

Рис. 3. Результаты

**Список литературы:** 1. *Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э.* Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. К.: Наук. думка, 2002. 161с. 2. *Овезгельдыев А.О., Петров К.Э.* Компараторная идентификация параметров линейных моделей многофакторного оценивания // Радиоэлектроника и информатика. 1998. №2(03). 3. *Петров Э.Г., Булавин Д.А., Петров К.Э.* Использование генетических алгоритмов для решения задачи структурно-параметрической идентификации модели индивидуального многофакторного оценивания // Проблемы бионики. 2003. №60. 4. *Ивахненко А.Г., Лапа В.Г.* Предсказание случайных процессов. АН УССР, 1971. 416с. 5. *Растринин Л.А.* Адаптация сложных систем: Методы и приложения. Рига, 1981. 375с. 6. *Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрошев, С.А. Сергеев.* Харьков: Основа, 1997. 112с. 7. *Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы. Состояние. Проблемы. Перспективы. Таганрог, 1999. 8. *Ротштейн А.П.* Интеллектуальные технологии идентификации. Винница: «Универсум-Винница», 1999. 320с.

Поступила в редколлегию 07.08.2006

**Булавин Дмитрий Алексеевич**, канд. техн.наук, ст. преподаватель кафедры ПО ЭВМ ХНУР-РЭ. Научные интересы: теория принятия решений, генетические алгоритмы. Увлечения: футбол, музыка. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Ленина, 3, кв. 20, тел. 702-30-79, e-mail: dimetroid@yandex.ru.

**Калиниченко Ольга Викторовна**, канд. техн. наук, доцент кафедры ПО ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: теория принятия решений, Web-программирование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-06.

**Рогозянов Артем Сергеевич**, студент гр. ПОАС-04 ХНУРЭ. Научные интересы: теория принятия решений, генетическое программирование. Адрес: Украина, 61080, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-06.

УДК 681.3

*А.Я. КУЗЕМИН, Д.В. ФАСТОВА, О.Н. ДЯЧЕНКО*

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ

Рассматривается актуальная проблема разработки специализированных геоинформационных систем для классификации и выявления лавинных очагов республики Кыргызстан. Для установления генетического типа лавины исследуемой территории определяются информативные признаки, которые влияют на методику прогнозирования параметров лавинной опасности. Для определения лавин сублимационного диафореза предлагается метод группового учета аргументов.

## **Введение**

Республика Кыргызстан является одной из самых высокогорных государств на территории СНГ. Это откладывает специфический отпечаток на ее природу. Большая часть территории, несмотря на низкие широты, в течение значительной части года покрыта снежным покровом. В условиях пересеченного рельефа наличие мощного снежного покрова приводит к активной лавинной деятельности почти на половине площади Кыргызстана.

Строение поверхности, климатические особенности, синоптическая ситуация, режим снежного покрова, характер растительности горных ландшафтов Кыргызстана определяют те специфические черты возникновения и деятельности лавин, которые отличают этот регион от таких широко известных горных районов как Хибины, Альпы, Кавказ.

*Цель данного исследования* состоит в повышении эффективности обработки информации для классификации и прогнозирования лавинной опасности в автоматизированной геоинформационной системе.

Согласно поставленной цели можно выделить следующие задачи:

- разработка двух блоков геоинформационной системы («Классификатор типов погоды», «Классификатор типов лавин»);
- определение и обработка информации для блока «Классификатор типов погоды»;
- выявление и обработка информативных характеристик для блока «Классификация типов лавин»;
- выбор метода для выявления зависимостей между информативными параметрами лавин сублимационного диафореза.

*Объект исследования* – горные районы республики Кыргызстан.

*Предмет исследования* – геоинформационная система для классификации и прогнозирования лавинной опасности.

## **Геоинформационные технологии**

Использование горных районов Кыргызстана в промышленных целях и круглогодичная эксплуатация горных автострад затрудняется многими природными факторами, среди которых на одном из первых мест стоит лавинная опасность. Для разработки оптимальных мероприятий по предупреждению лавинной опасности необходимо большое количество высококачественной снеголавинной информации, получение которой возможно только при условии ее автоматизированного сбора и обработки. Таким образом, создание подобных специализированных систем является важнейшей задачей. Такие системы относятся к классу геоинформационных систем (ГИС).

