

Ыстықұл К.А., Середович В.А.

**Исследование снежных лавин  
с применением технологии  
наземного лазерного  
сканирования**

В статье предлагается методика дистанционного контроля лавинной опасности, по современным технологиям наземного лазерного сканирования (НЛС) имеющая большую оперативность реагирования по сравнению с существующими. 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, особенно, при математическом моделировании движения лавин и определения границ лавиноопасных зон. По данным НЛС можно получить оптимальную методику создания высокоточных цифровых моделей земной поверхности (рельефа), поверхности и поля толщины снежного покрова. Поэтому в настоящее время высокую актуальность имеет поиск высокоадекватных и удобных методов моделирования и прогнозирования снежных лавин.

**Ключевые слова:** наземное лазерное сканирование, цифровая модель рельефа, 3D-моделирование, лавиноопасная зона, толщина снежного покрова.

Ystykul K.A., Sereдович V.A.

**Research of snow avalanches  
with the use of technology of  
terrestrial laser scanning**

Methodology of the controlled from distance control of avalanche hazard is offered in the article, on modern technologies of terrestrial laser scan (TLS) having a large operationability of reacting as compared to existing. Basic dignities of surface laser scan-out are exceptionally high exactness of geodesic data and detailed of image of objects of earth surface. It matters very much at the study of terms of forming of snow avalanches, but, especially, at the mathematical design of motion of avalanches and determination of borders of avalanche zones. From data of TLS it is possible to get optimal methodology of creation of high-fidelity digital models of earth surface (relief), surface and field of thickness of snow-cover. Therefore presently has high actuality search of high-adequate and comfortable methods of design and prognostication of snow avalanches.

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

Ыстықұл Қ.Ә., Середович В.А.

**Қар көшкінін жер лазерлі  
сканерлеу технологиясымен  
зерттеу**

Мақалада қар көшкінін заман талабына сай жер лазерлі сканерлеу (ЖЛС) технологиясымен қашықтықтан бақылау әдісі ұсынылған. Оның қолданыстағы әдістерден айырмашылығы – жедел және нақты әрекет етуінде. Жер лазерлі сканерлеудің негізгі артықшылығы – геодезиялық мәліметтердің жоғары дәлділігінде және жер беті объектілері егжей-тегжейлі суреттелуінде. Бұл қар көшкінінің пайда болу жағдайларын зерттеуде, әсіресе, көшкін қозғалысын математикалық модельдеуде және көшкін қауіпті аймақтар шекарасын анықтауда үлкен маңызға ие. ЖЛС мәліметтері арқылы жер бетінің (жер бедерінің), қар жамылғысы қалыңдығының жоғарғы дәлдіктегі сандық моделін жасауға болады. Сондықтан қазіргі таңда қар көшкінін болжауда және үлгілеуде қолайлы және жоғары сапалы әдістерді табу кең етек алууда.

**Түйін сөздер:** жер лазерлі сканерлеу, жер бетінің сандық үлгісі, 3D модельдеу, көшкін қауіпті аймақ, қар жамылғысының қалыңдығы.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СНЕЖНЫХ ЛАВИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

### Введение

Технологии лазерного сканирования в последние десятилетия получили весьма широкое распространение в практическом (инженерные изыскания, геодезия, 3D-моделирование и др.) и научном (исследование свойств земной поверхности, растительного покрова, гляциологических объектов и др.) приложениях. Применение лидарной аэросъемки или воздушного лазерного сканирования (ВЛС) в настоящее время, по сути, обозначило новые стандарты производства топографической и батиметрической съемок, инвентаризации и мониторинга лесов, мониторинга крупных промышленных объектов. Вместе с тем научный потенциал лазерного сканирования, опирающийся на высокую точность позиционирования, детальность получаемых моделей и возможности извлечения сопутствующей информации об объектах сканирования, лишь начинает раскрываться.

Наземное лазерное сканирование (НЛС) как современный метод сбора и регистрации пространственных данных обладает рядом достоинств, незаменимых при съемках на местности. Среди них, в первую очередь, отметим точность определения координат точек в полевых условиях, достигающую нескольких миллиметров, а также исключительную детальность конечной модели при высокой производительности НЛС. Немаловажным достоинством служит принцип дистанционного получения пространственной информации, обеспечивающий безопасность исполнителей при работах в труднодоступных местах.

