

УДК 551.578.48

Канд. техн. наук В.В. Жданов \*  
Канд. геогр. наук С.А. Долгих \*\*

**ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА  
ЛАВИННУЮ АКТИВНОСТЬ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ  
КИШЫ АЛМАТЫ)**

*ЛАВИНЫ, ОСАДКИ, ВЫСОТА СНЕГА, ВОДНОСТЬ СНЕГА, КОРРЕЛЯЦИЯ, СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ИНДЕКСЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН*

*Изучено влияние основных метеорологических характеристик (осадки, высота и водность снега) на лавинную активность в бассейне р. Кишы Алматы. В исследованиях применены различные методы математической статистики. Определены метеорологические факторы, оказывающие наибольшее влияние на лавинную опасность. Выявлены самые показательные пункты наблюдений. Полученные зависимости можно использовать для оценки лавинной активности на малоизученной территории.*

Наибольший ущерб хозяйственным объектам и населению приносят лавины в среднегорной зоне Илейского Алатау в окрестностях г. Алматы. Здесь более 80 % сошедших лавин связаны с осадками (40 % со снегопадами и 40 % со смешанными осадками). Основными критериями схода лавин являются количество выпавших осадков и высота старого снега. Данному вопросу посвящено большое количество исследований [4, 6].

Поэтому учет влияния этих факторов на лавинную активность территории или сезона года очень актуален. Регулярные наблюдения за лавинами в течении долгих лет проводятся только на снеголавинных станциях (СЛС) в бассейнах рек Улькен и Кишы Алматы. Бассейн р. Кишы Алматы является одним из самых изученных районов СНГ. Здесь расположен уникальный «Малоалматинский разрез» – сеть метеорологических станций (М) и снегомерных пунктов (СП) Малоалматинского снегомерного марш-

---

\* Институт географии МОН РК

\*\* Казгидромет, г. Алматы

рута (СМ), расположенных в разных высотных зонах. Наблюдения на СЛС ведутся с 1966 г., на М Мынжылки с 1936 г., на Малоалматинском СМ с 1963 г., на М Алматы – с 1894 г.

Длинные ряды наблюдений в этом районе имеют огромный научный интерес и могут быть использованы для оценки лавинной активности [3, 5]. Достоверность этих наблюдений уже была проверена в работе [2], где выбраны наиболее достоверные данные и исправлены ошибки. Для дальнейшей обработки были восстановлены пропущенные наблюдения в период 1997...1999 гг., когда снеголавинные станции не работали.

В табл. 1 приведены коэффициенты корреляции между следующими параметрами: средние ( $V_{cp.}$ ), максимальные ( $V_{макс.}$ ), суммарные ( $V_{сум.}$ ) годовые объемы лавин; модуль лавинного сноса ( $M_{л.}$ ); количество осадков за холодное полугодие, март и апрель ( $x_{XI-IV}$ ,  $x_{III}$ ,  $x_{IV}$ ); средняя и максимальная высота и водность снега ( $h_{cp.}$ ,  $h_{макс.}$ ,  $w_{cp.}$ ,  $w_{макс.}$ ). Для более точных расчетов выбран 1 % уровень значимости. Взяты наблюдения с начала работы СЛС (1966...2012 гг.).

И.В. Северский рекомендует использовать для количественной оценки лавинной активности модуль лавинного сноса ( $M_{л.}$ ) [6]. Это масса снега, снесенного лавинами с 1 км<sup>2</sup> лавиноактивных склонов за определенный период. Обнаружена высокая статистическая зависимость между различными параметрами лавинной активности и метеорологическими факторами. Сильно связаны между собой суммарный и максимальный объем лавин; осадки за холодное полугодие и за март; средняя и максимальная высота и водность снега. Наиболее характерными пунктами наблюдений является М Мынжылки и СП 2450 м.

Наибольшее влияние на суммарный и максимальный объем лавин за сезон оказывает количество осадков в марте на М Мынжылки и максимальная высота и водность снега на СП 2450 м. Эти факты объясняются физическим процессом образования лавин: М Мынжылки расположена на высоте 3017 м, близкой к зоне зарождения большинства лавин в районе, а СП 2450 м характеризует залегание снега на северных склонах среднегорной лесной зоны. Март является наиболее снежным и лавиноопасным месяцем. Эти метеорологические характеристики целесообразно выбирать при дальнейшей оценке и прогнозе лавинной активности.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между параметрами лавинной активности и основными метеорологическими факторами

