



УДК 551.4.08; 528.88
МРНТИ 36.23.35; 38.47.51; 89.57.35; 89.57.25
DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.98(2).83

¹Денисова Н.Ф., ¹Петрова О.А., ¹Даумова Г.К., ²Чепашев Д.В., ²Сагатдинова Г.Н., ²Кабдулова Г.А.

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан
²ТОО «Институт ионосферы», Алматы, Казахстан

E-mail: g.a.kabdulova@gmail.com, ndenisova@edu.ektu.kz, opetrova@edu.ektu.kz,
gdaumova@edu.ektu.kz, d.chepashev@ionos.kz, gulshatn@rambler.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЦМР ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЛАВИНООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Одним из основных факторов лавинообразования является рельеф местности. Изучение лавиноопасной территории — это первый шаг при оценке лавинного риска. Геоморфологические факторы играют ключевую роль во влиянии на устойчивость снежного покрова и возникновение лавин. Взаимодействие нескольких ключевых особенностей рельефа, таких как высота, уклон, экспозиция и неровность рельефа, определяют условия, при которых лавины наиболее вероятны.

Различные элементы рельефа способствуют накоплению снега, создают условия для его схода и зачастую определяют масштабы возможного схода лавин. Рельеф местности является основным геоморфологическим фактором при выявлении лавиноопасных территорий и возможности разработки методики выбора приоритетных горных склонов для размещения мониторинговых систем лавинной опасности.

В этой статье рассматриваются современные методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для выявления лавиноопасных участков с применением наиболее эффективных и достоверных современных методов.

Результатами исследования являются проведение геоморфометрического анализа склонов, определение сроков залегания и обрушения снежного покрова, определение приоритетных участков для размещения мониторинговых систем лавинной опасности. Эти результаты будут способствовать оптимизации размещения мониторинговых систем и повышению точности прогнозов лавинной угрозы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли; ЦМР; рельеф местности; снежные лавины; лавиноопасность; космические снимки; обработка данных; геоморфологические факторы; ГИС; Восточно-Казахстанская область.

Введение

Лавиной называется снежный покров на склонах гор, который в определенных условиях теряет устойчивость и начинает двигаться вниз по склону под действием силы тяжести, и движущаяся вниз масса снега захватывает и вовлекает в движение все новые массы снега и низвергается вниз [1]. Лавины возникают преимущественно в горных районах с крутыми склонами и вызываются сложным взаимодействием метеорологических условий, особенностей рельефа и характеристик снежного покрова [2].

Основными факторами, способствующими образованию снежных лавин, являются рельеф горных территорий и наличие снежного покрова на склонах, а устойчивость снежного покрова зависит от следующих факторов: погодные условия (осадки, температура, ветер) и физико-механические свойства снега.



Научные исследования лавин в Казахстане проводятся Институтом географии и водной безопасности с 1960-х годов. В настоящее время в институте работает лаборатория природных опасностей. Сотрудниками института составлены карты лавинной опасности горных районов Казахстана [3].

Снежные лавины в Казахстане - распространенное природное явление, представляющее угрозу местному населению, проведению хозяйственной деятельности, наносящий ущерб инфраструктуре на территории горной местности и т.д. И дистанционное зондирование позволяет обеспечивать объективные, безопасные и непрерывные наблюдения за снежными лавинами.

В целом по Казахстану отмечается 619 опасных участков, связанных с лавинами (в т.ч., и ВКО). Начало зимы и весны считаются самыми неблагоприятными периодами, когда начинается лавинная активность. По имеющимся прогнозам, лавинная активность возрастет с февраля по апрель, и вероятность самопроизвольных сходов лавин увеличится [4].

Объектом исследования являются лавиноопасные зоны Восточно-Казахстанской области (ВКО), характеризующиеся высоким риском снежных лавин из-за обильных осадков и обширных горных склонов, подверженных лавинообразным процессам. В условиях интенсивных снегопадов значительно увеличивается вероятность спонтанных сходов лавин, что требует увеличения объемов профилактических спусков на опасных участках.

ВКО расположена на крайнем востоке страны. Большую часть территории занимают Алтайские и Саур-Тарбагатайские горы и Калбинский горный хребет, где высоты достигают до 3000–4000 м [5]. Климат резко континентальный с продолжительной, холодной и вьюжной, зимой (со средней температурой января от - 25 С° до - 40 С°) и жарким, сухим летом (со средней температурой июля от + 21 С° до + 32 С°). В отдельные годы толщина снежного покрова достигает 2-3-х годовых норм [6].

В данной статье основной акцент направлен на геоморфологические факторы лавиноопасных территорий ВКО по данным ДЗЗ.

Материалы и методы исследования

В настоящее время наблюдения за лавинами осуществляются наземными методами. Они проводятся на наиболее опасных участках с регулярными метеорологическими и снеголавинными наблюдениями. Однако основной недостаток этих методов - это фрагментарность данных о состоянии склонов.

В работе были использованы следующие методы исследования:

- методы тематической обработки и анализа космических снимков;
- использование различных индексов, построенных по ЦМР для оценки рельефа местности.