Прикладные области применения НЛС достаточно разнообразны: горная промышленность (определение объемов выработок, создание цифровых моделей карьеров и подземных выработок и пр.); нефтегазовая промышленность (калибровка нефтеналивных резервуаров, создание цифровых моделей промысловых технологических объектов с целью их контроля и пр.); строительство и эксплуатация инженерных сооружений (контроль и мониторинг геометрических параметров инженерных объектов, исполнительная съемка при строительстве и после его окончания и пр.); архитектура (реставрация памят-

ников, исторических и культурных сооружений, создание чертежей фасадов зданий и пр.). Этот перечень следует дополнить мероприятиями по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, ориентированными на высокоточную съемку объектов на земной поверхности, включая обвалы, оползни, барханы, снежные лавины, эрозионные русла и тому подобные вещественные образования на земной поверхности [1].

### Район исследования

Перейдем к обзору исследований земной поверхности лавиноопасных склонов. Рельеф – один из основных компонентов, обуславливающих лавинную опасность. Наличие и степень лавинной опасности при достаточном количестве снега в значительной степени определяются характеристиками рельефа. Абсолютная и относительная высота, крутизна и ориентация склонов, форма поперечного профиля долин, ширина днищ и водоразделов влияют на форму, размеры и распределение в пространстве лавинных очагов, повторяемость, типы, силу удара и дальность выброса лавин, т.е. практически на все аспекты лавинной деятельности [2].

Выбор территории исследования обусловлен рекреационными перспективами. Сфера освоения многоснежных гор Иле Алатау постоянно расширяется, главным образом, за счет строительства многочисленных объектов инфраструктуры зимнего спорта и отдыха.

### Исходные данные и методы исследования

В качестве исходных материалов использованы данные наземного лазерного сканирования экспериментального полигона в районе Алматы. При выборе полигона учитывались его геоморфологическая и ландшафтная репрезентативность и разнообразие, близость к территориям рекреационного освоения, риск лавинообразования и наличие данных воздушных наблюдений. НЛС выполнены 13 апреля 2015 г. Материалы съемок используются в данной работе (рис.1).

Методика исследования включала полевые (наземные лазерное сканирование) и комплекс камеральных методов.

В мире для исследования лавиноопасных зон кроме традиционных использовали и воздушные методы. К воздушным методам относят аэрофотосъемку и лазерное сканирование (альтимет-

рию), применяемые, как правило, в комплексе. Воздушные методы мониторинга объектов имеют ряд преимуществ перед космическими: высокая точность продукции, регулируемая используемой аппаратурой и параметрами съемки; частичное или полное исключение работ по геодезическому обоснованию; высокий уровень автоматизации; возможность технико-экономического планирования всего комплекса аэрофотосъемочных работ и др.

Необходимо выделить организационные и экономические аспекты использования пилотируемых авиационных аэрофотосъемочных комплексов при решении задачи мониторинга небольших участков лавиноопасных объектов.

1. Стоимость оборудования для комплексной аэросъемки и программ обработки данных достаточно высока и составляет от 1,5 до 2 млн. долл. Приобретение и использование такого оборудования под силу только крупным организациям, специализирующимся на объемных поставках сведений о дистанционном зондировании.

2. Суммарный вес комплекта навигационного, аэрофотосъемочного и локационного оборудования (лидара) составляет 200 кг и более, что требует адаптированного для съёмки самолета (Ан-3, Cесna и др.) или вертолета (Ми-8Т и др.).

3. Использование пилотируемой техники предполагает наличие достаточно развитой полевой инфраструктуры: аэродрома, базы хранения и обслуживания техники, сертифицированных пилотов, диспетчера и обслуживающего персонала.

4. Получение и обработка больших массивов информации приводят к созданию отдельных структурных подразделений: аэросъемочной и геодезической бригад, группы камеральной обработки данных съемки, что также возможно только для крупных специализированных организаций [3].

Таким образом, экономические затраты на единицу отснятой площади узкой полосы лавиноопасных участков существенно превосходят затраты для больших площадей. Поэтому целесообразно применять ВЛС на обширную территорию, а на локальном уровне НЛС.

Сущность наземного лазерного сканирования заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек объекта и регистрации соответствующих направлений (вертикальных и горизонтальных углов), следовательно, измеряемые величины при наземном лазерном сканировании являются аналогичными, как и при работе с электронными тахеометрами.

