

Использование БПЛА при изучении лавиноопасных территорий Восточно-Казахстанской области

Наталья Денисова¹, Ольга Петрова¹, Гульжан Даумова¹, Даникер Чепашев², Руслан Жилкибаев², Гульжиян Кабдулова^{2*}

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан; ndenisova@edu.ektu.kz, opetrova@edu.ektu.kz, gdaumova@edu.ektu.kz

²ТОО «Институт ионосферы», Алматы, Казахстан; d.chepashev@ionos.kz, zhilkibayev@ionos.kz, g.a.kabdulova@gmail.com

*Корреспонденция: g.a.kabdulova@gmail.com

Аннотация. При изучении лавинной опасности в горных районах Восточно-Казахстанской области» (ВКО) использовались современные технологии дистанционного зондирования – беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Наиболее распространенными факторами лавинообразования являются: геоморфологические (рельеф, экспозиция склона и другие параметры), геоботанические (тип ландшафта) и метеофакторы (вид, количество и интенсивность осадков, скорость ветра, оттепели). В данной статье исследования посвящены в основном геоморфологическому фактору.

БПЛА использовались для детального изучения рельефа местности как одного из основных факторов при образовании лавин, так как геоморфология ландшафта влияет на устойчивость снежного покрова и возникновение лавин. Морфометрические характеристики рельефа, такие, как уклон, высота и экспозиция склонов рельефа определяют условия образования лавин.

Снежные лавины в ВКО - распространенное природное явление, представляющее угрозу местному населению и наносящее ущерб инфраструктуре территории области. При проведении работ по изучению лавин очень важно иметь детальные цифровые модели рельефа (ЦМР) на исследуемую территорию, которые можно получить после обработки данных БПЛА, обеспечивающих получение точных характеристик рельефа, таких, как высота, уклоны и экспозиция склонов.

Одним из распространенных методов защиты от лавин считается прогнозирование лавинной опасности территории. Чем детальнее и точнее будет информация о рельефе, тем точнее будет прогнозирование.

Результатами исследования стали создание высокоточных ЦМР, цифровых моделей местности (ЦММ), ортофотопланов и 3D-моделей лавиносборов, что позволило повысить достоверность выбора приоритетных участков для размещения мониторинговых систем лавинной опасности.

Цитирование: Денисова, Н., Петрова, О., Даумова, Г., Чепашев, Д., Жилкибаев, Р., Кабдулова, Г. (2025). Использование БПЛА при изучении лавиноопасных территорий Восточно-Казахстанской области. Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Серия: Химия. География. Экология, 151(2), 154-168.

<https://doi.org/10.32523/2616-6771-2025-151-2-154-168>

Академический редактор:
Н.Е. Рамазанова

Поступила: 13.03.2025
Исправлена: 20.05.2025
Принята: 02.06.2025
Опубликована: 30.06.2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Результаты работ способствуют оптимизации размещения мониторинговых систем и повышению точности прогнозов лавинной угрозы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; БПЛА; ЦМР; ЦММ; 3D-моделирование; рельеф местности; снежные лавины; лавиноопасность; обработка данных; ГИС; Восточно-Казахстанская область.

1. Введение

Объектом исследования являются лавиноопасные территории ВКО. Многолетние наблюдения за лавинами осуществляются наземными методами и проводятся на наиболее опасных участках с регулярными метеорологическими и снеголавинными наблюдениями. Основным недостатком наземных методов считается фрагментарность данных о состоянии склонов в связи с труднодоступностью прохождения в горной местности в зимнее время.

Изучению лавин посвящено много работ как зарубежных, так и отечественных ученых (Washington et al., 1996; Zhuravleva et al., 2010; Marshall et al., 1994; Seidel et al., 2016; Yang et al., 2020; Zhdanov, 2021 et al).

Лавины возникают преимущественно в горных районах с крутыми склонами и вызываются сложным взаимодействием метеорологических условий, особенностей рельефа и характеристик снежного покрова (Varol, 2022).

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 (McClung, 2016). Лавины при сходе негативно влияют на инфраструктуру местности, подвергая опасности жизни людей.

Высота рельефа местности служит критическим модификатором условий окружающей среды, которые определяют характеристики снежного покрова, необходимые для лавинной активности (Yang et al., 2022) и влияет на формирование лавин, 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 (Kumar et al., 2017). Однако на высотах ниже 1000 метров более теплые условия часто приводят к образованию менее связанных слоев снега, что снижает частоту и интенсивность схода лавин (Varol, 2022). Изменчивость климатических условий на разных высотах напрямую влияет на пространственное распределение случаев схода лавин, делая высоту ключевым фактором в оценке риска лавин (Selcuk, 2013).

Высота рельефа, уклон, экспозиция и другие параметры напрямую влияют на устойчивость снежного покрова (Andres-Anaya et al, 2023; Ramtvedt et al., 2023), а методы дистанционного зондирования позволяют точнее картировать и анализировать лавиноопасные зоны, выделяя приоритетные участки для превентивных мер. Создание ЦМР широко используются на практике, например, для изучения почв применялись данные с казахстанского спутника «KazEOSat-1» (с пространственным разрешением 1 м) (Бактыбеков и др., 2019), в данной работе рассматривается применение БПЛА для выявления лавиноопасных территорий с точностью пространственного разрешения модели до 5 см.

Также важно учитывать метеорологические параметры, например, приведем пример - альbedo. Большое количество энергии поступает к поверхности снежного покрова в виде прямой и рассеянной солнечной радиации, однако лишь небольшая ее часть поглощается снегом, а остальная отражается от поверхности снега (Войтковский, 1989). Альbedo снежного покрова является одним из важнейших параметров, определяющих климатологические изменения системы атмосферы - подстилающая поверхность (Voitkovskiy, 1989; Zhuravleva et al., 2010; Marshall et al., 1994). Следствием пространственно-временных вариаций

отражающих свойств снежного покрова являются значительные изменения радиационного бюджета территорий, покрытых снегом в течение длительного периода времени (Washington et al., 1986). В горных районах, где наблюдается сезонный снежный покров, альbedo снега сильно меняется в пространстве и времени (Seidel et al., 2016). Даже сравнительно небольшое уменьшение альbedo снега может привести к увеличению поглощенной им солнечной радиации (Stroeve et al., 1997) и, как следствие, оказать существенное воздействие на протекание гидрологических процессов (например, изменить сроки и интенсивность процесса таяния снега). Кроме того, высокое альbedo снежного покрова является одной из причин уменьшения температуры воздуха в нижней тропосфере (Baker et al., 1992; Picard et al., 2020).

