

Ыстықұл К.А., Середович В.А.,
Байгурын Ж.Д.

**Технология исследования
лавиноопасных склонов
с применением наземного
лазерного сканера**

В статье предлагается методика исследования лавиноопасных склонов с применением наземного лазерного сканера (НЛС). Представленные в настоящей работе результаты – первый в Казахстане опыт исследований лавиноопасного склона в горах по данным лазерного сканирования. Основными достоинствами наземного лазерного сканирования являются исключительно высокая точность геодезических данных и детальность изображения объектов земной поверхности. Это имеет большое значение при изучении условий формирования снежных лавин, но особенно при математическом моделировании движения лавин и определения границ лавиноопасных зон. С помощью НЛС можно получить такие параметры снежных лавин – площади и объемы снежных лавин, границы распространения лавин и другие. Авторы предлагают использование НЛС как инструмент для лавинного прогноза и защиты от лавин.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, цифровая модель рельефа, 3D-моделирование, лавиноопасный склон, снежные лавины.

Ystykul K.A., Sereдович V.A.

**Technology of measuring of
avalanche slopes with the use of
terrestrial laser scanner**

The paper proposes a method of distance control and measurement technology avalanche slopes using terrestrial laser scanner (TLS). Presented in this work - the first research experience in Kazakhstan avalanche slope in the mountains according laser scan. The main advantages of terrestrial laser scanning are extremely high precision geodetic data and detail of images of objects of the earth's surface. It is of great importance in the study of conditions of formation of avalanches, but, especially, in the mathematical modeling of the avalanche and the avalanche delineates zones. With the TLS can obtain parameters such snow avalanche areas and volumes of avalanches, snow starting zone, and the avalanche field. The authors suggest the use of TLS as a valuable tool in terms of avalanche prediction and protection.

Key words: terrestrial laser scanning, digital relief model, 3D modeling, area prone to avalanches, snow avalanche.

Ыстықұл Қ.Ә., Середович В.А.

**Көшкінқауіпті беткейлерді жер
лазерлі сканерді қолданып
зерттеу технологиясы**

Мақалада көшкінқауіпті беткейлерді жер лазерлі сканерлеу (ЖЛС) технологиясы мен қашықтан бақылау өлшемдері ұсынылады. Бұл жұмыс Қазақстанда алғаш рет көшкінқауіпті беткейлерді жер лазерлі сканерімен зерттеу арқылы ерекшеленеді. Жер лазерлі сканерлеу әдісінің негізгі артықшылығы – геодезиялық мәліметтердің өте жоғарғы деңгейдегі дәлділігі және жер беті объектілер көрінісінің егжей-тегжейлігі. Бұл қар көшкіндерінің қалыптасуын зерттеуде, әсіресе, көшкіндер қозғалысын математикалық модельдеуде және көшкінқауіпті зоналарды зерттеуде үлкен маңызғы ие. ЖЛС арқылы-көшкін аудандары, көлемдері, қардың бастапқы зонасын, көшкін қалыптасқан орын туралы мәліметтерді алуға болады. Мақала авторлары ЖЛС – ді көшкінді болжау және одан қорғануда бағалы құрал ретінде қолдануды ұсынады.

Түйін сөздер: жер лазерлі сканерлеу, Жердің сандық үлгісі, 3D үлгілеу, көшкінқауіпті беткей, қар көшкіндері.

**ТЕХНОЛОГИЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ЛАВИНООПАСНЫХ
СКЛОНОВ С
ПРИМЕНЕНИЕМ
НАЗЕМНОГО
ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА**

Введение

Снежные лавины являются фактором, значительно осложняющим хозяйственную деятельность в горных районах, а также представляют угрозу для жизни людей.

Пренебрежение лавинной опасности может привести к довольно тяжелым последствиям и существенным разрушениям объектов инфраструктуры, а также повлечь человеческие жертвы. Поэтому проведение исследовательских работ по выявлению лавиноопасных участков очень актуально. Одним из наиболее лавиноопасных районов в Казахстане является Иле Алатау (рис.1) [1].

Представленные в настоящей работе результаты – первый в Казахстане опыт исследований лавиноопасного склона в горах по данным лазерного сканирования.

Основная часть

Методика исследования включала полевые (наземное лазерное сканирование и наземные обследования полигонов) и камеральные методы. В процессе обработки и обобщения данных широко применялись методы ГИС-картографирования и 3D-моделирования.