Изображения, получаемые НЛС, обычно несут чрезвычайно большой объем информации, являющийся в ряде случаев избыточным. Например, изображения обладают психовизуальной избыточностью, т.е. часть информации на получаемых сканах может быть исключена без последствий для восприятия их человеком.

Именно свойства избыточности позволяют говорить о полной автоматизации процесса сбора информации об объекте. Помимо высокой степени автоматизации, наземное лазерное сканирование обладает также следующими достоинствами по отношению к другим способам получения пространственной информации:

А) возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях (в момент сканирования измеряются дальность, вертикальный  $\Theta$  и горизонтальный  $\phi$  углы, по которым вычисляются координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  точек);

В) высокая точность измерения;

С) высокая производительность. Наиболее важным достоинством применения НЛС является сокращение полевых работ при создании цифровых моделей объектов, следовательно, данная технология более экономически выгодно по сравнению с другими;

Д) работы можно выполнять при любых условиях освещения, т.е. днем и ночью, так как сканеры являются активными съемочными системами;

Е) многоцелевое использование результатов лазерного сканирования и т.д.

Собственно сама возможность создания полноценной трехмерной измерительной модели стала доступной с появлением наземных лазерных сканирующих систем. Конечно, далеко не во всех видах работ возможно и целесообразно использовать новую технологию. Но свое применение она нашла даже в таком, казалось бы, устоявшемся и консервативном приложении, как топографическая съемка. На объектах, имеющих большую ситуационную нагрузку, применение технологии лазерного сканирования для создания топографического плана может быть не только оправданным, но и чрезвычайно полезным. Метод создания топографического плана по данным лазерного сканирования называется виртуальной съемкой. Данный метод заключается в выборе из сканов тех точек, которые характеризуют объекты съемки. Кроме этого, из облака точек можно почерпнуть много дополнительной информации, которую пришлось бы определять в поле. Работая с результатами скани-

рования, можно получить информацию о высоте деревьев и кустарников, провисе проводов и т.п. По скану легко определить количество прокладок на коммуникационных эстакадах, измерить диаметры труб, распознать подавляющее большинство объектов подлежащих отображению на плане.

Сканирование выбранной области (объекта) выполняется в автоматическом режиме импульсным лазерным лучом при помощи оптико-механической системы. Горизонтальное перемещение обеспечивается поворотной платформой сканера, вертикальное отклоняющими зеркалами.

В ряде случаев (например, при измерении) нет необходимости построения моделей. Достаточно использовать «облака» точек лазерных отражений, трансформированные в некую общую систему координат. Учитывая тот факт, что современные системы фиксируют истинный цвет и интенсивность отражения для каждой точки, «облака» точек легко дешифрируются, что позволяет выделить интересующий конструктивный элемент и обработать его изображение

Аналитическая форма генерации и анализа ЦМР позволяет добиться максимальной точности и достоверности. Впервые появляется возможность количественной оценки точности восстановления истинного рельефа.

### Результаты и обсуждения

По НЛС можно получить сведения о распределении снежного покрова на горных склонах (площадью до 1000 м, в зависимости от модели лазерного сканера) в виде высокоточных карт толщины снежного покрова. Потенциальное предназначение таких карт – определение лавинной опасности (включая ее геоморфологический аспект), расчеты снеговой нагрузки на инженерные сооружения, оценка условий зимней рекреации (рис.1).

Существует технический аспект актуальности данного исследования. Современные технологии НЛС и методы ГИС-моделирования позволяют изучать поле снежного покрова и микрорельеф не только с высокой пространственной детализацией, но и на качественно новом уровне анализа.

Предложенный метод дистанционной съемки толщины снежного покрова в горах может быть успешно использован для оперативной оценки распределения снежного покрова с целью снеголавинного обеспечения районов гор-

нолыжного катания и мест зимней рекреации, что повысит достоверность прогнозов лавинной опасности.

Полноценное описание структуры полей снежного покрова в горах, необходимое для осмысления организации нивальных систем, предполагает исследование полей с разным пространственным разрешением, поскольку на разных масштабных уровнях формирование поля подчиняется действию различных групп факторов. С позиций зимней рекреации и лавинного поведения наибольший интерес представляют

моделирование и оценка структуры поля снежного покрова на локальных уровнях формирования горных склонов. Под микро- и мезомасштабными понимаются участки горных склонов с горизонтальными размерами порядка 10<sup>2</sup>–10<sup>3</sup> и 10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup> м соответственно. Такое пространственное разрешение дает адекватное представление о вкладе локальной неоднородности снежного покрова в фоновые величины, позволяя перейти от осредненных и косвенных показателей заснеженности к реальным значениям на конкретных склонах.