По данным «Национального доклада о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2023 год» (Национальный доклад), ежегодно от воздействия снежных лавин страдают населенные пункты, объекты хозяйствования и автодороги горных районов республики. В горных районах республики имеются 619 лавиноопасных участков (из них в ВКО – 325), в зону воздействия которых попадают более 4,6 тыс. человек, 234 объекта и 159 км автодорог (республиканского, областного и местного значений).

В лавиноопасный период 2022-2023 года зарегистрировано 177 самопроизвольных сходов снежных лавин (в том числе, ВКО – 14). В 2023 году оценку и мониторинг гидрометеорологической обстановки и наблюдения за лавиноопасными участками обеспечивали 67 круглогодичных постов, 29 диспетчерских пунктов, 25 снегомерных маршрутов ГУ «Казселезащита». Специалистами ГУ «Казселезащита» совместно с ДЧС и РГП «Казгидромет» проведены 692 наземных и 16 аэровизуальных обследований лавиноопасных участков. Для обеспечения безопасности автодорог и горных районов республики на основании рекомендаций Казгидромета проведено 134 профилактических спуска снежных лавин общим объемом снежной массы 443 780 м³, из них в ВКО – 101. Защита горных районов города Алматы и ВКО обеспечивается 1903 снегозадерживающими щитами и на лавиноопасных участках выставлено 116 информационных щитов (Национальный доклад).

Исследования лавин в Казахстане начались в 50-х годах XX века, масштабные исследования проводились в Институте географии АН КазССР, далее с 60-х годов наблюдения за лавинами проводит «Казгидромет», с 70-х годов вопросами защиты от лавин занимается Казселезащита Комитета по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, таким образом, вопросами образования лавин в горных районах республики уже занимаются несколько десятилетий и с каждым годом возрастает роль применения данных ДЗЗ для труднодоступных территорий.

Цель исследования – использование БПЛА при изучении лавиноопасных территорий ВКО, которое проводилось в рамках научного проекта «Исследование лавинной активности в Восточно-Казахстанской области для разработки систем мониторинга и научного обоснования их размещения».

Результатами исследования является создание высокодетальных ЦМР, ЦММ, ортофотопланов и 3D-моделей по данным БПЛА как основы получения достоверной и детальной информации о рельефе местности.

Впервые в ВКО были использованы дистанционные методы, а именно БПЛА, для изучения морфометрических характеристик рельефа горных территорий с целью изучения лавиноопасных участков.

2. Материалы и методы

В исследовании использованы дистанционные методы исследования: данные с БПЛА для создания высокодетальных ЦМР, ЦММ, ортофотопланов и 3D-моделей территорий.

В работе использованы современные модели БПЛА: DJI Matrice 350 RTK и DJI Matrice 300 RTK.

Matrice 350 RTK - платформа для беспилотных летательных аппаратов оснащена совершенно новой системой передачи видео и возможностями управления, более эффективной системой аккумуляторов и более комплексными функциями безопасности, а также надежной полезной нагрузкой и возможностями расширения (Информация о беспилотниках DJI Matrice 350 RTK; DJI Matrice 300 RTK).

Дрон DJI Matrice 300 RTK - это беспилотная платформа с модулем RTK, аппарат отличается широким функционалом с использованием интеллектуальных систем, которые способствуют производительной работе (Mavic.kz ; Matrice-300-rtk; Matrice300).

Для выбранных территорий (потенциальных для размещения наземных пунктов наблюдений) была выполнена съемка с использованием БПЛА DJI Matrice 350 RTK с полезной нагрузкой, лидаром для получения детальных и высокоточных моделей местности и рельефа. Точность позиционирования БПЛА составляет 1 см по горизонтали благодаря системе RTK (Real-Time Kinematics), что обеспечивает высокую точность съемки и позволяет создать ЦМР с пространственным разрешением 5 см.

Для анализа характеристик были выбраны основные лавиносборы ВКО с использованием топографических параметров (высота, экспозиция, уклон) с использованием ЦМР среднего пространственного разрешения – SRTM (с пространственным разрешением 30 м), выполненной Геологической службой США (USGS) (Shuttle Radar Topography Mission) и полевых исследований. На выявленных лавиносборах ВКО необходимо проводить превентивные меры для повышения безопасности населению.

БПЛА предоставляют возможность быстро и с высокой точностью получать обширные наборы данных о рельефе местности, включая районы, доступ к которым обычно затруднен или потенциально опасен из-за различных факторов окружающей среды.

Для обработки данных с БПЛА использовалось программное обеспечение: Agisoft Metashape Professional (Руководство пользователя, 2023; DJI Terra User manual, 2024).

Процесс обработки данных с БПЛА показан на рисунке 1 и включает несколько этапов: 1) сбор информации с помощью БПЛА; 2) обработку изображений в специализированном программном обеспечении Agisoft Metashape Professional и DJI Terra; 3) классификацию и фильтрацию полученных данных для выделения рельефа и объектов местности; 4) построение ортофотопланов и цифровых моделей рельефа и местности, обеспечивающих детальный анализ исследуемой территории.