Район исследования

На выбор района исследований повлияли некоторые географические критерии: 1) репрезентативность районов с позиции отражения геоморфологических условий; 2) возможно широкий высотно-ландшафтный диапазон; 3) геоморфологическая представительность (типовое разнообразие) склонов; 4) близость к территориям активного освоения, а также; 5) наличие данных воздушных наблюдений. Для проведения работ нами был выбран лавинный очаг в горах Иле Алатау, в бассейне р. Котырбулак, на территории горнолыжного комплекса «Алматау».

Исходные данные и методы исследования

Анализ существующих методов моделирования снежных лавин показал, что они в своем большинстве не удовлетворяют практическим потребностям. К недостатком существующих методов можно отнести низкую адекватность физико-матема-

тического представления лавины, описательный характер, низкую точность прогнозирования. Некоторые методы вообще не могут быть реализованы в заданных условиях. Поэтому в настоящее время высокую актуальность имеет поиск адекватных и точных методов моделирования и прогнозирования и анализа снежных лавин.

Предлагаемый метод моделирования и прогнозирования снежных лавин может с высокой точностью определить область, скорость и мощность снежных лавин. Например, высокую адекватность в плане воспроизведения физики лавин имеет компьютерная программа RAMMS, разработанная Швейцарским институтом снега и лавин [2].

В основе программы лежит численное решение уравнения динамики второго порядка. Для отображения на экране компьютера картины движения лавины используется усреднение по глубине снежного потока. Высота и скорость движения снежного потока рассчитываются на предварительно специально заложенных цифровых трехмерных моделях местности. В процессе пользования программой выводится важная обзорная информация. В рамках данной модели силы сопротивления движению потока снега принимаются двух типов: силы сухого кулоновского трения с коэффициентом μ , а также силы, пропорциональные квадрату скорости движения снежной массы, с коэффициентом ξ . Сопротивление трения при этом будет иметь вид:

$$S = \mu \rho H \rho g \cos \varphi + \rho g U / \xi \quad (1)$$

где ρ – плотность потока;

g – ускорение свободного падения;

φ – средний угол склона в данной точке;

H – высота потока;

U – скорость потока.

Наибольшую точность модель имеет при описании движения очень больших снежных лавин, состоящих из сухого снега. В то же время RAMMS малоэффективна при описании влажных лавин и лавин небольшого объема. Авторы предполагают, что небольшие лавины могут моделироваться путем увеличения значений коэффициентов μ и ξ , но для этого нужна предварительная настройка модели. Дополнительным недостатком модели является то, что не описывается движение снега за фронтом лавины, в области небольших движущихся масс и больших коэффициентов сопротивления.

Поэтому в настоящее время высокую актуальность имеет поиск точных, удобных методов моделирования, прогнозирования, анализа снежных лавин.

Активное внедрение технологии наземного лазерного сканирования (НЛС) в практику разнообразных исследований предопределено высокой точностью выходных результатов, оперативностью съемки и обработки, сочетанием технологически новых данных съемки с традиционными методами [3].

Технология наземного лазерного сканирования является эффективным средством для моделирования и последующего анализа морфологических свойств микро- и нанорельефа, а также рельефоидов (снежный покров, растительность). Высокоточные цифровые модели рельефа позволяют перейти на качественно новый уровень его морфологического анализа.

Обратимся к некоторым работам, характеризующими подходы и современный уровень применения лазерных съемок. В статьях (A. Prokop., P. Schon, 2013; Prokop A., Schirmer M., Rub M., Lehning M., and Stocker M. 2008), посвященных обобщению материалов наземной лазерной съемки снежных лавин во Франции (Col du Lautaret) (Альпы), указывается на преимущества полученной ЦМР в сравнении с моделями, построенными на основе традиционных геодезических методов. Результаты показывают возможности НЛС для эффективного и точного определения входных параметров при моделировании лавины. С помощью НЛС можно получить такие параметры снежных лавин, как площади и объемы, границы распространения и др. Авторы предлагают использование НЛС, как ценный инструмент для лавинного прогноза и защиты от лавин [4].

Обработка данных лазерного сканирования направлена на получение качественных цифровых моделей местности и их производных – цифровых моделей рельефа. Наличие таких моделей служит предпосылкой разработки аналитического аппарата, ориентированного на изучение геометрии поверхности с помощью ряда формализованных процедур.

Цифровое моделирование рельефа, результатом которого является создание цифровых моделей рельефа (ЦМР), – одна из мощных и широко распространенных функций ГИС. Под ЦМР (digital elevation model, digital terrain model, DEM, DTM и др.) принято понимать представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей, или рельефов) в виде трехмер-

ных данных, образующих множество высотных отметок и иных значений аппликат (координаты Z) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей или иных изолиний [5].