Геоморфологический анализ склонов проведен с использованием ЦМР среднего пространственного разрешения – SRTM (30 м), рассчитаны уклоны местности и экспозиция склонов, проведен геоморфометрический анализ, где помимо крутизны склонов важную роль играют и другие морфометрические характеристики, в том числе индекс неровности рельефа (Terrain Ruggedness Index, TRI), топографический позиционный индекс (Topographic Position Index, TPI) и др. По результатам расчетов индексов были составлены соответствующие карты.

Индекс неровности рельефа (TRI) позволяет оценить, насколько изрезанным и разнообразным является рельеф в конкретной местности. Его расчет также осуществляется с использованием ЦМР, для которого в каждой точке растра рассчитывается уклон в разных направлениях. Затем определяются расстояния между пиками и впадинами в соответствии с заданным окном поиска. В результате на основе полученных величин и рассчитывается окончательное значение индекса TRI.



Топографический позиционный индекс представляет (ТПИ) собой количественный показатель, который характеризует относительное положение точки на ЦМР по отношению к среднему значению высот в ее окрестности. Иными словами, ТПИ позволяет оценить, насколько точка возвышается или углубляется относительно окружающего рельефа. Расчет ТПИ основан на сравнении высоты конкретной точки со средним значением высот в определенном радиусе вокруг нее. Этот радиус называется окном или окрестностью. В общем виде формула расчета ТПИ рассчитывается как разность между высотой текущей точки и средним значением высот в окне.

Положительное значение ТПИ означает, что точка находится выше среднего уровня окружающего рельефа (например, вершина холма). Отрицательное значение ТПИ означает, что точка находится ниже среднего уровня окружающего рельефа (например, дно долины). Нулевое значение ТПИ означает, что точка находится на среднем уровне окружающего рельефа.

Также довольно информативным параметром для анализа рельефа на предмет выявления лавиноопасных территорий является кривизна поверхности в различных направлениях. Существует два основных метода расчета кривизны рельефа это: кривизна вдоль профиля уклона и кривизна в плане.

Кривизна по профилю описывает угол максимального уклона, что позволяет оценить влияние рельефа на ускорение и замедление потоков на поверхности. Отрицательное значение растра показывает, что поверхность растра в данной точке выпуклая и можно предположить, что потоки в данном месте будут замедляться. Положительные значения растра указывают на вогнутость поверхности, что приводит к ускорению потоков. Значение растра равное нулю указывает на то, что поверхность линейная.

Плановая кривизна рассчитывается как перпендикуляр к направлению максимального уклона. Положительное значение ячеек растра указывает на то, что поверхность в этой ячейке горизонтально-выпуклая (хребты). Отрицательное значение указывает на то, что поверхность в этой ячейке горизонтально-вогнутая. Значение «0» указывает на то, что поверхность линейная.

На космических снимках невозможно определить момент схода лавины, но можно обнаружить и картировать результат отложения лавины. По данным ЦМР рассчитывается уклон местности определённого участка. Полученный слой ранжируется на различные зоны, согласно геоморфологическим факторам лавинообразования: зарождения (35-45°), транзита (20-30°), отложения (менее 15°).

Анализ факторов, влияющих на лавинообразование, подчеркивает важность комплексного подхода к оценке риска лавин. Взаимосвязь между метеорологическими условиями, характеристиками снежного покрова и геоморфологическими особенностями территории определяет вероятность лавинной активности в горных районах. Высота рельефа, уклон, экспозиция и другие параметры напрямую влияют на устойчивость снежного покрова, а дистанционное зондирование позволяет точнее картировать и анализировать лавиноопасные зоны, выделяя приоритетные участки для профилактики.

В этом плане методы ДЗЗ и космического мониторинга имеют важные преимущества для исследования лавин и оценки лавинного риска. Эти технологии обеспечивают безопасный доступ к труднодоступным горным районам и позволяют регулярно получать точные данные о высоте и плотности снежного покрова, рельефе и метеорологических условиях, что критично для своевременного прогнозирования лавин. Спутниковые данные позволяют повышать точность прогнозов, что делает мониторинг более эффективным и безопасным.

*Результаты исследования*

Обычно лавины образуются во время или после сильного снегопада, когда накапливаются новые слои снега, значительно увеличивая вес существующего снежного покрова. Это накопление дестабилизирует снежный покров, заставляя большую массу снега отрываться и сползать вниз по склону, унося с собой дополнительный снег и сопутствующий мусор на своем пути [7]. Несмотря на низкую частоту возникновения, лавины являются катастрофическими природными явлениями, которые могут существенно повлиять на жизнь, инфраструктуру и экосистемы [2].

Высота рельефа местности определяет характеристики снежного покрова, необходимые для лавинной активности. Она влияет на формирование лавин, влияя на климатические условия, такие как снегопад, ветер и температура. Как правило, более высокие высоты связаны с большим количеством снегопадов и продолжительным снежным покровом, что увеличивает вероятность схода лавин в зимний сезон [8]. Однако на высотах ниже 1000 метров более теплые условия часто приводят к образованию менее связанных слоев снега, что снижает частоту и интенсивность схода лавин [2]. Изменчивость климатических условий на разных высотах напрямую влияет на пространственное распределение случаев схода лавин, делая высоту ключевым фактором в оценке риска лавин [9].

В работе был проведен расчет уклонов местности и экспозиции склонов по ЦМР среднего пространственного разрешения.