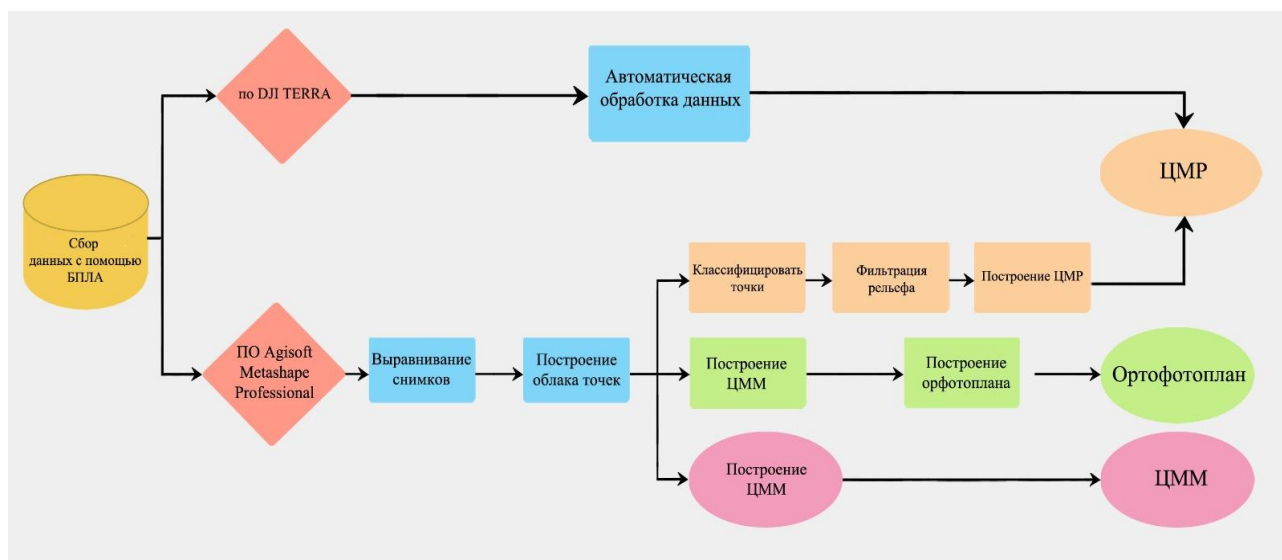


Рисунок 1. Схема процесса обработки данных с БПЛА

Обработка данных съемки была выполнена с использованием программного обеспечения: Agisoft Metashape Professional и DJI Terra, в результате которого были получены ЦМР для дальнейшего детального анализа местности.

ЦМР - растровое изображение, содержащее значения высотных отметок, что позволяло воспроизводить рельеф местности как в двухмерном, так и в трехмерном пространстве. В результате полученные цифровые модели лавиносборов обеспечивали точную топографическую информацию, необходимую для дальнейшего морфометрического анализа.

1) Сбор информации с помощью БПЛА

Сбор информации осуществлялся с использованием беспилотного летательного аппарата, оснащенного системой лидарного сканирования и камерой высокого разрешения. Полеты выполнялись по заранее заданным маршрутам с учетом оптимального перекрытия снимков не менее 70% по продольному и 60% по поперечному направлениям, что обеспечивало максимальное качество реконструкции местности. Первоначальные данные включали в себя лидарные файлы, содержащие пространственные координаты, параметры лазерного сканирования и данные инерциальной навигации, а также фотоснимки в формате JPG с высоким разрешением, полученные встроенной камерой БПЛА, предназначенные для создания ортофотопланов и 3D-моделей местности. Всего было выполнено 781 снимок с высоты 152 м, с разрешением 4,33 см/пиксель, охватывающий площадь 1,39 км².

2) Обработка изображений в специализированном программном обеспечении Agisoft Metashape Professional и DJI Terra

После загрузки исходных данных в ПО DJI Terra и Agisoft Metashape Professional установлены оптимальные параметры обработки, что позволило создать плотное облако точек, построить ЦММ и сгенерировать ЦМР, исключив временные объекты, такие, как здания и растительность. Для повышения точности геопривязки использовалась базовая станция GNSS D-RTK-2, обеспечивающая дифференциальную коррекцию координат в режиме реального времени. Процесс выравнивания 781 камеры был выполнен с использованием системы координат WGS 84 (EPSG:4326), при этом средняя ошибка ре-проекции составила 0,157981 пикселя. Средний размер связующих точек составил 2,63 пикселя при общей ошибке ре-проекции 0,518 пикселя.

Дополнительные параметры обработки в ПО DJI Terra включали использование LiDAR-системы DJI Zenmuse L1 с частотой сканирования 720 кГц и пульсовой частотой 240 кГц. Для первого дрона высота полета составила 35,03 м, а для второго - 56,67 м. Средняя скорость полета составляла 5,57 м/с и 5,63 м/с соответственно. Плотность облака точек была установлена на уровне 100% с эффективным диапазоном расстояний от 3 до 300 м. После оптимизации точности облака точек с классификацией наземной точки и генерацией ЦМР с размером пикселя 0,05 м данные были экспортированы в форматах PNTS, LAS и GeoTIFF.

3) Классификация и фильтрация полученных данных для выделения рельефа и объектов местности

После формирования плотного облака точек, включающего 294851528 точек, выполнялась их классификация и фильтрация, направленные на выделение рельефа и объектов местности. В ходе обработки исключались временные и искусственные объекты, такие, как здания, транспортные средства и растительность, а также выполнялось разделение точек на классы, включая земную поверхность, растительный покров и инженерные сооружения. Фильтрация рельефа проводилась с использованием агрессивной фильтрации карт глубины, что позволило устранить шумы и артефакты. Максимальное потребление памяти при построении облака точек составило 12,02 ГБ.

4) Построение ортофотопланов и цифровых моделей рельефа и местности

Построение цифровых моделей выполнялось поэтапно, начиная с создания ЦММ с разрешением 8,65 см/пиксель и плотностью 134 точек/м². Далее на этапе вторичной обработки формировалась ЦМР путем удаления объектов, не относящихся к рельефу, таких, как деревья и строения. Заключительным этапом являлось создание ортофотоплана с привязкой к

координатной системе WGS 84 (EPSG:4326), что позволяло использовать его в геоинформационных системах для дальнейшего анализа. Ортофотоплан был создан в режиме смешивания «мозаика». Итоговые модели сохранялись в формате GeoTIFF.

