

УДК 004.7

**А. Я. Куземин, В. В. Ляшенко, Д. В. Фастова**

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, 61166 Харьков, Украина

## **Интерпретационная модель анализа среды возникновения лавинного климата**

*Рассмотрена актуальная проблема прогнозирования лавинной опасности. Предложена модель формализации ситуаций, основанная на интерпретации рядов распределения вероятностей и определении границ лавиноопасных и нелавиноопасных множеств. Показана возможность применения модели на реальных данных. Обоснована необходимость применения данной модели для прогнозирования временной характеристики схода лавины.*

**Ключевые слова:** геоинформационная система, интерпретационная модель, лавинная опасность, формализация множеств, прогнозирование лавинного климата.

### **Введение**

Снежные лавины, как и землетрясения, наводнения, сели и т.п. относят к числу опасных природных явлений. Согласно гляциологическому словарю [1], под снежной лавиной (snow avalanche) понимают пришедшие в движение на склоне гор скользящие и низвергающиеся снежные массы. Ежегодно снежные лавины уносят жизни сотен людей и разрушают важные хозяйственные объекты, среди которых лидирующее место занимают автомобильные и железнодорожные магистрали. Изучение динамики развития данного стихийного бедствия, разработка методов оценки потенциальных лавинных очагов, прогнозирование объемов и частоты схода лавин является актуальной проблемой, требующей применения современных информационных технологий и корректного математического аппарата. Качественная обработка и упорядочивание огромных массивов лавинных данных, расчет динамических характеристик лавин, оценка лавинной опасности рельефа являются основными задачами геоинформационных систем (ГИС) [2]. Разрабатываемые ГИС позволяют непрерывно накапливать метеорологическую информацию, производить различные расчеты, выявлять закономерности, осуществлять пространственную привязку результатов.

© А. Я. Куземин, В. В. Ляшенко, Д. В. Фастова

Важнейшей прикладной задачей ГИС является прогнозирование лавинной опасности, которое, как правило, осуществляется по одной из четырех характеристик: частоте схода лавин, объему сошедших снежных масс (размер лавины), дальности выброса лавины и времени схода.

Временной аспект прогноза лавинной опасности предусматривает определение возможности схода лавин на заданной территории в обусловленный промежуток времени. Временная характеристика является основной при разработке противолавинных мероприятий, от эффективности которых в большинстве случаев зависят жизни людей. Среди трудностей, связанных с расчетом временного аспекта лавинной деятельности, можно выделить следующие [3]:

1) приводимая в научной литературе классификация прогнозов на кратко-, средне- и долгосрочные не использует фиксированных интервалов времени для такового их разделения. Анализ работ по прогнозированию лавинной опасности показывает, что на практике прогноз может составляться на сутки, 48 часов, 72 часа, на зимний сезон, на многолетний отрезок времени;

2) прогнозы лавинной опасности создаются с использованием специально разрабатываемых для региона или отдельного очага методик, определяющих алгоритм выявления лавинной опасности;

3) ряд методик предусматривает прогноз лавиноопасного периода — промежутка времени, на протяжении которого будет сохраняться действие фактора лавинообразования. Как правило, такой подход используется при прогнозе лавин во время снегопадов и метелей. Сход лавин прогнозируется с момента достижения критических условий до конца снегопада (метели) и на период от одних до двух суток по их окончании — пока сохраняется неустойчивость снежного покрова;

4) заблаговременность (время между составлением прогноза до начала его действия) прогноза, заложенная во многих методиках прогноза, нулевая. На практике это означает констатацию факта достижения критических для схода лавин условий. Основные причины такого положения кроются в скоротечности возникновения лавиноопасной ситуации (от нескольких часов до суток), постоянном изменении метеорологических условий, невозможности непрерывного и повсеместного сбора необходимой информации.

**Цель статьи** заключается в повышении качества прогноза лавинной опасности за счет построения интерпретационной модели для определения времени схода лавины.