В общем виде роль ГИС-технологий в лавинных исследованиях сводится к синтезу знаний о рельефе, климате и предшествующих событиях в целях определения возможности схода снежных лавин [1]. Для этого в среде ГИС оцифровываются уже готовые карты или создаются новые проекты. Анализ работ, посвященных использованию ГИС в лавинных исследованиях, показал, что ГИС-технологии в настоящее время применяются для решения следующих задач [2]:

- выявление зон зарождения лавин;
- моделирование процессов и явлений, определяющих условия схода снежных лавин;
- определение зон поражения;
- создание кадастров лавинных очагов, баз данных о лавинах;
- прогноз лавинной опасности.

Для исследуемого объекта актуальными являются все перечисленные выше задачи.

Схема предложенной ГИС для классификации типов лавин, типичных для республики Кыргызстан, представлена на рисунке. Данная ГИС состоит из пяти блоков, необходимых для выявления генезиса лавин. Генетический тип лавин определяется совокупностью лавинообразующих факторов в данном регионе. Тип лавины влияет на выбор методов прогнозирования времени ее образования, объемов, скорости, величины ударной волны и т.п.

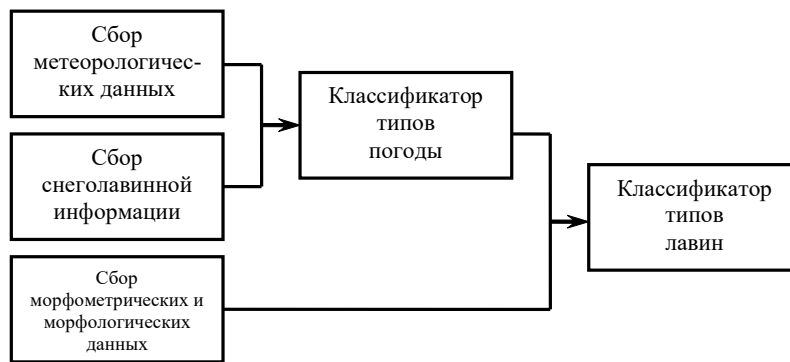


Схема геоинформационной системы

В целом, лавиноопасная зона Кыргызстана характеризуется следующими особенностями климата и погоды, имеющими наибольшее значение в образовании и сходе лавин [3]:

- периодически повторяющимися обильными снегопадами, а в некоторых районах метелями в результате частых вторжений циклонов, создающих значительную перегрузку снега на склонах и вызывающих сход наиболее распространенных лавин из свежевывапавшего, а в некоторых районах метелевого снега, которые достигают исключительно больших объемов;

- обилием солнечных морозных и безветренных дней, когда особенно интенсивно происходят процессы перекристаллизации снега, образуется мощный слой снега-пльвуна (глубинная изморозь), представляющего собой опасный горизонт скольжения лавин;

- резкими колебаниями температуры воздуха, вызывающими сход лавин температурного сокращения снега в результате разрушения в нем связей;

- глубокими оттепелями в результате вторжения теплых масс воздуха, интенсивной солнечной радиации, феновых явлений как в течение всей зимы, так и весной, обуславливающими разрыхление снежного покрова и возникновение горизонта скольжения, по которому сходят мокрые лавины;

- выпадением в весенний период (апрель, май, июнь) жидких осадков на снег, в результате чего сходят мощные мокрые (адвекционные) лавины.

#### **Классификатор типов погоды**

Необходимость разработки автоматического классификатора типов погоды для выявления генезиса лавин определяется важностью метеорологических условий для образования лавин. В стратиграфическом разрезе снежной толщи надежно отражены типы погод и их продолжительность. Тип погоды определяет не только вид сходящих лавин (сухие, мокрые), но и часто является решающим фактором при медленном созревании снежной толщи. Кроме того, количественная характеристика типов погоды необходима для климатической оценки изучаемого района. Разработка автоматического классификатора типов погоды преследовала две цели: выявить изменчивость метеорологических элементов, косвенно влияющих на формирование стратиграфических слоев снежного района; найти типы погоды, которые наиболее часто наблюдаются в зимнем сезоне и влияют на вероятность появления лавин. Условно выделено два типа погоды: антициклонический и фронтальный. Принято, что при антициклоническом типе погоды может выпадать твердых осадков в сутки не менее 1 мм. Во всех других случаях тип погоды принимается фронтальным [4].