Таким образом задача высокоточного мониторинга лавиноопасных участков с применением НЛС в принципе может быть решена. Необходимо практическое подтверждение расчетов.

Инструментальной основой предлагаемого инновационного метода моделирования рельефа на горных склонах является комплекс картографирования, состоящий из наземного лазерного сканера и электронного тахеометра. Использование подобного оборудования предполагает методику проведения наземной лазерной съемки, включающей: 1) процедуры обработки данных лазерной съемки, 2) геоинформационное моделирование (или ГИС-картографирование), 3) алгоритмы анализа полученных результатов.



Рисунок 1 – Лавиноопасный склон



Рисунок 2 – Репер 1

Результаты и обсуждения

Техническим результатом, ожидаемым от использования НЛС, является возможность получения полноценной и своевременной информации о лавиноопасном склоне. Результат достигается проведением последовательных съемок местности, причем первую съемку проводят в период, предшествующий установлению снежного покрова (летние измерения), а вторую и последующие – при наличии снежного покрова (зимние измерения).

Технологическая схема НЛС:

Рекогносцировка местности. С учетом конкретных условий местности выбираются рациональный способ создания и сгущения съемочного обоснования. Также намечаются точки расположения сканера, места размещения специальных марок, уточняются сроки проведения работ. Нами был выбран очаг зарождения лавин на склоне горы (рис. 1) и место установки сканера (рис. 2). Первая съемка была проведена 13 апреля 2015 г. при наличии снежного покрова. Вторая съемка выполнена 2 июля 2015 г. без снега.

Подготовка плано-высотного обоснования сканерной съемки. С учетом конкретных условий местности выбираются рациональный способ создания основного и рабочего съемочного обоснования. Координаты точек основной опорной сети определяются с помощью спутниковой геодезической технологии и геодезических построений (проложением теодолитных или полигонометрических ходов, прямой или обратной засечкой).

Трехмерное НЛС:

– установка сканера на запроектированной точке на штатив, высота которого задается такой, чтобы обеспечить максимальный охват интересующей территории на одном скане (рис. 3);

– расстановка вокруг сканера специальных марок, которые являются точками рабочего съемочного обоснования;

- определение координат центров специальных марок с точек основной опорной сети;
- сканирование местности и объектов вокруг точки стояния сканера;
- идентификация и определение приближенных координат центров специальных марок с це-

- лю дальнейшего быстрого определения области их положения на скане;
- сканирование специальных марок с максимальным разрешением;
- перемещение сканера на следующую точку сканирования и повторения этапов 1-6.



Рисунок 3 – Установка тахеометра на запроектированной точке на штатив

В нашем случае дальность действия сканера 100 м, поэтому станции следует располагать на отстоянии друг от друга 50 м и меньше, в зависимости от рельефа местности, определяемом по формуле:

$$D_{\max} = 0,636 R_{\max} \quad (2)$$

где R_{\max} – максимальная дальность действия НЛС при отражающей способности объектов от 4 до 20%.

Разрешение при сканировании открытых территорий следует задавать от 0,08 до 0,09⁰ по горизонтали и вертикали [3].

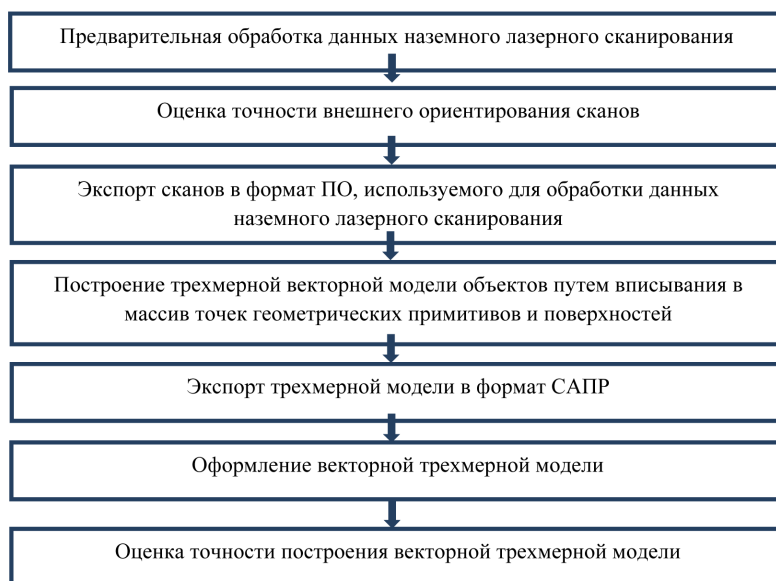


Рисунок 4 – Технологическая схема построения трехмерной векторной модели объектов по данным наземного лазерного сканирования

Камеральные работы. Камеральная обработка данных наземного лазерного сканирования с целью создания трехмерной векторной модели объектов ситуации выполняется по технологии, представленной на рис. 4.

