

УДК 551.578.483

**ОДИН ГОД ОПЕРАТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОГНОЗА ЛАВИН
МЕТОДОМ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ (NXD) В ЗАИЛИЙСКОМ
АЛАТАУ**

Канд. геогр. наук

Е.И. Колесников

Ю.А. Сороколетов

Рассмотрены общие принципы прогноза лавин методом ближайших соседей. Показаны результаты оперативных испытаний NXD2000 на снеголавинной станции Чымбулак за зиму 2001-2002 гг.

Известно, что наиболее надежными мерами защиты лавиноопасных участков дорог, капитальных строительных объектов и др. от снежных лавин является строительство дорогостоящих инженерных противолавинных сооружений: галерей, лавинорезов, снегоудерживающих щитов и т.д. На втором месте стоят профилактические мероприятия (спуск лавин с помощью взрывчатых веществ, артобстрела), регулярное и эффективное проведение которых также обеспечивает безопасность от лавин. И лишь на третьем месте стоит прогнозирование лавиноопасных периодов, которое имеет фоновый характер и не обеспечивает 100 % надежность. Во всех методах прогноза лавин присутствуют два таких негативных элемента как ошибка страховки и ошибка риска. Высокий процент перестраховки приводит к неоправданным экономическим убыткам и недоверию потребителя к лавиноопасной информации, а недоучет лавинной опасности может привести к трагическим последствиям.

В ранних 1980-ых Бусер (1983) [7] развивал программу прогноза лавин, основанную на методе самых близких соседей (NXD). Эта программа представляет собой базу данных снегометеорологических наблюдений (переменных) за определенный период. В качестве переменных, прежде всего, были выбраны те переменные, которые описывают или влияют на состояние снега. Все сложные переменные умножены на константы, так что их среднеквадратичные отклонения подобны. Это гарантировало, что сложные переменные с малыми вариациями имеют то же самое влияние на исходы, как и сложные переменные с большими вариациями, когда их вес изменен.

Сложные переменные составляют N-мерное пространство, в котором каждый день представлен точкой. Чтобы находить соседей, должен

быть определен критерий, что бы интервал между двумя точками (днями) можно было рассчитать. для этого был использован критерий веса [7].

Если две сложные переменные коррелированы, можно смотреть на это весовым вектором. Теоретически оптимальное число соседей располагается от 8 до 30, в зависимости от числа дней в базе данных и числа сложных переменных.

Так как данный метод предусматривает громоздкие расчеты, то для него предусмотрена компьютерная программа.

Горноспортивная база Чимбулак расположена в урочище Чимбулак на высоте 2200...2500 м. Благоприятные природные условия привлекают альпинистов, туристов, горнолыжников к этому району с доступным рельефом, позволяющим прокладывать лыжные трассы с перепадом высот 900...1000 м. Именно по этим причинам Чимбулак был выбран для установки NXD2000 – программы локального прогноза лавин. Распространение лавин в Заилийском Алатау наиболее хорошо изучено. Наибольшая лавинная активность характерна для среднегорного пояса (от 1400...1500 до 2700...2800 м), имеющего крутосклонный, глубокорасчлененный рельеф.

Производственные испытания данной методики проводились в отделе гидропрогнозов Гидрометцентра РГП Казгидромет по материалам текущих и прогнозируемых снеголавинных и метеорологических наблюдений на снеголавинной станции (СЛС) Чимбулак. В основу компьютерных испытаний по подбору снеголавинных аналогов для прогноза лавин заложена база снеголавинных и метеорологических данных на СЛС Чимбулак за 30-ти летний период наблюдений (около 4000...4500 случаев ежедневных наблюдений), составленная В.П. Благовещенским и И.В. Кондрашовым. Испытания проводились в трех вариантах.

Первый вариант - это пополнение базы данных и оценка фактических наблюдений лавинного диагноза по ним, т.е. постфактум. Второй вариант - это прогноз лавин по предложенной инструкции. И третий вариант - это прогноз лавин по инструкции с некоторым увеличением заблаговременности лавинных прогнозов.