Распознавание типов погоды осуществляется по количеству выпадающих твердых осадков  $\sigma_{кр}$  и интенсивности  $I_{0кр}$  как наиболее существенных характеристик для образования лавин прямого действия. Величины  $\sigma_{кр}$  и  $I_{0кр}$  являются критическими. При значениях  $\sigma < \sigma_{кр}$  и  $I_0 < I_{0кр}$  формируется признак антициклонического типа погоды, в противном случае – циклонического (фронтального). По скомпонованному признаку производится поиск адекватной метеорологической ситуации, который заканчивается формированием продолжительности периода. Для описания этого периода вычисляется вектор  $E$ , определяемый набором параметров  $a_1, a_2, \dots, a_n$  как функции времени в течение интервала

времени  $\tau$ . В качестве компонента вектора  $E$  используются основные метеорологические параметры, которые существенно влияют на образование лавин.

При циклоническом типе погоды сходит 73 % всех лавин. Это объясняется тем, что массовый сход лавин после больших снегопадов наступает через 1-2 дня. В первый день антициклона сходит 39 % лавин при значительных суточных перепадах температуры воздуха от 7 до 15°C. За второй день антициклонической погоды сходит до 17 % лавин при перепадах температуры воздуха от 12 до 17°C. Если продолжительность антициклонической погоды составляет 3 дня, то наблюдаются частые переходы температуры воздуха через 0 градусов, что благоприятствует образованию лавин из рыхлых снежных досок (8,7 %) [4].

#### **Классификация типов лавин**

С помощью классификатора выделяют 5 типов лавин, возникающих на горных ландшафтах Тянь-Шаня и Памиро-Алая республики Кыргызстан:

1. Лавины свежеснеговывающего снега.
2. Мокрые лавины.
3. Лавины из метелевого снега.
4. Лавины температурного сокращения.
5. Лавины сублимационного диафтореза.

Данная классификация лавин является условной, поскольку очень трудно найти связь процессов их возникновения с природными условиями лавиноопасных районов.

Наиболее распространенными на территории республики Кыргызстан являются лавины свежеснеговывающего снега. Они составляют приблизительно 50-60% от общего количества лавин. Для выделения данного типа лавин разработана следующая методика классификации. Основным лавинообразующим фактором является информация, поступающая из блока «Классификатор типов погоды». Прогнозируемыми данными служат тип погоды (циклонический, антициклонический) и интенсивность выпадения осадков (интенсивность снегопада больше 0,17 см/ч). Из блока «Сбор снеговывающей информации» используется только значение высоты свежеснеговывающего снега и высоты старолежалого снега. Таким образом, определение лавин свежеснеговывающего снега состоит в расчете критической высоты снежного покрова, представляющего собой произведение высоты старолежалого на высоту свежеснеговывающего снега, при условии сохранения типа погоды хотя бы в течение несколько календарных дней.

Мокрые (инсоляционные и адвекционные) лавины составляют 14 % всего количества зарегистрированных лавин, лавины метелевого снега – 12,9 %, лавины сублимационного диафтореза – 10,7 %, лавины температурного сокращения – 7,9 % общего количества лавин. Для перечисленных четырех типов лавин большое значение имеют процессы, происходящие в снежной толще под действием изменения градиента температуры и других лавиноопасных факторов. Для этих типов лавин не разработаны в достаточной степени методики классификации и прогнозирования. Указанные методики должны учитывать процессы, происходящие в снежной толще (изменение структуры и перекристаллизация в снежных слоях), физико-механические свойства снега. Температурный градиент не однозначно влияет на процессы внутри снежного покрова. При быстром понижении температуры воздуха происходит уменьшение объема снежного пласта, нарушающее его устойчивость. Когда температура воздуха значительно повышается в течение короткого времени, но остается отрицательной, снежный покров подвергается обратному действию, т.е. увеличивается его объем и ослабевают удерживающие его силы.