Уклон местности является одним из наиболее значимых геоморфологических факторов, рассматриваемых в исследованиях снегонакопления и лавин. Значение наклона склона критически влияет на динамику лавин. Лавины в основном возникают на склонах с углом от 25° до 50° , где гравитационное притяжение снежного покрова превышает сопротивление трения снежного слоя [10, 11]. По мере увеличения градиента склона, особенно свыше 36° , вероятность схода лавин возрастает из-за измененного распределения сил в снежном слое и изменений толщины снежного покрова. Это изменение не только влияет на устойчивость, увеличивая касательное напряжение, но и изменяя глубину и плотность снежного покрова из-за неравномерного отложения снега [12]. Это подтверждается обширными исследованиями, показывающими, что склоны между 28° и 60° особенно подвержены лавинам, поскольку более крутые склоны могут не допускать достаточного накопления снега, в то время как более пологие склоны ниже 10° обычно не поддерживают достаточную снеговую нагрузку для возникновения лавины. Несколько исследований подчеркивают, что при определенных условиях, особенно при более мокром снеге или во время быстрого повышения температуры, даже незначительные изменения в уклоне могут резко увеличить вероятность схода лавины [13, 14]. Снег плохо удерживается на крутых склонах и относительно редко откладываются массы снежного покрова. Поэтому склоны с крутизной от 25 до 50° определяются как наиболее лавиноопасными [15]. Для расчета уклонов изучаемой местности в качестве источника данных ЦМР была использована SRTM, выполненная Геологической службой США (USGS), с пространственным разрешением 30 м [16].

Авторами статьи была опубликована статья по созданию ЦМР по данным стереосъемки с казахстанского спутника KazEOSat-1 (1м) для изучения почв [17], а в данной работе рассматривается извлечение информации из ЦМР для задач лавиноопасных территорий.

На рисунке 1 каждому пикселю изображения присвоено соответствующее значение уклона, где более светлые пиксели характеризуются более пологим характером рельефа. Экспозиция склона рассчитывается как азимут наибольшего уклона, т.е. направление, в котором поверхность имеет наибольший наклон. Рассчитанная экспозиция имеет в каждой своей ячейке определенное значение. Оно измеряется в

градусах от 0 до 360, при этом плоские области, не имеющие направление вниз по склону, присваивается значение 1 [18]. Все расчеты сделаны по данным SRTM.

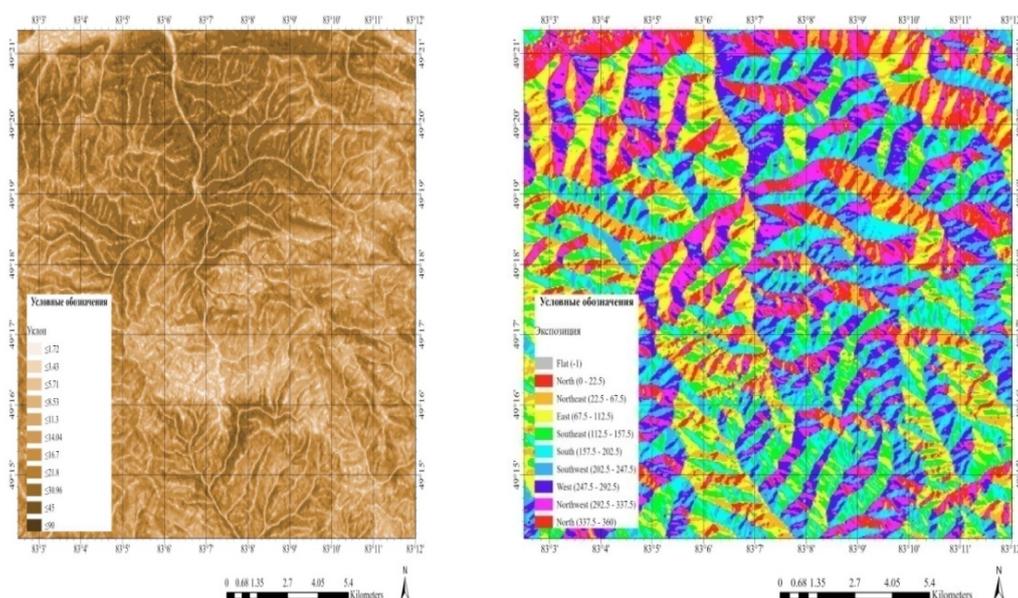


Рисунок 1 - Фрагменты уклона рельефа (слева) и рассчитанной экспозиции склона (справа) для территории ВКО.

Рельеф склона определяют степень лавинной опасности. Когда снег движется вниз по склону, то на выпуклых формах рельефа возникают растягивающие напряжения (контуры высоких напряжений), а во впадинах сжимающие. Где сжатие – снег стабилен, а в зоне растяжения степень лавинной опасности высока.