Предикторы, использованные при испытаниях в 3-х вариантах следующие:

- температура воздуха на метеостанции Чимбулак в 03 часа по Гринвичу;
- ожидаемая максимальная температура воздуха на высоте 2000 м (по прогнозу погоды по горам);

- ожидаемая максимальная температура поверхности снега (в периоды оттепелей и весеннего снеготаяния равная 0 °С);
- высота снега на СЛС Чимбулак в 03 часа по Гринвичу. В третьем варианте бралась высота за предыдущие сутки;
- ожидаемое приращение высоты снега, рассчитанное как частное от деления ожидаемого количества осадков (максимальной величины в каждой градации) на среднюю плотность свежевывавшего снега, равную 0,065 г/см³ в ноябре - марте и 0,08 г/см³ - в апреле [3];
- ожидаемая суточная сумма осадков (максимальная величина в каждой из градаций) на высоте 2000 м по прогнозу погоды по горам;
- максимальная скорость ветра за прошедшие сутки на М Чимбулак;
- ожидаемое сцепление в самом слабом слое снежной толщи по шурфу (восточная стационарная площадка) – бралась фактическая величина за предыдущие сутки;
- ожидаемый водный эквивалент снега выше самого слабого слоя - бралась величина за предыдущие сутки с прибавлением ожидаемого количества осадков, если они ожидаются;
- ожидаемая сумма часовых положительных температур, рассчитанная по хронологическим графикам хода ожидаемых ночных и дневных температур на высоте 2000 м.

В этом перечне предикторов представлены первичные входные данные от ежедневных измерений, охватывающих зимние периоды, начиная с 1969 г. Эти репрезентативные данные из потенциальной зоны отрыва лавин (2000...3000 м) потому что они были измерены на высоте 2200 м.

Табл. 1 дает сведения об обработке первичных данных и переводе их в сложные переменные. Формулы перевода в сложные переменные заложены в программу и выполняются автоматически. Как было указано выше, в Заилийском Алатау преобладают лавины из свежевывавшего снега и адвекционные лавины (лавины при оттепелях). Благодаря этому вес сложных переменных, отвечающих за подсчет этих факторов, имеет больший вес по сравнению с остальными [3].

Имеются некоторые замечания по испытываемой методике.

Известно, что прогноз какого-либо явления, основанный на прогнозе другого явления, чреват теми обескураживающими последствиями, что если не оправдался один прогноз, то автоматически не оправдывается и другой. В данной методике из десяти используемых предикторов, восемь нуждаются в заблаговременном количественном прогнозе. Это такие ин-

формативные лавинообразующие факторы как: суточная сумма осадков ($\Sigma X_{сут}$), суточный прирост высоты снега ($\Delta H_{сут}$), сумма ежечасных положительных температур ($\Sigma +t$ °C), сцепление в самом слабом слое (C), водный эквивалент снежной толщи выше самого слабого слоя (W) и другие. Известно также, что оправдываемость количественного прогноза этих предикторов оставляет желать лучшего.

Таблица 1

Сложные переменные и их вес

№	Название переменной	Вес переменной
1	Прирост снега	1
2	Сумма прироста снега за предыдущие дни	1
3	Водный эквивалент нового снега	1
4	Водный эквивалент нового снега за предыдущие сутки	0,5
5	Высота снега	1
6	Уменьшение высоты снега	1
7	«Скачок» положительных температур	1
8	Средняя скорость ветра	3
9	Средняя скорость ветра за предыдущие дни	3
10	Метелевый перенос снега	1
11	Дневное изменение температуры	1
12	Дневное изменение температуры за предыдущие сутки	0,5
13	Максимальная температура воздуха	1
14	Максимальная температура воздуха за предыдущие сутки	0,5
15	Сумма положительных температур	1
16	Сумма положительных температур за предыдущие дни	0,5
17	Индекс стабильности	1
18	Температура поверхности снега	1

Лавинообразование - скоротечное явление. При экстремальных условиях сход лавин может начаться уже через 3...4 часа после начала сильного снегопада или интенсивной оттепели. Поэтому при разработке методик прогноза лавин конкретного генезиса используются фактические наблюдаемые данные. Именно поэтому в руководствах и методических указаниях по снеголавинным работам оправдательная заблаговременность штормовых предупреждений о начале лавиноопасного периода составляет

всего 2...3 часа, которые основываются на данных учащенных наблюдений и определении фактических критериев лавинообразования [2, 4].