После обработки данных наземного лазерного сканирования мы получили ЦМР местности, по данным ЦМР можно определить

глубину, поперечное сечение, высоту, объем и скорость лавин и можно прогнозировать лавину.

В статье не рассматриваются вопросы эксплуатации НЛС систем: сертификации и регистрации НЛС, получения разрешительной документации на съемку, обеспечения безопасности и страхования съемки.

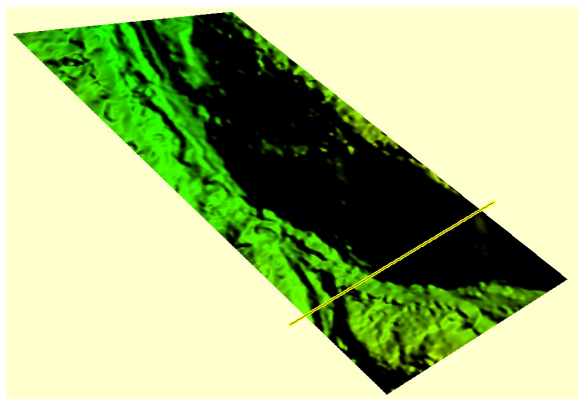


Рисунок 5 – ЦМР объекта

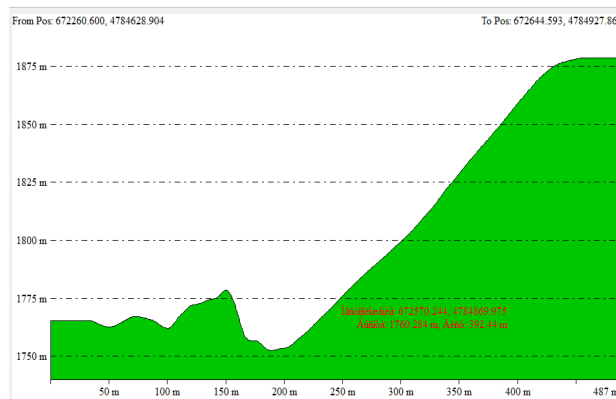


Рисунок 6 – Поперечный профиль

Выводы

Применение технологии наземного лазерного сканирования переводит исследования рельефа на качественно новый этап анализа. Та-

ким образом, предлагаемый способ позволяет существенно повысить эффективность действия служб обеспечения безопасности в рекреационных комплексах в горах, а также служб активных воздействий на снеголавинные процессы.

Литература

- 1 Северский И.В., Благовещенский В.П. Оценка лавинной опасности горной территории. – Алма-Ата, 1983, – С. 120.
- 2 Bartelt P. Frictional relaxation in avalanche / P. Bartelt, O. Buser // *Annals of Glaciology*. 2010. – V. 51(54). – P. 98-104.
- 3 Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование. – Новосибирск: СГГА, 2009.
- 4 Prokop A., Schoen P., Singer F., et al. 2013. Determination avalanche modeling input parameters using terrestrial laser scanning technology. – *Proceedings of the International Snow Science Workshop, 7-11 October 2013, Grenoble, France*. P. 2-59.
- 5 Погорелов А.В., Бойко Е.С., Брусило В.А. Речной бассейн как объект геоинформационного моделирования. // *Экологический вестник*. – 2005. – №4.

References

- 1 Severskij I.V., Blagoveshenskij V.P. Ocenka lavinnnoj opasnosti gornoj territorii. – Alma-Ata, 1983, – S. 120.
- 2 Bartelt P. Frictional relaxation in avalanche / P. Bartelt, O. Buser // *Annals of Glaciology*. 2010. – V. 51(54). – P. 98-104.
- 3 Seredovich V.A., Komissarov A.V., Komissarov D.V., Shirokova T.A. Nazemnoe lazernoe skanirovanie. – Novosibirsk: SGGA, 2009.
- 4 Prokop A., Schoen P., Singer F., et al. 2013. Determination avalanche modeling input parameters using terrestrial laser scanning technology. – *Proceedings of the International Snow Science Workshop, 7-11 October 2013, Grenoble, France*. P. 2-59.
- 5 Pogorelov A.V., Bojko E.S., Brusilo V.A. Rechnoj bassejn kak ob#ekt geoinformacionnogo modelirovanija. // *Jekologicheskij vestnik*. – 2005. – №4.