Согласно поставленной цели можно выделить следующие подзадачи:

- формализацию множества лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций;
- построение интерпретационной модели формализации ситуаций;
- определение методов решения полученной интерпретационной модели.

## **Существующие методики прогнозирования времени схода лавины**

*Метод ближайшего соседа.* Достаточно широко при создании прогнозов схода снежных лавин применяется метод подобия образов или метод ближайших соседей [4]. Основная идея метода заключается в составлении базы данных о сходе лавин, которая содержит информацию о размерах и метеорологических условиях, сопровождающих обрушения, определении и наложении на карту лавино-

опасных территорий. Вновь поступающие снеголавинные и метеорологические данные сравниваются с записями в базе данных. Прогноз производится при сравнении текущих метеоусловий с критическими, определяемыми по базе данных.

Метод ближайшего соседа требует значительных вычислительных ресурсов и поэтому не получил массового применения, но широко используется для прогноза лавинной опасности в Швейцарии и Франции [5].

Недостатком метода признается [3] невозможность определения степени лавинной опасности, количества и размеров лавин. Метод не охватывает всех причин, приводящих к лавинообразованию, и применим для прогноза лавин только отдельных генетических типов, к примеру, лавин из свежевывающего снега.

*Регрессионный анализ.* При прогнозе времени схода лавин с использованием уравнений регрессии предполагается, что текущие условия или направление их изменения будут сохраняться на протяжении некоторого времени. Периодические уточнения позволяют вносить коррективы в прогноз.

Метод множественной линейной регрессии применяется также для расчета возможного количества лавин в районе при прогнозе «лавиноопасно», для определения количества лавин, перекрывающих автодорогу (т.е. оценка дальности выброса) и для оценки максимального объема лавин [5].

Проверка методов прогноза времени лавин на независимом материале показала возможность использования их в оперативной практике. Средняя оправдываемость прогнозов составляет 80–87 %.

## Интерпретационная модель для определения временной характеристики лавинной опасности

Прогноз лавинной опасности может иметь альтернативный и вероятностный характер. При альтернативном прогнозе возможны две формулировки ситуации. При этом согласно [6] нелавиноопасной считается ситуация, когда наблюдается отсутствие схода лавин, либо незначительные подвижки снега объемом до  $10 \text{ м}^3$ , не представляющие опасность для людей и хозяйственных объектов. Альтернативный прогноз предусматривает обрушение самопроизвольных лавин. Прогноз считается оправдавшимся, если сошла хотя бы одна лавина (за исключением случаев прогноза массового схода лавин).

Лавиноопасная ситуация, происходящая в зимне-весенний период, может быть отнесена к классу «лавиноопасно» с вероятностью  $F_l^n(X)$ . В то же время, данная ситуация относится к классу «нелавиноопасно» с вероятностью —  $F_l^h(X)$ , эти вероятности связаны соотношением  $F_l^n(X) = 1 - F_l^h(X)$ .

Нелавиноопасная ситуация, характерная для летне-осеннего сезона, тоже может быть классифицирована на классы «лавиноопасно» и «нелавиноопасно» соответственно. Вероятность отнесения ситуации к классу «лавиноопасно» —  $F_h^n(X)$ , а вероятность класса «нелавиноопасно» —  $F_h^h(X)$ . Вероятности связаны соотношением:  $F_h^n(X) = 1 - F_h^h(X)$ .

Для построения интерпретационной модели, выражающей зависимость между временем схода лавины и временем оперативного реагирования системы, не-

обходимо проанализировать всевозможные комбинации распределения вероятностей, описывающих классы лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций, и обосновать построение предварительного решающего правила для разделения таких ситуаций.