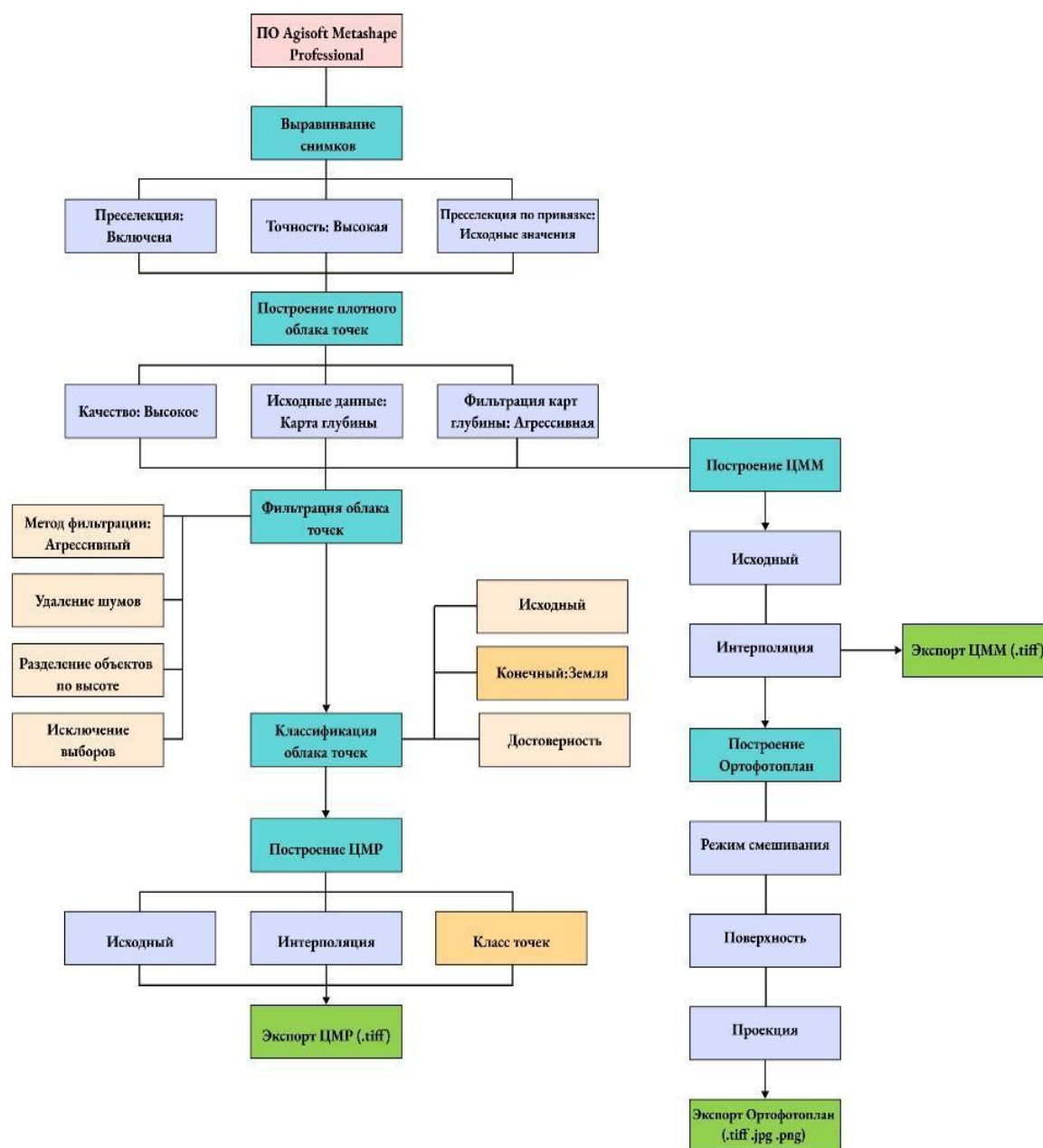


Рисунок 2. Блок-схема процесса обработки данных с БПЛА в ПО Agisoft Metashape

3. Результаты

В результате выполненных работ на территории ВКО созданы ЦМР, ЦММ, ортофотопланы и 3D-модели лавиносборов, что позволило точно определить приоритетные участки для размещения мониторинговых систем лавинной опасности, провести геоморфометрический анализ склонов и выявить участки, наиболее подверженные лавинообразованию.

Для детального получения информации о рельефе местности ВКО впервые были использованы БПЛА и обработка данных, полученных этим методом дистанционного зондирования, что позволило получить высокодетальные данные с сантиметровой

горизонтальной точностью. В качестве примера в статье использован участок местности Таиынты (Рисунок 3).

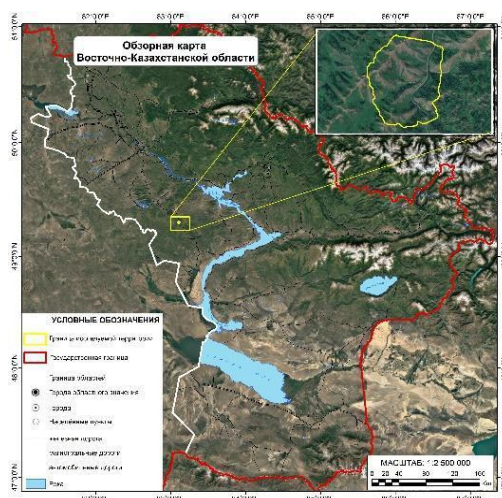


Рисунок 3. Обзорная карта ВКО, с указанием участка Таиынты

На рисунке 4 (а) показана ЦМР на примере участка Таиынты, где отображен только рельеф местности, а на рисунке 4 (б) показана ЦММ той же территории, но уже с учетом деревьев, находящихся на этой территории.

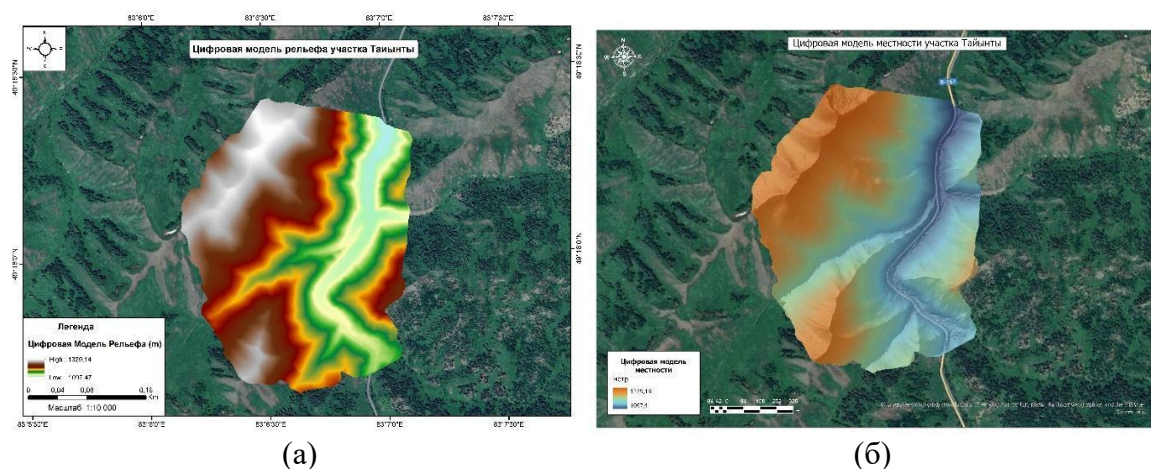


Рисунок 4. ЦМР (а) и ЦММ (б) участка Таиынты по результатам обработки данных с БПЛА