При положительной температуре воздуха, сохраняющейся в течение нескольких дней, в снежной толще появляется талая вода, разрушающая контакты между кристаллами и слоями снега, что приводит к образованию мокрых лавин.

Под воздействием резкого понижения температуры воздуха в снежной толще происходят физико-механические изменения, которые приводят к образованию лавин температурного сокращения. Большая часть лавин температурного сокращения связана с понижениями температуры воздуха после окончания снегопадов. Подобные лавины формируются на незатронутых лавинами свежеснеговывающего снега участках рельефа, поскольку не снесенный

лавины первого типа снег приводит к сжатию снежной толщи. Резкое понижение температуры воздуха после снегопада приводит к уменьшению силы сопротивления сдвигу и приближению ее к нулю. Период между началом понижения температуры воздуха и временем схода лавины составляет не более двух суток, как правило, через 2-3 часа после момента суточного минимума температуры. В практике на лавины этого типа приходится больше всего неоправдавшихся прогнозов. Трудности при определении критериев схода подобных лавин заключаются в слабой изученности физической сущности процессов, происходящих во время температурного сокращения снега. Согласно [4], методика прогноза осуществляется по температурному градиенту воздуха, поскольку он влияет на температуру снежного покрова, который приводит к сокращению объема снега.

При прогнозировании лавин метелевого снега большое значение имеет ветровой режим. Ветер является мощным фактором переноса снега и аккумуляции его в лавиносборах. Г.К. Тушинский [5] и В.Н. Аккуратов разработали методику прогнозирования данного типа лавин по коэффициенту метелевого переноса снега и ветрового коэффициента.

При формировании лавин сублимационного диафтореза большое значение имеет абсолютная влажность воздуха, которая на территории Кыргызстана весьма низкая. В связи с этим снег нередко переходит прямо в газообразное состояние, минуя жидкую фазу, чему также способствует разреженность атмосферы. Большая сухость воздуха и связанная с нею интенсивная перекристаллизация благоприятствуют ускорению процессов сублимации и разрыхления снега. На данный тип лавин относительная влажность воздуха практически не влияет и соответственно не является критерием лавиной опасности. Ветровая активность подавляет процессы сублимационного разрыхления снега.

Лавины, вызываемые перекристаллизацией снега, возникают обычно, когда на склоне есть потенциально неустойчивые однослойные или многослойные снежные плиты. На некоторых участках они находятся в локально неустойчивом состоянии и удерживаются на склоне за счет краевых усилий [6]. Нарушение устойчивости этих плит может быть вызвано различными непредвиденными причинами (обрушение снежного карниза, падение камня, проход лыжника, ударная волна от сверхзвукового самолета, неравномерная осадка снега под плитой и т. п.). Выдать прогноз времени схода лавин данного типа практически невозможно. Поэтому ограничиваются оценкой вероятности схода лавин и определением времени, когда наиболее целесообразно производить искусственное обрушение снега с лавиноопасных склонов.

### **Лавины сублимационного диафтореза**

Среди перечисленных выше генетических типов лавин, присущих республике Кыргызстан, особый интерес представляют лавины сублимационного диафтореза. Классификация их затруднительна вследствие выделения совокупности четких лавинообразующих признаков. Выделение данного типа лавин связано с изучением процесса образования глубинной изморози в снежном покрове. Этот процесс можно моделировать с помощью метода группового учета аргументов, который выявляет зависимость между факторами, влияющими на метаморфизм снега [7].