Комбинируя ряды распределения вероятностей, производится корректировка лавиноопасных и нелавиноопасных множеств. Анализ полиномов распределений вероятностей позволяет определить множества вероятностей наступления события при разных условиях. Поскольку полиномы распределения вероятностей позволяют интерпретировать среду возникновения лавинного климата посредством выделения границ множеств лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций, необходимо осуществить переход от вероятностной к теоретико-множественной интерпретации полученных соотношений.

Вариант 1. По распределению вероятностей  $F_l^n(X)$  и  $F_n^n(X)$  (рис. 1). Лавиноопасное множество соответствует разности множеств, ограниченных вероятностными полиномами  $\{F_l^n(X)\} / \{F_n^n(X)\}$ . Нелавиноопасное множество —  $\{F_n^n(X)\} / \{F_l^n(X)\}$ .

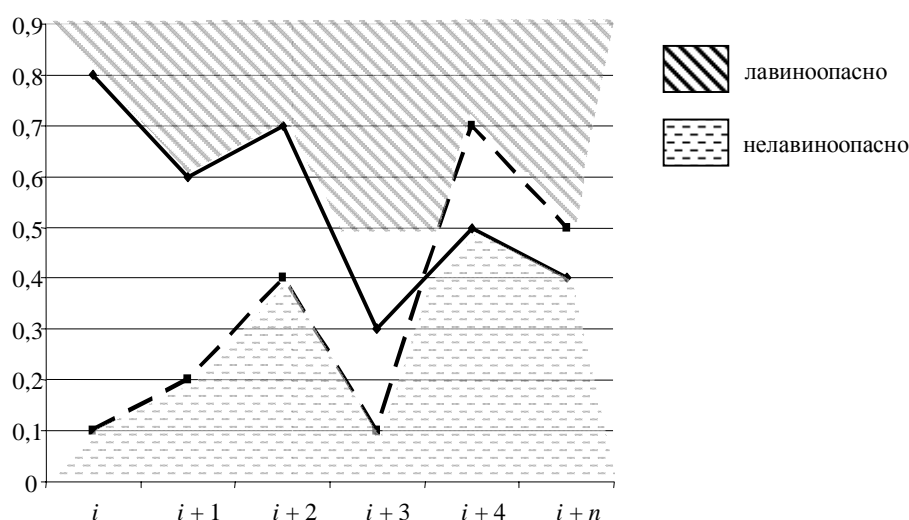


Рис. 1. Полиномы распределения вероятностей для 1-го варианта

Вариант 2. По полиномам распределений вероятностей  $F_l^n(X)$  и  $F_n^n(X)$  (рис. 2). Граница лавиноопасного множества соответствует симметрической разности  $(\{F_l^n(X)\} / \{F_n^n(X)\}) \cup (\{F_n^n(X)\} / \{F_l^n(X)\})$ . Нелавиноопасное множество представляет собой пересечение  $\{F_l^n(X)\} \cap \{F_n^n(X)\}$ .