В отечественном лавиноведении разработка методик прогноза лавин производится, дифференцировано, по конкретному генезису, с использованием основных информативных предикторов[6]: для лавин из свежеснеговывающего снега (СВП) – это $H_{сут}$, ΣX , ΔH ; для оттепельных лавин – это t_{max} °C, $\Sigma +t$ °C, C , W ; для метелевых лавин – это максимальная скорость ветра, продолжительность метели и т.д. А испытываемая методика, учитывая перечисленные предикторы, как бы предусматривает оценку возможности схода различных лавин: свежеснеговывающего снега, оттепельных, метелевых, инсоляционных и даже перекристаллизационных. Однако при этом возможны такие случаи, когда суммарный «вес» второстепенных предикторов может превысить «вес» основного информативного предиктора и вызвать ошибочный прогноз.

Банк фактических метеорологических и снеголавинных данных за 30-ти летний холодный период построен с учетом метеорологических суток (с 15 по 15 по Гринвичу), а по инструкции ежедневная оценка лавинной опасности, с использованием фактических значений, высоты снега и температуры воздуха начинается в 03 по Гринвичу. По этой причине предупреждение выдается, фактически, на половину суток (на день), а в случае выпадения сильных осадков ночью и начавшимся сходом лавин, выдается не прогноз, а диагноз.

Методика предусматривает в большей степени подбор метеорологических аналогов, нежели лавинных. Поэтому имелись случаи, когда (по методике) лавиноопасный период заканчивался несмотря на продолжающуюся оттепель (в связи с изменением величин других предикторов H , ΔH , C , W), хотя в оперативной практике лавиноопасный период нужно продлять до окончания оттепели, по мере избирательного схода лавин в зависимости от крутизны, экспозиции и высотной зоны склонов.

Из-за маломощности снега на стационарной площадке шурфования наблюдения были прекращены в конце второй декады апреля, а в третьей декаде отмечался массовый сход крупных грунтовых лавин, который по методике не прогнозировался из-за отсутствия вводимых данных. Фактически, продолжительные лавиноопасные периоды в апреле по этой причине не прогнозируются ежегодно.

Те редкие случаи схода метелевых лавин в водораздельной высокогорной зоне также не предусмотрены методикой, так как СЛС Чимбулак

расположена на дне долины, характеризующейся штилевым режимом, а в высокогорье отмечаются случаи ураганных ветров.

Ну и, конечно, не оправдавшиеся прогнозы выпадения сильных осадков или интенсивных оттепелей резко отрицательно влияют на оправдываемость лавинных прогнозов.

Имеются еще несколько проблем, которые ограничивают использование метода самых близких соседей [7].

- Непрерывность данных.

При вычислении сложных переменных требуются данные за несколько предыдущих суток, так что отсутствие данных приводят к проблемам. Например, если нет никаких данных в воскресенье, то не будут определяться ближайшие соседи для этих суток до среды, пока свежий снег, накопленный в течение трех суток, не будет использоваться как сложная переменная.

- Резкие изменения временного интервала переменных.

Часто используются переменные, характеризующие периоды длительностью 24 часа. Однако, условия, связанные с устойчивостью состояния снега на склонах могут драматично изменяться в течение нескольких часов. Более короткие периоды не могут использоваться, потому что длина периода определена практическими соображениями, а именно, в какой степени возможно непрерывно контролировать лавинную обстановку.

- Отсутствие, перебои или неопределенные лавинные наблюдения.