На рисунке 5 отображен ортофотоплан местности участка Таиынты, на котором представлена земная поверхность и объекты на ней с точной привязкой к заданной системе координат.

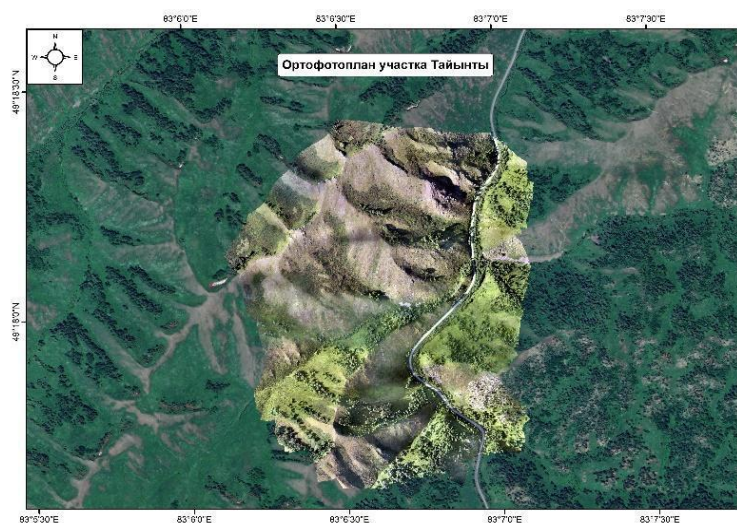


Рисунок 5. Ортофотоплан участка Тайынты по результатам обработки данных с БПЛА

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 параметра “критическая крутизна” лавиноопасного склона (Аккуратов и др., 1967). Так, например, измерения крутизны склонов в местах отрыва лавин в Иле Алатау показали, что чаще всего лавины формируются на склонах крутизной 30 - 35° , а минимальной крутизной, достаточной для схода лавин, является уклон 25° (Жданов, 2021).

В целом, проанализировав литературные источники, в данной работе выделены участки склонов с уклонами от 25° до 50° как наиболее подверженные образованию лавин.

После построения ЦМР, ЦММ и ортофотоплана был проведен морфометрический анализ лавиноопасных территорий и составлена карта уклонов местности (Рисунок 6) участка Тайынты с градацией в 25° , где для наглядности выделены всего 3 градации и отображены в трех цветовых гаммах: 1) желтым цветом показаны участки с уклоном до 25° , где наименьшие условия образования лавин из-за малых уклонов; 2) красным цветом показаны участки с уклоном 25° - 50° - максимальные условия для образования лавин; 3) голубым цветом показаны участки с уклоном более 50° , где из-за крутых уклонов невозможно накопление мощных слоев снега и отсутствуют крупные лавины. На рисунке 6 красный цвет соответствует лавиноопасным склонам участка местности. Используя результаты обработки данных БПЛА, можно наглядно выделить склоны, наиболее подверженные образованию лавин, рассчитать площади и объем превентивных работ представителям МЧС и местным исполнительным органам.

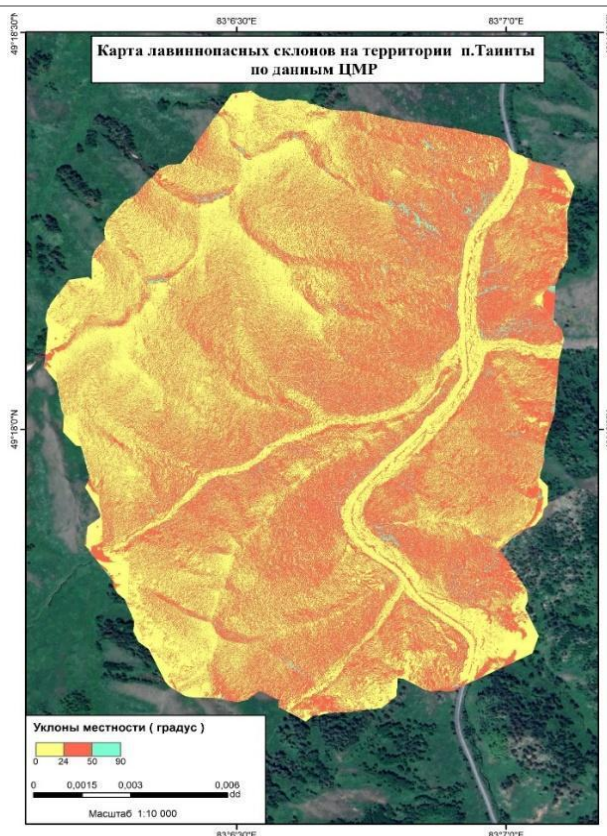


Рисунок 6. Карты уклонов местности с градацией через 25° на примере участка Таинты

В таблице 1 приведен расчет площадей с учетом градации уклонов, это наглядно показывает, что на любую территорию можно сделать расчёт площадей по результатам съёмки.

Таблице 1. Расчет площадей по уклону с градацией каждые 25°

№	Уклоны рельефа, градусы	Площадь, кв.км
1	0-25	0,77083
2	26-50	0,58734
3	51 -75	0,03183
Итого		1,39

При выполнении работ также были созданы 3D-модели (цифровые двойники) лавиносборов (рисунок 7) по данным ЦМР.