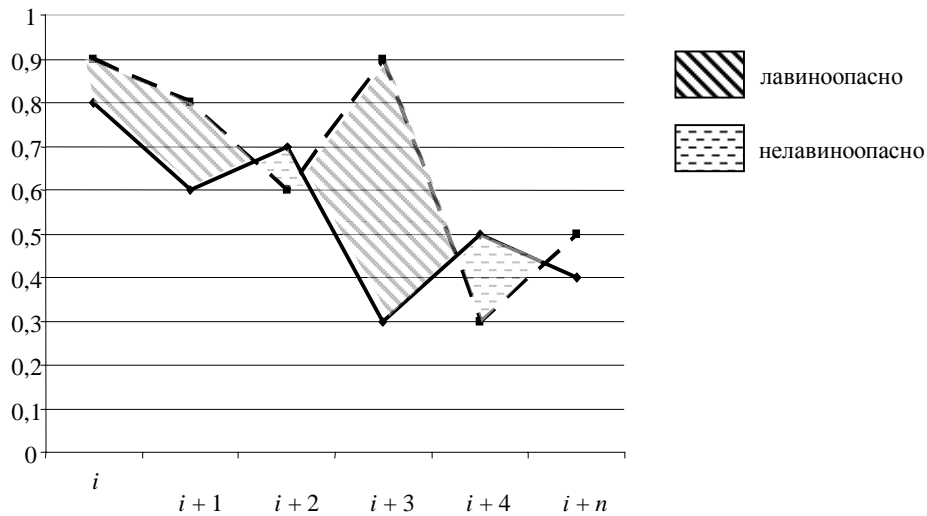


Рис. 2. Ряды распределения вероятностей для 2-го варианта

Вариант 3. По рядам распределений вероятностей  $F_l^n(X)$  и  $F_n^l(X)$  (рис. 3). Граница лавиноопасного множества выражается соотношением симметрической разности  $(\{F_l^n(X)\}/\{F_n^l(X)\}) \cup (\{F_n^l(X)\}/\{F_l^n(X)\})$ . Нелавиноопасное множество представляет собой пересечение двух множеств:  $\{F_l^n(X)\} \cap \{F_n^l(X)\}$ .

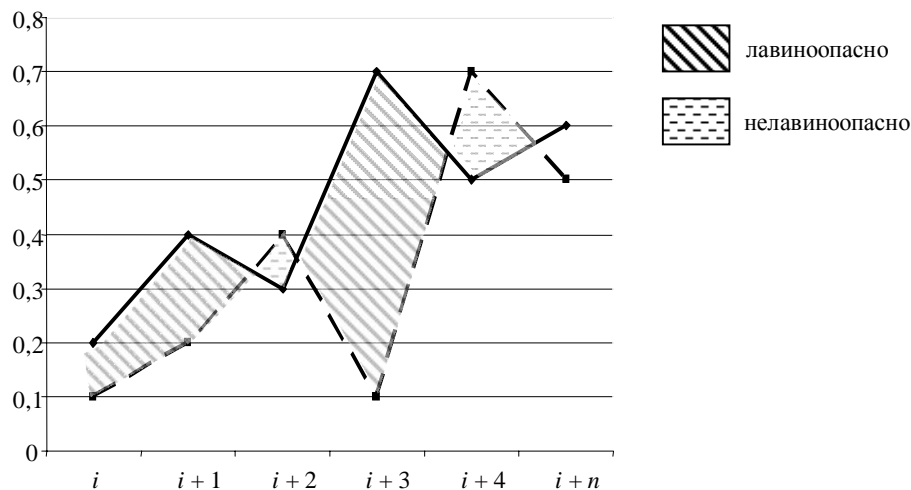


Рис. 3. Полиномы распределения вероятностей для 3-го варианта

Вариант 4. По рядам распределения вероятностей  $F_l^n(X)$  и  $F_n^l(X)$  (рис. 4). Граница лавиноопасного множества выражена разностью  $\{F_l^n(X)\}/\{F_n^l(X)\}$ , нелавиноопасного множества —  $\{F_n^l(X)\}/\{F_l^n(X)\}$ .