Метеорологическая величина и пункт наблюдения	$V_{ср.}$	$V_{макс.}$	$V_{сум.}$	$M_{л.}$
Лавинная активность и осадки				
$x_{XI-IV}$ М Алматы	0,15	0,26	0,30	0,31
$x_{III}$ М Алматы	<u>0,43</u>	<u>0,48</u>	<u>0,44</u>	<u>0,47</u>
$x_{IV}$ М Алматы	-0,09	-0,04	-0,01	0,02
$x_{XI-IV}$ СЛС Шымбулак	<u>0,40</u>	<u>0,48</u>	<u>0,55</u>	<u>0,53</u>
$x_{III}$ СЛС Шымбулак	<u>0,53</u>	<u>0,61</u>	<u>0,60</u>	<u>0,63</u>
$x_{IV}$ СЛС Шымбулак	-0,03	0,00	0,04	0,03
$x_{XI-IV}$ СЛС Мынжылки	<u>0,46</u>	<u>0,53</u>	<u>0,57</u>	<u>0,56</u>
$x_{III}$ СЛС Мынжылки	<u>0,65</u>	<u>0,71</u>	<u>0,66</u>	<u>0,67</u>
$x_{IV}$ СЛС Мынжылки	-0,01	-0,03	0,03	0,04
Лавинная активность и высота снега				
$h_{ср.}$ СП 2480 м	0,17	0,30	0,33	0,28
$h_{макс.}$ СП 2480 м	0,16	0,28	0,33	0,31
$h_{ср.}$ СП 2450 м	0,29	0,38	<u>0,44</u>	0,38
$h_{макс.}$ СП 2450 м	<u>0,49</u>	<u>0,62</u>	<u>0,64</u>	<u>0,60</u>
$h_{ср.}$ СП 2200 м	0,19	0,30	0,34	0,29
$h_{макс.}$ СП 2200 м	0,30	<u>0,45</u>	<u>0,47</u>	<u>0,43</u>
$h_{ср.}$ СП 2700 м	0,26	<u>0,39</u>	0,37	0,30
$h_{макс.}$ СП 2700 м	0,33	<u>0,40</u>	<u>0,41</u>	0,35
Лавинная активность и водность снега				
$w_{ср.}$ СП 2480 м	0,22	0,35	0,39	0,34
$w_{макс.}$ СП 2480 м	0,13	0,26	0,33	0,29
$w_{ср.}$ СП 2450 м	0,38	<u>0,46</u>	<u>0,51</u>	<u>0,45</u>
$w_{макс.}$ СП 2450 м	<u>0,52</u>	<u>0,63</u>	<u>0,66</u>	<u>0,60</u>
$w_{ср.}$ СП 2200 м	0,31	<u>0,40</u>	<u>0,46</u>	<u>0,40</u>
$w_{макс.}$ СП 2200 м	<u>0,42</u>	<u>0,55</u>	<u>0,60</u>	<u>0,55</u>
$w_{ср.}$ СП 2700 м	<u>0,40</u>	<u>0,48</u>	<u>0,48</u>	<u>0,41</u>
$w_{макс.}$ СП 2700 м	<u>0,51</u>	<u>0,57</u>	<u>0,56</u>	<u>0,49</u>

*Примечание:* статистически значимые коэффициенты корреляции при 1 % уровне значимости подчеркнуты.

В дальнейшем был проведен факторный анализ рядов наблюдений. Факторный анализ представляет собой изучение и измерение (корреляцию) воздействия некоей неизвестной переменной на изучаемую величину (факторная нагрузка). Проводится для групп однородных и сильно связанных между собой переменных и позволяет разбивать переменные на группы и сократить их количество. Результаты анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты факторного анализа рядов наблюдений

Фактор 1		Фактор 2	
Метеорологическая величина	Нагрузка	Метеорологическая величина	Нагрузка
Лавинная активность и осадки			
$x_{XI-IV}$ , $x_{III}$ , $V_{cp.}$ , $V_{макс.}$ , $V_{сум.}$ , $M_{л.}$	0,50	$x_{IV}$	0,26
Лавинная активность и высота снега			
$h_{cp.}$ , $h_{макс.}$	0,52	$V_{cp.}$ , $V_{макс.}$ , $V_{сум.}$ , $M_{л.}$	0,19
Лавинная активность и водность снега			
$w_{cp.}$ , $w_{макс.}$ , $V_{макс.}$ , $V_{сум.}$ , $M_{л.}$	0,66	$V_{cp.}$	0,20

В табл. 2 показано разделение изучаемых параметров и их факторные нагрузки. Из этого можно сделать выводы, что изменение параметров лавинной активности, количества осадков и водности снега принадлежат к одной группе переменных и определяются одним фактором, исключая осадки за апрель. То есть количество осадков и водность являются однообразным предиктором при оценке лавинной активности и в дальнейшем можно использовать один из них. Далее факторный анализ показал, что высота снега попадает в другую группу переменных. То есть распределение высоты снега, хотя и коррелирует с лавинной активностью, но подчиняется влиянию другого фактора. Вероятно, временные колебания высоты снега зависят от влияния ветрового переноса и перекристаллизации снежной толщи. В результате можно сделать выводы, что на лавинную активность влияют две группы метеорологических факторов, во-первых, высота снега, во-вторых, водность снега и количество осадков. Результаты хорошо согласуются с данными, полученными ранее И.В. Кондрашовым [4].