Для анализа характеристик были выбраны основные лавиносоры ВКО с использованием топографических параметров (высота, экспозиция, уклон) на основе данных SRTM и полевых исследований: вдоль реки Ак Берел (от 1000 м у подножья до 2000 м на СЗ склонах), в месте слияния рек Бухтырма и Белая, расположен между н.п. Барлык, Аксу, Согорное, Ушбулак (1100 м, со склонами ЮЗ экспозиции), в районе н.п. Горная Ульбинка (350–600 м и ориентирован на ЮЗ, до 55°), вдоль р. Пихтовка, расположенный на СЗ стороне, в 8 км от г. Серебрянск, соединяющая н.п. Березовка, Александровка и Северное (от 465 до 850 м, до 35°, относительно пологий характер склонов), в области Богатыревской копи и с. Зубовка, с. Малеевск (от 350 до 850 м. ориентированы на СВ, до 45°), вдоль р. Лайлы, между селами Таинты, Шубаркайын, Раздольное, Мирюлюбовка и г. Самарское на Самарском шоссе (600–850 м, а в районе р. Таинты от 1000 м до 1300 м. С западной и восточной сторон, от 15° до 35°).

Выявленные лавиносоры ВКО представляют значительную угрозу для местного населения и инфраструктуры, особенно вблизи дорог и населенных пунктов, из-за крутых склонов и условий, способствующих сходу лавин.

Наземные данные в разных горных районах показывают, что чаще всего лавины образуются на склонах крутизной от 30° до 40° градусов. Однако известны случаи схода снежных лавин как с меньшими, так и с большими углами наклона. В связи с этим некоторые исследователи предлагали снизить критическую крутизну склона до 15°-17° градусов или вовсе отказаться от этого параметра [19].



Таким образом, с учетом вышеизложенного было проведено ранжирование полученных уклонов поверхности по данным SRTM на 5 классов и составлена карта (рисунок 2): 1 класс: 0-15° - равнина и зона отложения (фиолетовый цвет); 2 класс: 15-25° - зона отложения (зеленый цвет); 3 класс: 25-35° - зона транзита и зона зарождения (оранжевый цвет); 4 класс: 35-45° - зона зарождения (голубой цвет); 5 класс: 45-90° - крутой склон (желтый цвет) .

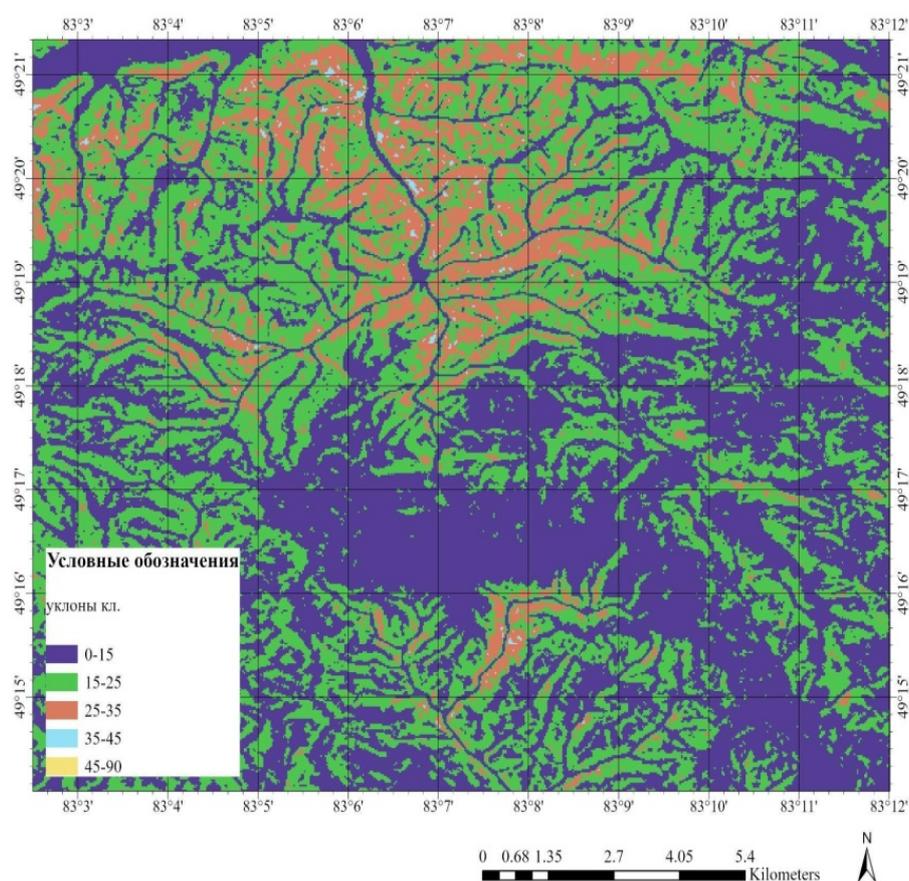


Рисунок 2 - Фрагмент ранжированного уклона рельефа для территории ВКО

Данное разделение на классы в зависимости от угла уклона позволило выделить верхние и нижние границы лавиносборов, а также разделить опасные участки склона на условные зоны отложения, транзита и зарождения лавин в соответствии с принятой классификацией. Все эти расчеты были выполнены и созданы соответствующие карты-схемы.

Результатами исследования стали создание ЦМР и результаты анализа индексов лавиносборов, что позволило точно определить приоритетные участки для размещения мониторинговых систем лавинной опасности и провести геоморфометрический анализ склонов, расчет уклонов и экспозиции, а также определение сроков залегания и обрушения снежного покрова.