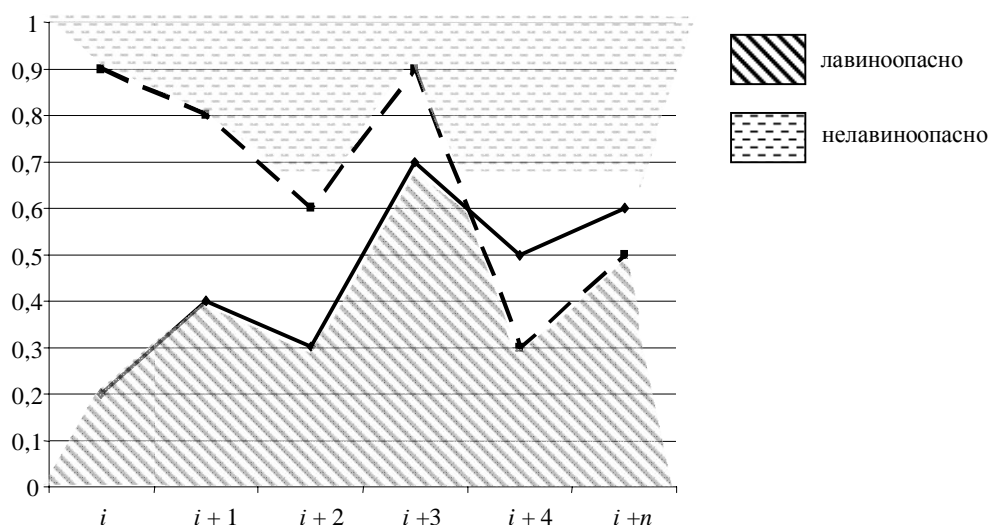


Рис. 4. Полиномы распределения вероятностей для варианта 4

Интерпретационная модель формализации лавиноопасных и нелавиноопасных множеств представляет собой объединение множеств, полученное для каждой из четырех комбинаций:

$$\begin{aligned}
 \text{«лавиноопасно»} &= (\{F_l^n(X)\} / \{F_n^n(X)\}) \cup \\
 &\cup (\{F_l^n(X)\} / \{F_n^n(X)\}) \cup (\{F_n^n(X)\} / \{F_l^n(X)\}) \cup \\
 &\cup (\{F_n^n(X)\} / \{F_l^n(X)\}) \cup (\{F_l^n(X)\} / \{F_n^n(X)\}) \cup \\
 &\cup (\{F_n^n(X)\} / \{F_n^n(X)\});
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{«нелавиноопасно»} &= (\{F_l^n(X)\} / \{F_l^n(X)\}) \cup (\{F_l^n(X)\} \cap \{F_n^n(X)\}) \cup \\
 &\cup (\{F_n^n(X)\} \cap \{F_l^n(X)\}) \cup (\{F_n^n(X)\} / \{F_l^n(X)\}).
 \end{aligned}$$

Формализация множеств лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций является составной частью метода интерпретации временной характеристики схода лавины. Время оперативного реагирования системы зависит от классификатора ситуаций. При классификации новых данных на формализованные классы «лавиноопасно» и «нелавиноопасно» необходим переход к функциям принадлежности этих множеств. Применение вероятностных характеристик является некорректным, поскольку нарушаются соотношения теории вероятностей (например, сумма функций вероятностей превышает единицу).

Временная характеристика схода лавины может быть интерпретирована при помощи времени оперативного реагирования системы  $t_{on}$ , которая зависит от правильности отнесения события  $P_c$  к одному из двух классов: «лавиноопасно» и «нелавиноопасно». Время оперативного реагирования  $t_{on}$  имеет обратную зависимость относительно  $P_c$ , т.е. чем выше условная вероятность события, тем

меньше время оперативного реагирования системы. Таким образом, минимизация  $t_{on}$  может использоваться для вычисления времени схода лавины. В общем случае, задача минимизации времени оперативного реагирования системы является задачей стохастического программирования, где ограничениями выступают вероятностные функции количества (частоты) схода лавин.

### Проверка модели на реальных данных

Используя предложенный аппарат, была проведена апробация модели. Данные для построения модели получены из отчетов снеголавинной станции ИТ-АГАР республики Кыргызстан и содержат сведения о лавиносборе № 12 за 2001–2005 годы.