Для изучения временной изменчивости рядов наблюдений был проведен спектральный анализ (Фурье-анализ). Он позволяет выявить

гармонические составляющие временного ряда. Для более точной оценки взят длинный ряд наблюдений за количеством осадков в марте на М Алматы. Выявленные циклы приведены в табл. 3.

Таблица 3

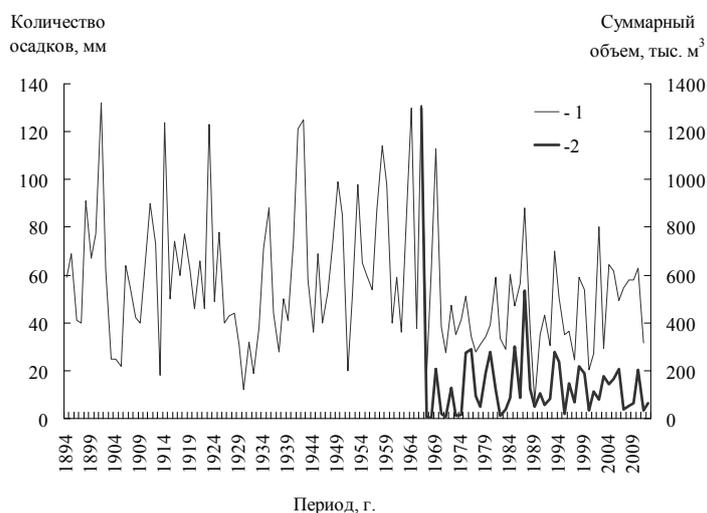
Результаты спектрального анализа рядов наблюдений

Метеорологическая величина и пункт наблюдения	Период	Статистически значимые циклы
$x_{III}$ М Алматы	1894...2011	3, 6, 9, 23, 59 лет
$x_{III}$ М Мынжылки	1966...2011	3, 23 года
$w_{\max}$ . СП 2450 м	1966...2012	3, 11 лет
$h_{\max}$ . СП 2450 м	1966...2012	3, 11 лет
$V_{\text{сум}}$	1966...2012	3, 6, 9 лет

В коротких рядах наблюдений существуют статистически значимые гармоники: 3, 6, 9, 11, 23 года. В длинном ряде наблюдений присутствует гармоника 59 лет. Так же прослеживаются и другие циклические составляющие, которые выражены очень слабо. Подобная цикличность отмечается в большинстве временных рядов метеорологических и гидрологических величин. Они идентичны цикличности солнечной активности (11, 22, 80 лет) и действию лунных приливных сил (6, 9, 18 лет). Неоспоримым является факт влияния циклических колебаний атмосферной циркуляции на влагоперенос и увлажненность северного полушария. Это в свою очередь влияет на суммы осадков, и, следовательно, на колебания ледников, водность рек и уровень озер Центральной Азии. Однако влияние солнечной активности и других астрономических факторов на циркуляцию атмосферы изучена слабо из-за сравнительно короткого ряда метеорологических наблюдений. Можно сделать выводы, что вековые колебания лавинной активности тесно связаны с цикличностью атмосферной циркуляции и имеют схожие гармонические составляющие [7, 8]. Вековой ход количества осадков в марте и его связь с лавинной активностью показана на рис. 1.

Годы со значительными суммарными объемами лавин совпадают с большими суммами осадков в марте. Так же хорошо продемонстрировано резкое уменьшение осадков, начиная с конца шестидесятых годов. В это же время началось отступление ледников и уменьшение водности в реках. В середине шестидесятых годов наблюдался переломный момент в солнечной активности и атмосферной циркуляции. А это в свою очередь при-

вело к уменьшению сумм осадков в марте, высоты и водности снега в период накопления максимальных снегозапасов. Поскольку регулярные снеголавинные наблюдения ведутся только с шестидесятих годов, то о лавинной активности в начале века известно только по косвенным сведениям. Можно сделать вывод, что наблюдаемая в последние десятилетия динамика схода лавин определяется уменьшенными суммами осадков, а в начале века лавинная активность вероятнее всего была значительно выше.