Рисунок – Фрагмент съемки наземного лазерного сканирования лавиноопасной зоны в Алматы (13.04.15 г.)

Прямым фактором формирования микроструктуры поля снежного покрова является горный микрорельеф, выраженный в морфометрических показателях (уклоны, микроэкспозиция, кривизна и др.). Поэтому в рамках основной задачи исследования структуры поля снежного покрова выделяются две подзадачи, решаемые путем проведения экспериментов на тестовых участках в горах:

- количественная оценка морфометрических свойств земной поверхности (как субстрата для снежного покрова) посредством построения высокоточных моделей рельефа и расчета морфометрии растительного покрова;
- построение высокоточной цифровой модели поля толщины снежного покрова на максимуме сезонного снегонакопления.

Последующая интерпретация микро- и мезоструктурных свойств поля должна выполняться на основе сопряженного анализа свойств субстрата (земной поверхности т.е. летний период) и собственно поля снежного покрова (зимний период). В связи с этим выделяются типы моделируемых поверхностей: а) почвенно-каменистый субстрат («истинная» поверхность), б) растительность, в) снежный покров и г) искусственные объекты (сооружения).

## Выводы

Полученные в районе наземного снегомерного маршрута данные дают возможность не только перейти от точечных (одномерных) наблюдений к трехмерному представлению поля, но

и выполнить оценку репрезентативности снегопунктов.

В теоретическом плане полученные результаты способствуют развитию представлений о пространственной структуре нивальных систем и собственно механизмах структурирования. Практическая реализация подобных исследований приведет к оперативному обеспечению районов горнолыжных трасс и зимней рекреации, включая территорию Алматау, информацией о снеголавинном состоянии.

Материалы лазерного сканирования позволяют ставить и решать широкий круг задач, нацеленных на описание морфологических свойств микрорельефа. В ходе проведенных исследований на основе морфометрического анализа установлено влияние микрорельефа на формирование поля сезонного снежного покрова в горах (на примере многоснежного Иле Алатау). Основные научно-методические и практические результаты сводятся к следующему:

1. По данным НЛС можно получить оптимальную методику создания высокоточных цифровых моделей земной поверхности (рель-

ефа), поверхности и поля толщины снежного покрова.

2. НЛС обеспечивает построение высокоточной модели поля толщины снежного покрова. В результате анализа этой модели выявлен вклад высоты местности, экспозиции и крутизны склонов, растительного покрова в статистическую структуру исследуемого поля.

В статье предлагается методика дистанционного контроля лавинной опасности, по современным технологиям НЛС имеющая большую оперативность реагирования по сравнению с существующими. Поэтому в настоящее время высокую актуальность имеет поиск высокоадекватных и удобных методов моделирования и прогнозирования снежных лавин.

Итак, судя по выполненному обзору, технологии НЛС, несмотря на недолгую историю своего развития, уже нашла свое применение в геоморфологических исследованиях. Более того, сфера применения лазерных съемок, в связи с непрерывной модернизацией оборудования и разработки новых методик обследования земной поверхности, продолжает активно расширяться.

#### Литературы

- 1 Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование. – Новосибирск: СГГА, 2009
- 2 Северский И.В., Благовещенский В.П. Оценка лавинной опасности горной территории. – Алма-Ата, 1983. – С. 120
- 3 Исаков А.Л. Мониторинг лавиноопасных участков транспортных магистралей с применением беспилотных летательных аппаратов// Вестник ТГАСУ. – 2014. – С. 143.

#### References

- 1 Seredovich V.A., Komissarov A.V., Komissarov D.V., Shirokova T.A. Nazemnoe lazernoe skanirovanie. – Novosibirsk.: SGGA, 2009.
- 2 Severskij I.V., Blagoveshenskij V.P. Ocenka lavinnoj opasnosti gornoj territorii. – Alma-Ata, – 1983. – S. 120.
- 3 Isakov A.L. Monitoring lavinoopasnyh uchastkov transportnyh magistralej s primeneniem bespilotnyh letatel'nyh apparatov// Vestnik TGASU. – 2014. – S. 143.