Общий вид модели структурно-параметрической идентификации глубинной изморози, или построение моделей по экспериментальным данным, может быть сведен к поиску экстремума некоторого критерия  $CR$  на множестве различных моделей  $\mathfrak{Z}$ :

$$f^* = \arg \min_{f \in \mathfrak{Z}} CR(f). \quad (1)$$

Очевидно, что (1) не содержит исчерпывающей формулировки задачи, поэтому дополнительно необходимо:

- 1) задание выборки данных (полученных в результате пассивного или активного эксперимента), а также априорной информации. Задана выборка  $W = [Xy]$ , содержащая  $n$  точек наблюдений, образующих матрицу  $X = \{x_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$  и вектор  $y = (y_1, \dots, y_m)^T$ , причем  $n \geq m$ ;
- 2) выбор или задание класса базисных функций и преобразование данных;
- 3) генерация различных структур моделей в выбранном классе;

- 4) оценивание параметров генерируемых структур и формирование множества  $F$  ;
- 5) минимизация заданного критерия  $CR(f)$  и выбор оптимальной модели  $f$  ;
- 6) проверка адекватности полученной оптимальной модели;
- 7) принятие решения о завершении процесса.

Перечисленные этапы описывают произвольный процесс построения модели, причем в зависимости от априорной информации и целей моделирования те или иные этапы могут отсутствовать.

В целом задача идентификации состоит в формировании по данным выборки некоторого множества  $\mathcal{J}$  моделей различной структуры вида

$$\hat{y}_f = f(X, \hat{\theta}_f) \quad (2)$$

и отыскании оптимальной модели по условию

$$f^* = \arg \min_{f \in F} CR(y, f(X, \hat{\theta}_f)) . \quad (3)$$

При этом оценка параметров (2) для каждой модели  $f \in F$  является решением еще одной экстремальной задачи вида

$$\hat{\theta}_f = \arg \min_{\theta_f \in R^m} QR(y, X, \theta_f) , \quad (4)$$

где  $\theta_f$  называется сложностью модели  $f$  и равно числу ненулевых компонент в модели вида (3), а  $QR$  – критерий качества решения задачи параметрической идентификации каждой частной модели, генерируемой в задаче структурной идентификации.

**Выводы.** Изложены климатические, синоптические и рельефные особенности горных ландшафтов республики Кыргызстан. Горные склоны данной территории характеризуются повышенной лавинной активностью. Для успешного решения выделенного класса задач, связанных с классификацией и прогнозированием лавинных очагов, необходимо создание автоматизированной системы сбора и обработки информации. Для этой цели была предложена геоинформационная система, состоящая из пяти блоков. Описаны два основных блока данной системы, которые генерируют информацию о генетическом типе лавин. Данные, полученные с их помощью, необходимы для выбора методики прогнозирования времени и объема схода лавин, что имеет большое значение при разработке противолавинных мероприятий. Показаны трудности классификации лавин сублимационного диафтореза. Решение этой проблемы возможно с помощью применения метода группового учета аргументов для моделирования процесса образования глубинной изморози в снежном покрове.

**Список литературы:** 1. Дяченко О.Н., Фастова Д.В., Кузмин Ю.А. Прогнозирование лавинной опасности и принятие решений // Сб. материалов конференции «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции их развития». Харьков: ХНУРЭ, 2006. С. 290-291. 2. Селиверстов Ю.Г. Методика расчета экономического ущерба от лавинных завалов на автомобильных дорогах (на примере Киргизии). В кн.: Обзорное картографирование природных опасностей и стихийных бедствий. М.: МГУ, 1992. С.233-242. Деп. в ВИНТИ 24.04.1992. 1389.В.92. 3. Методические рекомендации по прогнозу снежных лавин в СССР. М.: Гидрометеоздат, 1990. 128 с. 4. Ржевский Б.Н. Лавины резких температурных изменений // Физика снега, снежные лавины и ледники. Вып. 12. Л.: Гидрометеоздат, 1967. С. 253-259. 5. Тушинский Г.К. Ледники, снежники, лавины Советского Союза. М., 1963. 312 с. 6. Отуотер М. Охотники за лавинами. М.: Мир, 1972. 269 с. 7. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наук. думка, 1981. 296с.

Поступила в редколлегию 06.09.2006

**Кузмин Александр Яковлевич**, канд. техн. наук, проф. кафедры информатики, начальник инновационно-маркетингового отдела ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166 Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8 (057) 702-15-15, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

**Фастова Дарья Владимировна**, аспирант кафедры информатики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8 (057) 702-15-15, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

**Дяченко Олеся Николаевна**, аспирант кафедры информатики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8 (057) 702-15-15, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.