Для того чтобы гарантировать качество исследования самого близкого «соседа», лавинные наблюдения должны быть достоверны и полны. Сутки без наблюдения должны быть отмечены, чтобы из-за этого «соседи» не были определены как хорошие сутки. Другая проблема – сутки в начале лыжного сезона, когда никакие лавинные работы не выполняются. Наконец, любой неправильный или неопределенный ввод информации может привести к неверному истолкованию соседних суток.

- Однородность данных и наблюдений.

Изменения в локализации или методе измерений снега и метеоданных может прервать временной ряд наблюдений и привести к противоречиям в базе данных, к которым чувствительна модель. Если изменения слишком большие, ранние данные не могут быть использованы. В лучшем случае старый и новый ряд перекрываются, и множественный регрессионный анализ может быть использован для получения корректирующей функции.

• Определение суток с лавинами.

Один из главных вопросов, что делает сутки лавиноопасными. Не ясно, является ли лавина длиной 400 м вдвое опасной чем одна лавина длиной в 200 м или день с десятью лавинами вдвое опаснее чем один день с пятью. Обычно же это определяется, как, одна лавина в день. Не сделано также никакого различия между катастрофическими лавинами и безопасно малыми подвижками снега.

Таким образом, все перечисленные затруднения и проблемы не могли не сказаться на качестве ожидаемой снеголавинной ситуации в бассейне р. Малой Алматинки. За период испытаний (144 суток) в бассейне р. Малой Алматинки отмечено 13 дней со спонтанным сходом лавин, что составляет около 10 % от всего периода, то есть, доминировала преимущественно нелавиноопасная обстановка (в ноябре - декабре из-за маломощности снежного покрова, в январе - феврале из-за длительных периодов устойчивой антициклональной погоды и по другим причинам). Поэтому превалировали и прогнозы с характеристикой «нелавиноопасно». Этот вид прогноза также важен и ответственен, как и прогноз «лавиноопасно», но далеко не всегда. Так, в осенне-зимний период, когда горнолыжные трассы функционируют с перебоями из-за малоснежья или в ясную погоду, когда нет снегопадов и метелевого снегопереноса, даже непосвященному человеку ясна нелавиноопасная обстановка в горах. И особого достоинства в эффективности работы в такие периоды, как Швейцарской, так и других методик, нет. А таких случаев в течение зимнего периода большинство. Другое дело весной, при максимальном снегонакоплении, когда идут осадки различных градаций и оттепели чередуются одна за другой, прогнозы «нелавиноопасно» приобретают особую важность и ответственность. Однако, таких случаев гораздо меньше. За счет большого перевеса прогнозов «нелавиноопасно» над прогнозами «лавиноопасно» оправдываемость общих прогнозов во всех трех вариантах высокая (83...90 %). Однако, оценка предупрежденности случаев схода лавин показала совсем другие результаты. Даже по фактическим данным она составила всего 50 %, а по прогностическим и того меньше. Из 13-ти суток со спонтанным сходом лавин по испытываемой методике спрогнозировано всего 5 случаев, недоучет составил около 60 %.

Оправдываемость прогнозов является показателем рационального использования той или иной методики.

А.М. Обуховым [5] и Н.А. Багровым [1] предложены критерии H и Q оценки альтернативных прогнозов явлений, имеющих редкую повторяемость; эти критерии наиболее пригодны для оценки прогнозов лавиноопасности. Для практических эффективных методов прогноза значение критериев не должно быть меньше 0,2...0,3.

По Н.А. Багрову

$$H = \frac{u - u_0}{1 - u_0}, \quad (1)$$

где $u = (n_{11} + n_{22})/n$ и $u_0 = \frac{n_{01} n_{10}}{n n} + \frac{n_{02} n_{20}}{n n}$.

По А.М. Обухову

$$Q = 1 - \alpha - \beta, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{n_{12}}{n_{11} + n_{12}}$ и $\beta = \frac{n_{21}}{n_{21} + n_{22}}$.

Здесь n_{11} – число случаев правильного прогноза с формулировкой «лавиноопасно», n_{12} – число случаев неправильного прогноза с формулировкой «лавиноопасно», n_{21} – число случаев правильного прогноза с формулировкой «нелавиноопасно», n_{22} – число случаев неправильного прогноза с формулировкой «нелавиноопасно», n_{01} – число прогнозов с формулировкой «лавиноопасно», n_{02} – число прогнозов с формулировкой «нелавиноопасно», n – общее число прогнозов.