Используя все вышеописанные индексы, расчеты, выполнен результат ранжирования, согласно геоморфологическим факторам лавинообразования и показан на



рисунке 3 в цветовой гамме: красный цвет - зона зарождения (35-45°), белый цвет - зона транзита (20-30°) и зеленый цвет - зона отложения (менее 15°).

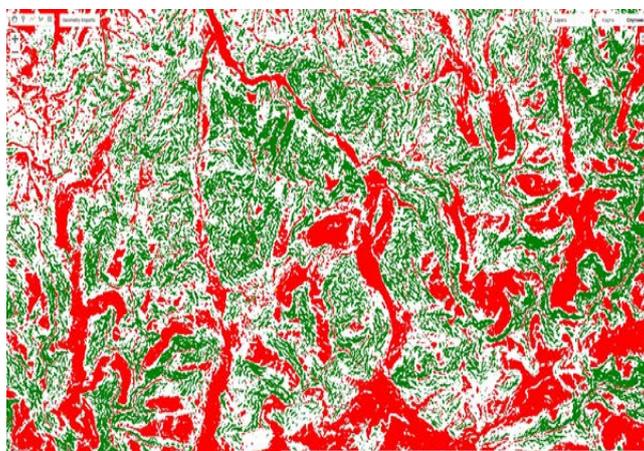


Рисунок 3 - Ранжирование территории по геоморфологическим факторам лавинообразования.

И конечным результатом всех работ является карта рассчитанных лавиноопасных территорий, рассчитанных по SRTM, и чем детальней будет исходный ЦМР, тем точнее, соответственно, будет информация на карте.

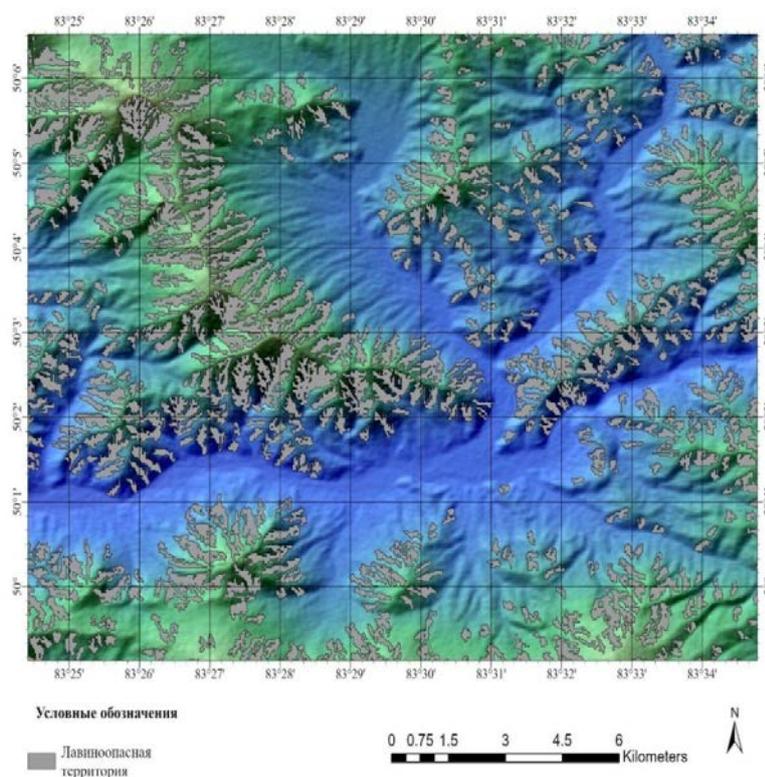


Рисунок 4 - Пример рассчитанных лавиноопасных территорий на ВКО



(показан серым цветом)

Таким образом, используя и анализируя спутниковые данные, получены цифровые карты лавиноопасных территорий ВКО (рисунок 4), которые можно совмещать с любыми имеющимися слоями, для быстрого реагирования и принятия решения службами МЧС РК и местных исполнительных органов, также своевременного оповещения населения области о имеющихся угрозах и проведения превентивных мероприятий.

Заключение

Практическая значимость работы заключается в разработке методики выбора приоритетных склонов для размещения мониторинговых систем, что позволит эффективно отслеживать и прогнозировать лавинные процессы, повышая точность и своевременность предупреждений. Это снизит угрозу для населения и инфраструктуры, оптимизирует использование ресурсов для профилактики чрезвычайных ситуаций и улучшит планирование мероприятий по предотвращению лавинных сходов.

Проведено ранжирование полученных уклонов поверхности по данным SRTM на 5 классов и составлена карта.

Проведен геоморфометрический анализ склонов с использованием индексов Terrain Ruggedness Index (TRI) и Topographic Position Index (TPI), который позволил определить участки, подверженные высоким рискам лавинообразования

Выполнен расчет уклонов местности и экспозиции склонов по ЦМР среднего пространственного разрешения. Определено, что наибольшую опасность представляет интервал крутизны склонов в диапазоне 25°-50°. Выполнен анализ характеристик основных лавиносборов в ВКО с использованием таких топографических показателей, как высота, экспозиция и уклон склонов, на основе применения ЦМР.

Создана карта лавиноопасных территорий по данным SRTM, которая позволяет повысить точность прогнозов лавиноопасных территорий.