Для создания 3D-моделей лавиносборов в исследовании применялись программное обеспечение Surfer версии 22 от Golden Software и ArcGIS Pro от ESRI, представляющие собой специализированные инструменты для разработки контурных и трехмерных карт различных рельефных поверхностей. Создание цифровых двойников местности позволяет детально воспроизводить реальные ландшафты и проводить пространственный анализ, в том числе для задач ЧС при выявлении лавиноопасных территорий.

Блок-схема рабочего процесса обработки данных в ArcGIS Pro состоит из основных 4 этапов: создание рабочей области (Create Workspace), настройка блока (Block Adjustment), генерация продуктов (Generate Products) и получение конечных результатов.



Рисунок 7. Пример 3D-модели участка Таиынты в ПО ArcGIS Pro

Таким образом, используя и анализируя детальные и высокоточные данные дистанционного зондирования с БПЛА, получены ЦМР, ЦММ, ортофотопланы и 3D-модели лавиноопасных территорий ВКО, которые можно совмещать с имеющимися векторными слоями исследуемой территории для быстрого реагирования и принятия решения службами МЧС РК и местных исполнительных органов (на картах МЧС РК в цветовой гамме будут разделены участки склонов гор на цвета: желтый цвет с наименьшими условиями образования лавин; красный цвет с максимальными условиями для образования лавин; голубой цвет с отсутствием крупных лавин), также своевременного оповещения населения области об имеющихся угрозах и проведения превентивных мероприятий.

4. Обсуждение

Учитывая современное развитие технологий дистанционного зондирования и возрастающей роли БПЛА при лавинных исследованиях, необходимо для решения задач ЧС использовать результаты обработки данных с целью получения детального рельефа в труднодоступных местах (например, в горной местности ВКО).

Спутниковые данные и БПЛА используются в труднодоступных территориях, и разница заключается в детальности изучения форм рельефа, которые, в итоге, влияют на прогноз лавиноопасности ВКО. В целом для мониторинга всей ВКО приемлемо использование спутниковых данных, а для повышения детальности лавиноопасных территорий эффективно использование данных БПЛА

В Казахстане с 2014 года введены в эксплуатацию отечественные спутники дистанционного зондирования Земли, с пространственным разрешением со спутника «KazEOSat-1» составляет 1 м, а пространственное разрешение с БПЛА составляет 5 см, т.е. детальность и точность изучения рельефа повышается в десятки раз. Поэтому для эффективности проведения превентивных мер и дальнейшего мониторинга ЧС важно использовать дистанционные методы зондирования, в том числе и данные, полученные со спутников разного пространственного разрешения, а также и с БПЛА, которые позволят повысить точность параметров мелких форм рельефа. В то же время необходимо учитывать, что БПЛА имеют ограничения в использовании: погодные условия, длительность полёта, затраты на обслуживание техники, транспортировка и т.д.

Однако использование БПЛА позволяет сократить время и средства на проведение полевых работ в труднодоступных местах ВКО, повысить оперативность и достоверность информации за счет сантиметровой горизонтальной точности, позволяющей выявлять ранее не учтенные формы рельефа, которые невозможно выявить на космических снимках высокого пространственного разрешения (1 м) и, тем более, на SRTM (30 м).

Разработанные в работе карты и модели важно использовать для систем раннего оповещения или прогнозирования лавин.

5. Заключение

В результате выполненных работ для участков территории ВКО впервые по данным БПЛА созданы высокоточные ЦМР, ЦММ и ортофотопланы, проведен морфометрический анализ рельефа; созданы 3D-модели (цифровые двойники) лавиносборов, использованы ГИС-технологии для расчета лавиноопасных участков (расчет уклонов местности).

На карте уклонов местности участка Таиынты выделены 3 основные градации и отображены в трех цветовых гаммах:

1) желтым цветом показаны участки с уклоном до 25° , где наименьшие условия образования лавин из-за малых уклонов;

2) красным цветом показаны участки с уклоном 25° - 50° – максимальные условия для образования лавин;

3) голубым цветом показаны участки с уклоном более 50° , где из-за крутых уклонов невозможно накопление мощных слоев снега и отсутствуют крупные лавины.

Красный цвет соответствует лавиноопасным склонам участка местности.

В работе по ВКО применены современные методы дистанционного зондирования с БПЛА, с обработкой больших данных, что позволило ранжировать склоны по крутизне и выявить наиболее лавиноопасные участки, тем самым, повысить точность прогнозов лавиноопасных территорий за счет пространственного разрешения, благодаря детальности созданных продуктов обработки данных (ЦМР, ЦММ, ортофотопланы, 3D-модели местности).

Для повышения безопасности населения и сохранности инфраструктуры использование БПЛА позволяет сократить время на полевые наземные обследования и установить приоритет зон для профилактических спусков лавин, оптимизировать трудовые и транспортные ресурсы при проведении превентивных мер ЧС и улучшения планирование мероприятий по предотвращению лавинных сходов в ВКО.

В качестве практических рекомендаций отметим, что полученные результаты могут использоваться подведомственными организациями МЧС РК, РГП “Казгидромет” или другими службами для планирования профилактических мероприятий.

В дальнейшей перспективе использование БПЛА для изучения рельефа лавиноопасных зон можно применить и в других регионах Казахстана, интегрируя с системами раннего оповещения для мониторинга горных территорий на регулярной основе, обеспечивая безопасность населения благодаря снижению рисков в лавиноопасных районах ВКО.

6. Вспомогательный материал: нет вспомогательного материала.

