплекса Snowburst для анализа лавинной обстановки на горнолыжных курортах компании Skyward. – URL: <https://skyward.cc/snowburst>
17. «В «Красной Поляне» разработали инновационную систему определения лавинной опасности», 26.03.2021. – URL: <https://russian.rt.com/russia/news/846252-krasnaya-polyanya-lavinnyaya-opasnost>
18. Лавинный радар компании «Geopraevent». – URL: <https://www.geopraevent.ch/technologies/avalanche-radar/?lang=en>
19. Устройство акустического обследования склонов// URL: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/novyi-variant-prognozirovaniya-lavinnoi-opasnosti/>
20. РД 52.37.789-2013 Методика дистанционного определения толщины снежного покрова в лавинных очагах с использованием лазерного дальномера от 11 декабря 2013. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114790>
21. А. Л. Исаков, С. С. Шевчук, В. И. Юрченко/ Анализ применения метода наземного лазерного сканирования при съёмке лавиноопасных участков железных дорог. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-metoda-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-pri-syomke-lavinoopasnyh-uchastkov-zheleznyh-dorog/viewer>
22. Карагоз Абубакировна Ыстыкул/ Геодезические исследования по созданию цифровой модели лавиноопасных зон на территории Иле Алатау // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2015. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geodezicheskie-issledovaniya-po-sozdaniyu-tsifrovoy-modeli-lavinoopasnyh-zon-na-territorii-ile-alatau>.
23. Hannah Schurman/ Using Machine Learning to Forecast Avalanches and Mitigate Accidents, 30.11.2021. – URL: <https://medium.com/@hannah.schurman1/using-machine-learning-to-forecast-avalanches-and-mitigate-accidents-89623f7a64ef>
24. Viallon-Galinier, L., Hagenmuller, P., and Eckert, N.: Combining modelled snowpack stability with machine learning to predict avalanche activity // The Cryosphere, 17, 2245-2260. – <https://doi.org/10.5194/tc-17-2245-2023>, 2023.

References

1. Pravila vedeniya nablyudenij za selyami, snezhnymi lavinami i opolznyami, utverzhdennye Prikazom Predsedatelya Komiteta po chrezvychajnym situacijam Ministerstva vnutrennih del Respubliki Kazahstan ot 5 marta 2016 goda, № 63.
2. Metodika ocenki riska vznikoveniya i opredeleniya selevyh, lavinyh yavlenij i opolznevyh processov, utverzhdenная Prikazom Predsedatelya Komiteta po chrezvychajnym situacijam Ministerstva vnutrennih del Respubliki Kazahstan ot 5 marta 2016 goda, № 63.
3. Hidrologicheskaya informaciya o sostoyanii snega v gorah – Kazgidromet. – 2023. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/gidrologicheskaya-informaciya-o-sostoyanii-snega-v-gorah>
4. Lebedev O.M. Matematicheskie modeli lavinyh processov dlya avtomatizirovannyh sistem podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij v chrezvychajnyh situacijah: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Voronezh, 2012. – 16 s.