Благодарности

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН BR21882022 «Исследование лавинной активности в Восточно-Казахстанской области для разработки систем мониторинга и научного обоснования их размещения»). Авторы выражают благодарность сотрудникам Департамента по чрезвычайным ситуациям ВКО и филиала РГП «Казгидромет» по ВКО за техническую помощь при организации полевых работ и консультации по вопросам лавинообразования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Войтковский К.Ф. Лавиноведение: Учеб. пособие. - М.: Изд-во МГУ, 1989. - 105 с.
- [2] Varol N. Avalanche susceptibility mapping with the use of frequency ratio, fuzzy and classical analytical hierarchy process for Uzungol area, Turkey //Cold Regions Science and Technology. – 2022. – Т. 194. – С. 103439.
- [3] Жданов В.В. Основы лавинной безопасности. – Алматы, 2021. –192 с.
- [4] МЧС предупреждает об опасности схода лавин [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/>.
- [5] Чодураев Т. М., Намазбаева З. Е. Оценка природных туристско-рекреационных ресурсов Восточно-Казахстанской области//Известия Ошского технологического университета. – 2020. – №. 1. – С. 199-206.
- [6] Организация работ по ликвидации последствий от стихийных природных явлений на СРЭУ ГУ "Казселезащита" КЧС МВД Республики Казахстан [Электронный ресурс]/Режим



доступа: https://studwood.net/935943/bzhd/organizatsiya_rabot_po_likvidatsii_posledstviy_ot_stihiynyh_prirodnyh_yavleniy_na_sreu_gu_kazselezaschita

[7] McClung D. M. Avalanche character and fatalities in the high mountains of Asia //Annals of Glaciology. – 2016. – Т. 57. – №. 71. – С. 114-118.

[8] Kumar S., Srivastava P. K., Snehmani. GIS-based MCDA–AHP modelling for avalanche susceptibility mapping of Nubra valley region, Indian Himalaya //Geocarto International. – 2017. – Т. 32. – №. 11. – С. 1254-1267.

[9] Selcuk L. An avalanche hazard model for Bitlis Province, Turkey, using GIS based multicriteria decision analysis //Turkish Journal of Earth Sciences. – 2013. – Т. 22. – №. 4. – С. 523-535.

[10] Akay H. Spatial modeling of snow avalanche susceptibility using hybrid and ensemble machine learning techniques //Catena. – 2021. – Т. 206. – С. 105524.

[11] Liu Y. et al. Snow avalanche susceptibility mapping from tree-based machine learning approaches in ungauged or poorly-gauged regions //Catena. – 2023. – Т. 224. – С. 106997.

[12] Reuter B. et al. Relating simple drivers to snow instability //Cold Regions Science and Technology. – 2015. – Т. 120. – С. 168-178.

[13] Grenier J., Bhiry N., Decaulne A. Meteorological conditions and snow-avalanche occurrence over three snow seasons (2017–2020) in Tasiapik Valley, Umiujaq, Nunavik //Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2023. – Т. 55. – №. 1. – С. 2194492.

[14] Součková M. et al. What weather variables are important for wet and slab avalanches under a changing climate in a low-altitude mountain range in Czechia? //Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2022. – Т. 22. – №. 10. – С. 3501-3525.

[15] Maggioni M., Gruber U. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency //Cold Regions Science and Technology. – 2003. – Т. 37. – №. 3. – С. 407-419.

[16] SRTM. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm> [Электронный ресурс].

[17] Бактыбеков К.С., Кабжанова Г.Р, Кабдулова Г.А., Кеженева А. Использование ЦМР как элемента цифрового почвенного картографирования территории Северного Казахстана//Вестник ЗКГУ, выпуск 4 (76).-Уральск, 2019. – С.525-532

[18] E.J.Krakiwsky, and D.E.Wells. Coordinate systems in geodesy (Geodesy and geomatics engineering, unb), Lecture notes). – 1971. – No16. – С. 18-38.

[19] Аккуратов В. Н., Красносельский Э. Б., Иткин В. А. О расчёте максимальной дальности выброса снежных лавин //Снег и лавины Хибин/Отв. ред. ГК Тушинский. М.: МГУ. – 1967. – С. 349-356

REFERENCES

[1] Voitkovskiy K.F. Lavinovedenie: Ucheb. posobie. – М.: Izd-vo MGU, 1989. – 105 s. [Voitkovsky K.F. Avalanche Studies: Textbook. – Moscow: Moscow State University Press, 1989. – 105 p.]

[2] Varol N. Avalanche susceptibility mapping with the use of frequency ratio, fuzzy and classical analytical hierarchy process for Uzungol area, Turkey // Cold Regions Science and Technology. – 2022. – Т. 194. – S. 103439. [Varol N. Avalanche susceptibility mapping with the use of frequency ratio, fuzzy and classical analytical hierarchy process for Uzungol area, Turkey // Cold Regions Science and Technology. – 2022. – Vol. 194. – P. 103439.]

[3] Zhdanov V.V. Osnovy lavinnoy bezopasnosti. – Almaty, 2021. – 192 s. [Zhdanov V.V. Fundamentals of Avalanche Safety. – Almaty, 2021. – 192 p.]