7. Вклады авторов

Концептуализация - Н.Д и Д.Ч.; методология - Д.Ч и Г.Д.; программное обеспечение - Р.Ж.; валидация - Д.Ч., О.П. и Г.К.; формальный анализ - Д.Ч.; исследование - Н.Д. и Р.Ж.; ресурсы - Д.Ч.; курирование данных - Д.Ч.; написание — подготовка оригинального черновика - Г.К.; написание — рецензирование и редактирование - Г.К.; визуализация - Р.Ж.; руководство - Н.Д. и Д.Ч.; администрирование проекта - Н.Д.; получение финансирования - Н.Д. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

8. Информация об авторах

Денисова Наталья Федоровна — кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, цифровой офицер, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан, 070000; email: ndenisova@edu.ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0525-730X>

Петрова Ольга Анатольевна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан, 070000; email: opetrova@edu.ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1189-7293>

Даумова Гульжан Камалбеккызы – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан, 070000; email: gdaumova@edu.ektu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6312-5343>

Чепашев Даникер Васильевич – магистр, заведующий лабораторией, ТОО «Институт Ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», д.117, Алматы, Казахстан, 050020, email: d.chepashev@ionos.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8417-3990>

Жилкибаев Руслан Асланулы – инженер, ТОО «Институт Ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», д.117, Алматы, Казахстан, 050020, email: zhilkibayev@ionos.kz, <https://orcid.org/0009-0006-2057-9197>

Кабдулова Гульжиян Аюповна – кандидат географических наук, Ph.D., главный научный сотрудник, ТОО «Институт Ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», д.117, Алматы, Казахстан, 050020, email: g.a.kabdulova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7738-7624>

9. Финансирование: 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»).

10. Благодарности: Авторы выражают благодарность сотрудникам филиала ГУ «Казселезащита» МЧС РК по Восточно-Казахстанской области за помощь в организации полевых работ.

11. Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

12. Список литературы

1. Agisoft. (2023). User's Guide [Rukovodstvo pol'zovatelya in Russian] Agisoft Metashape: Professional Edition (Ver. 2.0). https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_ru.pdf
2. Akkuratov, V.N., Krasnosel'skiy, E.B., Itkin, V.A. (1967). On calculating the maximum range of snow avalanches [O raschyote maksimal'noj dal'nosti vybrosa snezhnyh lavin in Russian]. Snow and Avalanches of Khibiny [Sneg i laviny Hibin], 349–356. В DJI Terra: User manual (Version 4.0, p. 49).
3. ALSI-ASIA-SYSTEM. (2024). Dron DJI Matrice 300 RTK. https://www.drone.com.kz/products/drony/matrice_300_rtk/
4. ALSI-ASIA-SYSTEM. (2024). Dron DJI Matrice 350 RTK. https://www.drone.com.kz/products/drony/dron_dji_matrice_350_rtk/
5. Andres-Anaya, P., et al. (2023). A new methodology for estimating surface albedo in heterogeneous areas from satellite imagery. *Applied Sciences* 14(1), 75. <https://doi.org/10.3390/app14010075>
6. Baker, D. G., et al. (1992). Air temperature and radiation depressions associated with a snow cover. *Journal of Applied Meteorology* 31(3), 247–254.
7. Baktybekov, K.S., Kabzhanova, G.R., Kabdulova, G.A., Kezheneva, A. (2019). Ispol'zovanie CMR kak elementa cifrovogo pochvennogo kartografirovaniya territorii Severnogo Kazakhstana [The name of CMR as an element of the figures of soil mapping of the territories of Northern Kazakhstan]. *Vestnik ZKGU [Herald of ZKGU]* 4(76), 525–532. <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2020-132-3-87-95>

8. Drone Laboratory BR Lab. (2022). Industrial Quadcopter [Promyshlennyj kvadrokopter in Russian] DJI Matrice 350 RTK. <https://brlab.ru/equipment/enterprise-drones/promyshlennyj-kvadrokopter-dji-matrice-350-rtk/>
9. Kumar, S., Srivastava, P.K., Snehmani. (2017). GIS-based MCDA–AHP modelling for avalanche susceptibility mapping of Nubra valley region, Indian Himalaya. *Geocarto International*, 32(11), 1254–1267. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1206626>
10. Marshall, S., Oglesby, R.J. (1994). An improved snow hydrology for GCMs. Part 1: Snow cover fraction, albedo, grain size, and age. *Climate Dynamics*, 10, 21–37. <https://doi.org/10.1007/BF00210334>
11. McClung, D. M. (2016). Avalanche character and fatalities in the high mountains of Asia. *Annals of Glaciology*, 57(71), 114–118. <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A075>
12. Ministry of Ecology [Ministerstvo ekologii]. (2024). National plan and report on the state of the environment and on the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2023 [Nacional'nyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy i ob ispol'zovanii prirodnih resursov Respubliki Kazahstan za 2023 god in Russian]. [PDF file].
13. NASA. (2020). SRTM – Shuttle Radar Topography Mission. <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/srtm>
14. Picard, G., et al. (2020). Spectral albedo measurements over snow-covered slopes: Theory and slope effect corrections. *The Cryosphere*, 14(5), 1497–1517. <https://doi.org/10.5194/tc-14-1497-2020>
15. Ramtvedt, E.N., Næsset, E. (2023). A simple slope correction of horizontally measured albedo in sloping terrain. *Agricultural and Forest Meteorology* 339, 109547. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109547>
16. Seidel, F.C., et al. (2016). Case study of spatial and temporal variability of snow cover, grain size, albedo and radiative forcing in the Sierra Nevada and Rocky Mountain snowpack derived from imaging spectroscopy. *The Cryosphere* 10(3), 1229–1244. <https://doi.org/10.5194/tc-10-1229-2016>
17. Selcuk, L. (2013). An avalanche hazard model for Bitlis Province, Turkey, using GIS-based multicriteria decision analysis. *Turkish Journal of Earth Sciences* 22(4), 523–535. <https://doi.org/10.3906/yer-1201-10>
18. Stroeve, J., Nolin, A., Steffen, K. (1997). Comparison of AVHRR-derived and in situ surface albedo over the Greenland ice sheet. *Remote Sensing of Environment* 62(3), 262–276. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00093-3)
19. Varol, N. (2022). Avalanche susceptibility mapping with the use of frequency ratio, fuzzy and classical analytical hierarchy process for Uzungol area, Turkey. *Cold Regions Science and Technology* 194, 103439. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103439>
20. Villa Almaty. (2024). Dron DJI Matrice 300 RTK. <https://mavic.kz/product/dron-dji-matrice-300-rtk/>
21. Vojtkovskij, K.F. (1989). Avalanche Science: A study guide [Lavinovedenie: Uchebnoe posobie in Russian]. http://mirknig.com/knigi/estesstv_nauki/1181786519-lavinovedenie.htm
22. Washington, W.M., Meehl, G.A. (1986). General circulation model CO₂ sensitivity experiments: Snow-sea ice albedo parameterizations and globally averaged surface air temperature. *Climatic Change*, 8(3), 231–241. <https://doi.org/10.1007/bf00161596>
23. Yang, J., He, Q., Liu, Y. (2022). Winter-spring prediction of snow avalanche susceptibility using optimisation multi-source heterogeneous factors in the Western Tianshan Mountains, China. *Remote Sensing* 14(6), 1340. <https://doi.org/10.3390/rs14061340>
24. Zhdanov, V.V. (2021). Fundamentals of avalanche safety [Osnovy lavinnoj bezopasnosti in Russian]. Almaty. ISBN 978-601-7150-97-6
25. Zhuravleva, T.B., Kohanovskij, A.A. (2010). Vliyanie gorizontal'noj neodnorodnosti na al'bedo i pogloshchatel'nuyu sposobnost' snezhnogo pokrova [The effect of horizontal heterogeneity on