5. Garnaga V.V. Statisticheskaya model' prognozirovaniya skhoda snezhnyh lavin s nejrosetevym upravleniem: Avtoref. dis. kand. fiz.-matem. nauk. – Krasnodar, 2004. – 24 s.
6. Solov'ev A.YU. Geoinformacionnye metody issledovaniya lavino-opasnosti na primere Hibinskogo gornogo massiva: Avtoref. dis. kand. geogr. nauk. – M., 2002. – 24 s.
7. Lebedev O.M. Matematicheskoe modelirovanie povedeniya snezhnoj massy na gornom sklone/ A.C. Solov'yov, O.M. Lebedev, A.B. Kalach // Vestnik VGTU. 2011. – Т. 7. – № 4. – S. 115-117.
8. Lebedev O.M. Monitoring riskov vozniknoveniya i sposoby predotvrashcheniya chrezvychajnyh situacij svyazannyh so skhodom snezhnyh lavin / O.M. Lebedev, A.C. Solov'yov, A.B. Kalach// Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. – 2012. – №2(22). – S. 44-50.
9. Blagoveshchenskiy V.P., Kondrashov V.P., Eserkepova I.B., Gassner M., Latenser M. Opyt ispol'zovaniya programmy NXD2000 dlya prognoza lavin v Zailijskom Alatau // Materialy glyaciologicheskikh issledovaniy. – Moskva, 2003. – Vyp. 94. – S. 115-118.
10. Kondrashov I. V. Prognoz lavin i nekotoryh harakteristik snezhnosti v gorah Kazahstana. – L., 1991. – 72 s.
11. Dyachenko O.N., Fastova D.V., Kuzemin YU.A. Prognozirovanie lavinnoj opasnosti i prinyatie reshenij// Sb. materialov konferencii «Global'nye informacionnye sistemy. Problemy i tendencii ih razvitiya». – Har'kov: HNURE, 2006. – S. 290-291.
12. Lebedev O.M. «Lavina-S»: informacionnaya sistema prognozirovaniya posledstvij skhoda lavin/ O.M. Lebedev, A.C. Solov'yov, A.B. Kalach // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. – 2012. – №1. - S. 20 - 24.
13. Gassner M., H. Elter, K. Birkeland 2000. NXD2000: An improved avalanche forecasting program based on the nearest neighbor method. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop, Big Sky USA, pp. 22-30.
14. Blagoveshchenskiy V., Myrzahmetov M., Sadvakasov E./ Nauchnye osnovy organizatsii distancionnogo monitoringa lavinnoj opasnosti v Ile Alatau // Institut geografii MON RK, KazNITU im Satpaeva. – URL: <https://chs-nik.kz/opasnosti/sel/item/760-nauchnye-osnovy-organizatsii-distantsionnogo-monitoringa-lavinnoj-opasnosti-v-ile-alatau>
15. Preduprezhdeniya o lavinah kompanii «SensAl'pin», Lawinenwarnung-Schneemeteorologie. – URL: <https://www.sensalpin.ch/anwendungen/lawinenwarnung/>
16. Razrabotka programmno-apparatnogo kompleksa Snowburst dlya analiza lavinnoj obstanovki na gornolyzhnyh kurortah kompanii Skyward. – URL: <https://skyward.cc/snowburst>
17. «V «Krasnoj Polyane» razrabotali innovacionnyuyu sistemu opredeleniya lavinnoj opasnosti», 26.03.2021. – URL: <https://russian.rt.com/russia/news/846252-krasnaya-polyanya-lavinnaya-opasnost>
18. Lavinnyj radar kompanii «Geopraevent». – URL: <https://www.geopraevent.ch/technologies/avalanche-radar/?lang=en>
19. Ustrojstvo akusticheskogo obsledovaniya sklonov. – URL: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/novyi-variant-prognozirovaniya-lavinnoi-opasnosti/>
20. RD 52.37.789-2013 Metodika distancionnogo opredeleniya tolshchiny snezhnogo pokrova v lavinnyh ochagah s ispol'zovaniem lazernogo dal'nomena ot 11 dekabrya 2013. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114790>
21. A.L. Isakov, S.S. Shevchuk, V.I. Yurchenko / Analiz primeneniya metoda nazemnogo lazernogo skanirovaniya pri s'yomke lavinoopasnyh uchastkov zheleznyh dorog. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-metoda-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-pri-syomke-lavinoopasnyh-uchastkov-zheleznyh-dorog/viewer>
22. Karagoz Abubakirovna Ystykul/ Geodezicheskie issledovaniya po sozdaniyu cifrovoj modeli lavinoopasnyh zon na territorii Ile Alatau (Karagoz A. Ystykul/ Geodesic researches on creation of digital model of avalanche zones on territory Ile Alatau). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geodezicheskie-issledovaniya-po-sozdaniyu-tsifrovoy-modeli-lavinoopasnyh-zon-na-territorii-ile-alatau>
23. Hannah Schurman/ Using Machine Learning to Forecast Avalanches and Mitigate Accidents, 30.11.2021. – URL: <https://medium.com/@hannah.schurman1/using-machine-learning-to-forecast-avalanches-and-mitigate-accidents-89623f7a64ef>
24. Viallon-Galinier, L., Hagenmuller, P., and Eckert, N.: Combining modelled snowpack stability with machine learning to predict avalanche activity // The Cryosphere, 17, 2245-2260. – <https://doi.org/10.5194/tc-17-2245-2023>, 2023.