[4] MChS preduprezhdaet ob opasnosti skhoda lavin [Elektronnyy resurs]/ Rezhim dostupa: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/>. [Ministry of



Emergency Situations warns about avalanche danger [Electronic resource]/ Access mode: [https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/.](https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/)

[5] Choduraev T.M., Namazbaeva Z.E. Otsenka prirodnykh turistsko-rekreatsionnykh resursov Vostochno-Kazakhstanskoy oblasti // Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2020. – № 1. – S. 199–206. [Choduraev T.M., Namazbayeva Z.E. Assessment of Natural Tourist and Recreational Resources of East Kazakhstan Region // Bulletin of Osh Technological University. – 2020. – No. 1. – P. 199–206.]

[6] Organizatsiya rabot po likvidatsii posledstviy ot stikhiynykh prirodnykh yavleniy na SREU GU "Kazselezaschita" KChS MVD Respubliki Kazakhstan [Elektronnyy resurs]/ Rezhim dostupa:

https://studwood.net/935943/bzhd/organizatsiya_rabot_po_likvidatsii_posledstviy_ot_stikhiynykh_prirodnykh_yavleniy_na_sreu_gu_kazselezaschita [Organization of Work on Elimination of Consequences of Natural Disasters at the Specialized Response Unit "Kazselezashchita" of the Emergency Committee of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]/ Access: <https://studwood.net/935943/...>]

[7] McClung D.M. Avalanche character and fatalities in the high mountains of Asia // Annals of Glaciology. – 2016. – T. 57. – № 71. – S. 114–118. [McClung D.M. Avalanche character and fatalities in the high mountains of Asia // Annals of Glaciology. – 2016. – Vol. 57. – No. 71. – P. 114–118.]

[8] Kumar S., Srivastava P.K., Snehmani. GIS-based MCDA–AHP modelling for avalanche susceptibility mapping of Nubra valley region, Indian Himalaya // Geocarto International. – 2017. – T. 32. – № 11. – S. 1254–1267. [Kumar S., Srivastava P.K., Snehmani. GIS-based MCDA–AHP modelling for avalanche susceptibility mapping of Nubra Valley Region, Indian Himalaya // Geocarto International. – 2017. – Vol. 32. – No. 11. – P. 1254–1267.]

[9] Selcuk L. An avalanche hazard model for Bitlis Province, Turkey, using GIS based multicriteria decision analysis // Turkish Journal of Earth Sciences. – 2013. – T. 22. – № 4. – S. 523–535. [Selcuk L. An avalanche hazard model for Bitlis Province, Turkey, using GIS-based multicriteria decision analysis // Turkish Journal of Earth Sciences. – 2013. – Vol. 22. – No. 4. – P. 523–535.]

[10] Akay H. Spatial modeling of snow avalanche susceptibility using hybrid and ensemble machine learning techniques // Catena. – 2021. – T. 206. – S. 105524. [Akay H. Spatial Modeling of Snow Avalanche Susceptibility Using Hybrid and Ensemble Machine Learning Techniques // Catena. – 2021. – Vol. 206. – P. 105524.]

[11] Liu Y. et al. Snow avalanche susceptibility mapping from tree-based machine learning approaches in ungauged or poorly-gauged regions // Catena. – 2023. – T. 224. – S. 106997. [Liu Y. et al. Snow Avalanche Susceptibility Mapping from Tree-Based Machine Learning Approaches in Ungauged or Poorly-Gauged Regions // Catena. – 2023. – Vol. 224. – P. 106997.]

[12] Reuter B. et al. Relating simple drivers to snow instability // Cold Regions Science and Technology. – 2015. – T. 120. – S. 168–178. [Reuter B. et al. Relating Simple Drivers to Snow Instability // Cold Regions Science and Technology. – 2015. – Vol. 120. – P. 168–178.]

[13] Grenier J., Bhiry N., Decaulne A. Meteorological conditions and snow-avalanche occurrence over three snow seasons (2017–2020) in Tasiapik Valley, Umiujaq, Nunavik // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2023. – T. 55. – № 1. – S. 2194492. [Grenier J., Bhiry N., Decaulne A. Meteorological Conditions and Snow-Avalanche Occurrence Over Three Snow Seasons (2017–2020) in Tasiapik Valley, Umiujaq, Nunavik // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2023. – Vol. 55. – No. 1. – P. 2194492.]

[14] Součková M. et al. What weather variables are important for wet and slab avalanches under a changing climate in a low-altitude mountain range in Czechia? // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2022. – T. 22. – № 10. – S. 3501–3525. [Součková M. et al. What Weather Variables Are Important for Wet and Slab Avalanches Under a Changing



Climate in a Low-Altitude Mountain Range in Czechia? // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2022. – Vol. 22. – No. 10. – P. 3501–3525.]

[15] Maggioni M., Gruber U. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency // Cold Regions Science and Technology. – 2003. – Т. 37. – № 3. – S. 407–419. [Maggioni M., Gruber U. The Influence of Topographic Parameters on Avalanche Release Dimension and Frequency // Cold Regions Science and Technology. – 2003. – Vol. 37. – No. 3. – P. 407–419.]

[16] SRTM. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm> [Elektronnyy resurs]. [SRTM. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm> [Electronic resource].]