the health and absorption capacity of snow cover]. *Meteorology and hydrology [Meteorologiya i gidrologiya]* 9, 17–25. <https://rucont.ru/efd/144212>

Шығыс Қазақстан облысындағы қар көшкіні қаупі бар аймақтарды зерттеу кезінде ҰҰА қолдану

Наталья Денисова, Ольга Петрова, Гульжан Даумова, Даникер Чепашев, Руслан Жилкибаев, Гульжиан Кабдулова

Аңдатпа. Шығыс Қазақстан облысының (ШҚО) таулы аудандарындағы көшкін қаупін зерттеу кезінде қазіргі заманғы қашықтықтан зондтау технологиялары – ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) қолданылды.

Көшкіндердің пайда болуына ықпал ететін негізгі факторларға геоморфологиялық (бедер, беткейлердің экспозициясы және басқа параметрлер), геоботаникалық (ландшафт түрі) және метеорологиялық (жауын-шашынның түрі, мөлшері мен қарқындылығы, жел жылдамдығы, жылымық) факторлары жатады. Бұл мақалада зерттеулер негізінен геоморфологиялық факторға бағытталған.

ҰҰА бедерді егжей-тегжейлі зерттеу мақсатында қолданылды, өйткені бедер көшкіннің пайда болуына тікелей әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып саналады. Жер бедерінің геоморфологиялық ерекшеліктері қар жамылғысының тұрақтылығына және көшкіндердің пайда болуына айтарлықтай әсер етеді. Бедердің морфометриялық сипаттамалары – беткейлердің еңісі, биіктігі және экспозициясы – көшкін түзілу жағдайларын анықтайды.

ШҚО-дағы қар көшкіндері – жергілікті халыққа қауіп төндіретін және аймақ инфрақұрылымына зиян келтіретін кең таралған табиғи құбылыс. Көшкіндерді зерттеу жұмыстары үшін зерттелетін аумақтың егжей-тегжейлі цифрлық бедер модельдері (ЦБМ) болуы маңызды. Мұндай модельдерді ҰҰА көмегімен алынған қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу арқылы жасауға болады, бұл өз кезегінде жер бедерінің биіктігі, еңісі мен экспозициясы сияқты сипаттамаларды дәл анықтауға мүмкіндік береді.

Көшкіндерден қорғанудың кең тараған әдістерінің бірі – көшкін қаупін болжау. Жер бедері туралы ақпарат неғұрлым толық әрі дәл болса, болжам да соғұрлым сенімді болады.

Зерттеу нәтижесінде жоғары дәлдікті цифрлық бедер модельдері (ЦБМ), цифрлық жер бетінің модельдері (ЦЖМ), ортофотожоспарлар мен көшкін жиналатын учаскелердің 3D-модельдері құрылды. Алынған нәтижелер көшкін қаупін мониторингілеу жүйелерін орнатуға басымдық берілетін учаскелерді анықтаудың дәлдігін арттыруға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері мониторинг жүйелерін орналастыруды оңтайландыруға және көшкін қаупін болжаудың дәлдігін арттыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: қашықтықтан зондтау; ұшқышсыз ұшу аппараттары; жердің сандық моделі; рельефтің сандық моделі; 3D модельдеу; жер бедері; қар көшкіні; қар көшкіні қаупі; деректерді өңдеу; ГАЖ; Шығыс Қазақстан облысы.

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the study of avalanche areas within the East Kazakhstan region

Natalya Denisova, Olga Petrova, Gulzhan Daumova, Daniker Chepashev, Ruslan Zhilkibayev, Gulzhiyan Kabdulova

Abstract: When studying avalanche hazards in the mountainous regions of the East Kazakhstan Region (EKR), modern remote sensing technologies – unmanned aerial vehicles (UAVs) – were employed.

The most common factors influencing avalanche formation include geomorphological (relief, slope aspect, and other parameters), geobotanical (landscape type), and meteorological factors (type, amount, and intensity of precipitation, wind speed, thaw conditions). This article primarily focuses on the geomorphological factor.

UAVs were utilized for detailed terrain studies, recognizing relief as one of the critical factors in avalanche formation. Landscape geomorphology significantly affects snowpack stability and the occurrence of avalanches. Morphometric terrain characteristics, such as slope angle, elevation, and slope aspect, largely determine avalanche formation conditions.

Snow avalanches in EKR represent a common natural phenomenon, posing risks to the local population and causing infrastructure damage in the region. Detailed digital elevation models (DEMs) of the study area are crucial for avalanche research. These DEMs can be derived from UAV-based remote sensing data, enabling accurate assessments of relief characteristics, including elevation, slopes, and slope aspects.

One of the most widely used avalanche protection methods is forecasting avalanche hazards. The more detailed and precise terrain information is available, the more accurate such forecasts can be.

The study resulted in the creation of high-precision DEMs, digital terrain models (DTMs), orthophotoplans, and 3D avalanche accumulation zone models. These outputs significantly improved the reliability of identifying priority sites for installing avalanche monitoring systems. Consequently, the results contribute to optimizing the placement of monitoring systems and enhancing the accuracy of avalanche hazard forecasts.

Keywords: remote sensing; UAV; DEM; DTM; 3D modeling; terrain; snow avalanches; avalanche hazard; data processing; GIS; East Kazakhstan region.