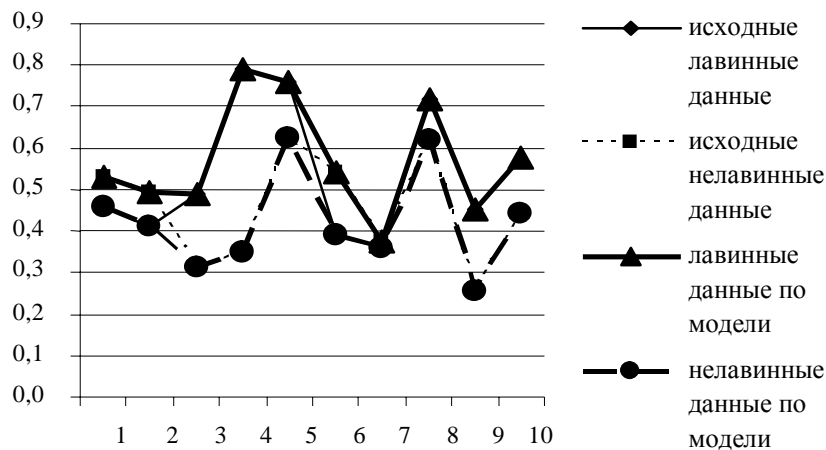


Рис. 5. Ряды вероятностей исходных и модельных данных

Значения границы лавиноопасного множества: {0,528073; 0,494734; 0,487700; 0,793341; 0,761999; 0,540842; 0,3746354; 0,716826; 0,452244; 0,576084}. Вероятности событий, значения которых больше выделенной границы образуют лавиноопасное множество ситуаций. Таким образом, вновь поступившие данные, отнесенные к данному множеству событий, характеризуют вероятность наступления лавиноопасной ситуации. Граница нелавиноопасного множества представляет собой значения: {0,460182; 0,410554; 0,313581; 0,348299; 0,624362; 0,391480; 0,358581; 0,618775; 0,257480; 0,443812}. Вероятности событий, значения которых меньше выделенной по модели границы, попадают в нелавиноопасное множество. Таким образом, вновь поступившие данные, отнесенные к данному множеству событий, характеризуют вероятность наступления нелавиноопасной ситуации.

Следовательно, можно говорить об адекватности модели выявления лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций. Данная модель также позволяет построить процедуру корректировки множеств лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций. Достичь этого можно посредством аппроксимации полиномов распределения вероятностей, которые отражают новые возможные границы ситуаций, возни-

кающие при непрерывном анализе лавинного климата и последующем рассмотрением комбинаций их возникновения, обоснованных выше.

## Выводы

В данной статье предложена интерпретационная модель формализации лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций. Данный метод позволяет повысить эффективность принимаемых геоинформационной системой решений, оперативность и своевременность которых имеет большое значение при прогнозировании лавинной опасности и разработке противолавинных мероприятий. Данный метод базируется на формализации множеств лавиноопасных и нелавиноопасных ситуаций с помощью комбинации рядов распределения вероятностей для различных лавиноопасных сезонов. Предложенная модель применяется для прогнозирования временной характеристики схода лавин. Определение значения для времени оперативного реагирования системы может быть получено путем решения задачи стохастического программирования.

1. Гляциологический словарь. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 526 с.
2. Дяченко О.Н., Фастова Д.В., Кузмин Ю.А. Прогнозирование лавинной опасности и принятие решений // Материалы 1-й Междунар. конф. «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции их развития». — Харьков: ХНУРЭ, 2006. — С. 290–291.
3. Fuhn P. An Overview of Avalanche Forecasting Models and Methods. — Oslo: NGI. — 1998. — N 203. — P. 19–27.
4. Buser O., Butler, M. and Good W. Avalanche Forecast by the Nearest Neighbors Method. — IAHS, 1987. — N 162. — P. 557–569.
5. Ижболдина В.А. Аэросиноптические условия образования и схода метелевых лавин на Кольском полуострове // Сб. Исследования снега и лавин в Хибинах. — Л., Гидрометеиздат, 1975. — С. 51–63.
6. Исаев А.А. Опыт детализации специализированных прогнозов лавинной опасности для перевала Камчик // Тр. САНИГМИ. — 1998. — Вып. 157(238). — С. 14–19.

Поступила в редакцию 14.02.2007