Результаты испытаний в течение зимы 2001...2002 гг. приведены в табл. 2...5.

Таблица 2

Оправдываемость прогнозов (%) по основному варианту (период 27.11.01...19.04.02 г.)

Оправдываемость прогноза									α	β	H	Q
общая			схода лавин			отсутствия лавин						
1	2	3	1	2	3	1	2	3				
144	119	83	22	5	23	122	114	93	0,07	0,77	0,19	0,16

Примечание: 1 – количество прогнозов, 2 – количество оправдавшихся прогнозов, 3 – оправдываемость прогнозов; α – ошибка страховки, β – ошибка риска, H – критерий Багрова, Q – критерий Обухова.

Таблица 3

Прогнозируемость явлений по основному варианту

Сход лавин			Отсутствие лавин		
число дней с лавинами	спрогнозировано	надежность прогноза, %	число дней без лавин	спрогнозировано	надежность прогноза, %
13	5	38	131	114	87

Таблица 4

Оправдываемость прогнозов (%) по фактическим данным (период 27.11.01...19.04.02 г.)

Оправдываемость прогноза									α	β	H	Q
общая			схода лавин			отсутствия лавин						
1	2	3	1	2	3	1	2	3				
144	130	90	15	7	47	129	123	95	0,05	0,53	0,45	0,42

Примечание: см. обозначения табл. 2.

Таблица 5

Прогнозируемость явлений по фактическим данным

Сход лавин			Отсутствие лавин		
число дней с лавинами	спрогнозировано	надежность прогноза, %	число дней без лавин	спрогнозировано	надежность прогноза, %
13	7	54	131	123	94

Таким образом, выдавать категоричные прогнозы по этой методике, основываясь только на показания программы, к сожалению, не представляется возможным. Она может быть использована только как вспомогательное средство при оценке снеголавинной обстановки в горах. Специалист-лавинщик должен проанализировать выданную на экран снегометеорологическую и лавинную информацию по дням-аналогам, а потом, используя текущую информацию со станции об осадках, интенсивности их выпадения, приросте свежевыпавшего снега, наличие или отсутствие метелевого снегопереноса в высокогорье и др., а также прогноз погоды по горам, принимать решение о выдаче того или иного лавинного прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н.А. К вопросу об оценке гидрометеорологических прогнозов // Метеорология и гидрология. – 1953. - №6. – С. 13-16.

- Канаев Л.А. Руководство по снеговалавинным наблюдениям и методам снеговалавинного обеспечения. - Ташкент, 2001, - 167 с.
- Кондрашов И.В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. - Л.: Гидрометиздат, 1991. - 73 с.
- Методические указания по снеговалавинному обеспечению народного хозяйства. - Ташкент, 1987. - 48 с.
- Обухов А.М. К вопросу об оценке успешности альтернативных прогнозов. // Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1955. - № 4. - С. 339-349.
- Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности. - Л.: Гидрометиздат, 1979. - 200 с.
- Avalanche forecast by nearest neighbour method. Buser Othmar, Butler Monika, Good Wolter. "IAHS Publ.", 1987, № 162, С. 557-568.

Казгидромет

ЛЕ АЛАТАУЫНДАҒЫ ҚАР КӨШКІНІ БОЛЖАМЫН ЕҢ ЖАҚЫН КӨРШІЛЕР ӘДІСІМЕН (NXD) ЖЕДЕЛ СЫНАҚТЫҢ БІР ЖЫЛЫ

Геогр. ғылымд. канд. Е.И. Колесников
Ю.А. Сороколетов

Қар көшкіндерін ең жақын көршілер әдісімен болжаудың жалпы принциптері қарастырылған. Шымбұлақ қар көшкіні станциясында 2001-2002 жж. қысында жасалған NXD2000 жедел сынақтардың нәтижелері көрсетілген.