[17] Baktybekov K.S., Kabzhanova G.R., Kabdulova G.A., Kezheneva A. Ispol'zovaniye TsMR kak elementa tsifrovogo pochvennogo kartografirovaniya territorii Severnogo Kazakhstana // Vestnik ZKGU, vypusk 4 (76). – Uralsk, 2019. – S. 525–532. [Baktybekov K.S., Kabzhanova G.R., Kabdulova G.A., Kezheneva A. Use of DEM as an Element of Digital Soil Mapping in Northern Kazakhstan // Bulletin of West Kazakhstan State University, Issue 4 (76). – Uralsk, 2019. – P. 525–532.]

[18] Krakiwsky E.J., Wells D.E. Coordinate systems in geodesy (Geodesy and Geomatics Engineering, UNB), Lecture notes. – 1971. – No. 16. – S. 18–38. [Krakiwsky E.J., Wells D.E. Coordinate Systems in Geodesy (Geodesy and Geomatics Engineering, UNB), Lecture Notes. – 1971. – No. 16. – P. 18–38.]

[19] Akkuratov V.N., Krasnoselskiy E.B., Itkin V.A. O raschyote maksimal'noy dal'nosti vybrosa snezhnykh lavin // Sneg i laviny Khibin / Otv. red. G.K. Tushinskiy. – M.: MGU, 1967. – S. 349–356. [Akkuratov V.N., Krasnoselskiy E.B., Itkin V.A. On the Calculation of the Maximum Range of Snow Avalanche Discharge // Snow and Avalanches of the Khibiny / Ed. G.K. Tushinsky. – Moscow: Moscow State University, 1967. – P. 349–356.]

**Денисова Н.Ф., Петрова О.А., Даумова Г.К., Чепашев Д.В., Сагатдинова Г.Н.,
Кабдулова Г.А.**

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ҚАР КӨШКІНІ ҚАУПІ БАР АЙМАҚТАРДЫ АНЫҚТАУ ҮШІН ЖЕРДІҢ САНДЫҚ МОДЕЛІН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа. Қар көшкінін қалыптастырудың негізгі факторларының бірі жер бедері болып табылады. Қар көшкіні аймағын зерттеу - көшкін қаупін бағалаудың алғашқы қадамы. Қар жамылғысының тұрақтылығына және көшкіндердің пайда болуына әсер етуде геоморфологиялық факторлар шешуші рөл атқарады. Биіктік, еңіс, экспозиция және жер бедерінің тегіс еместігі сияқты бірнеше негізгі рельеф ерекшеліктерінің өзара әрекеттесуі көшкіндердің ең ықтимал болатын жағдайларын анықтайды.

Рельефтің әртүрлі элементтері қардың жиналуына ықпал етеді, оның еруіне жағдай жасайды және жиі болуы мүмкін көшкіндердің масштабын анықтайды. Жер бедері көшкін қаупі бар аймақтарды анықтаудағы негізгі геоморфологиялық фактор және көшкін қаупін бақылау жүйелерін орналастыру үшін басым тау беткейлерін таңдау әдістемесін әзірлеу мүмкіндігі болып табылады.

Бұл мақалада ең тиімді және сенімді заманауи әдістерді қолдана отырып, көшкін қаупі бар аймақтарды анықтаудың Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) заманауи әдістері қарастырылады.

Зерттеу нәтижелеріне еңістердің геоморфометриялық талдауын жүргізу, қар жамылғысының пайда болу және құлау уақытын анықтау, көшкін қаупін бақылау жүйелерін орналастырудың басым бағыттарын анықтау кіреді. Бұл нәтижелер мониторинг жүйелерін орналастыруды оңтайландыруға және көшкін қаупі туралы болжамдардың дәлдігін жақсартуға көмектеседі.



Кілт сөздер: Жерді қашықтықтан зондтау; DEM; жер бедері; қар көшкіні; қар көшкіні қаупі; спутниктік суреттер; деректерді өңдеу; геоморфологиялық факторлар; ГАЖ; Шығыс Қазақстан облысы.

**Denisova N.F., Petrova O.A., Daumova G.K., Chepashev D.V.,
Sagatdinova G.N., Kabdulova G.A.**

**APPLICATION OF DEM TO IDENTIFY AVALANCHE HAZARDOUS
TERRITORIES IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION**

Annotation. One of the main factors in avalanche formation is the terrain. Studying the avalanche area is the first step in assessing avalanche risk. Geomorphological factors play a key role in influencing the stability of snow cover and the occurrence of avalanches. The interaction of several key terrain features, such as elevation, slope, aspect, and terrain roughness, determine the conditions under which avalanches are most likely to occur. Various elements of the relief contribute to the accumulation of snow, create conditions for its melting and often determine the scale of possible avalanches. The terrain is the main geomorphological factor in identifying avalanche-prone areas and the possibility of developing a methodology for selecting priority mountain slopes for placing avalanche hazard monitoring systems.

This article examines modern Remote Sensing (RS) methods for identifying avalanche-prone areas using the most effective and reliable modern methods.

The results of the study include conducting a geomorphometric analysis of slopes, determining the timing of occurrence and collapse of snow cover, and identifying priority areas for placing avalanche hazard monitoring systems. These results will help optimize the placement of monitoring systems and improve the accuracy of avalanche threat forecasts.

Keywords: Earth remote sensing; DEM; terrain; snow avalanches; avalanche danger; satellite images; data processing; geomorphological factors; GIS; East Kazakhstan region.