*Рис. 1. Вековые колебания количества осадков на М Алматы в марте (1894...2011 гг.) и их взаимосвязь с суммарным объемом лавин в бассейне реки Киши Алматы (1966...2012 гг.). 1 – осадки за март М. Алматы, 2 – суммарный объем лавин в бассейне р. Киши Алматы.*

Для изучения временной изменчивости климата Всемирная метеорологическая организация (ВМО) рекомендует использовать индексы метеорологических величин. Индексированной или нормированной величиной называется отношение изменения переменной к ее среднему многолетнему значению, выраженное в процентах [1]. Временной ход индексов лавинной активности, осадков и снежности показан на рис. 2.

Индексы количества осадков в марте на М Мынжылки и максимальной высоты снега на СП 2450 м хорошо согласуются с индексом суммарного объема лавин в бассейне р. Киши Алматы. В экстремально лавиноопасную зиму 1965...1966 гг. индекс осадков на 200 % превышал норму, а индекс высоты снега – на 100 %. В лавиноактивную зиму 1986...1987 гг. оба индекса превышали норму на 100 %. Зимой 1968...1969 гг. только индекс осадков превысил норму на 150 %, а значи-

тельного увеличения лавинной активности и снежности не было. Можно сделать вывод, что взаимное действие индексов осадков в марте на М Мынжылки и максимальной высоты снега на СП 2450 м будет являться прекрасным показателем лавинной активности зимнего сезона в бассейне р. Кишы Алматы.

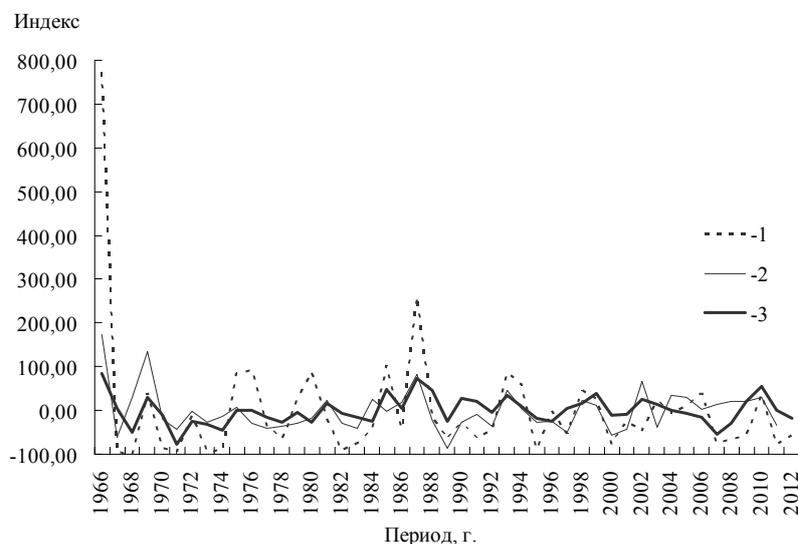


Рис. 2. Временное изменение суммарного объема лавин (1), индексов осадков (2) и высоты снега (3) (1966...2012 гг.).

Полученные статистические связи параметров лавинной активности с основными метеорологическими характеристиками можно использовать для оценки лавинной опасности на малоизученной территории. Это очень важно для многих организаций, деятельность которых зависит от лавинной активности. Поскольку сеть снеголавинных наблюдений ограничена, то можно использовать данные метеорологических станций и снегомерных маршрутов. Очень важно правильно выбрать пункты наблюдений с типичными условиями для образования и схода лавин. Там, где ведутся месячные и ежедневные наблюдения, лучше использовать показательные значения количества осадков в марте и максимальной высоты, и водности снега. На отдаленных снегомерных маршрутах с сезонными наблюдениями можно использовать значения суммы осадков за период с ноября по апрель, средней высоты и водности снега за зимний сезон.

#### Выводы

- Хорошими показателями лавинной активности являются суммарный и максимальный объемы лавин в фиксированном горном бассейне.

Для сохранения однородности ряда необходимо следить за качеством наблюдений и охватом территории наблюдениями.

- Наибольшее влияние на лавинную активность в бассейне р. Кишы Алматы оказывают количество осадков в марте, максимальная высота и водность снега на склонах.
- Самыми репрезентативными являются данные М Мынжылки и СП 2450 м. Эти пункты наблюдений расположены в характерных для этого района условиях вблизи мест образования и схода лавин.
- Количество осадков и водность снега относятся к одной группе предикторов, а высота снега к другой. Водность снега сильно связана с количеством выпавших осадков, а на высоту снега оказывают влияние другие факторы (ветровой перенос и перекристаллизация снежной толщи). Для оценки лавинной активности можно использовать сочетание двух факторов: высота снега и количество осадков, или высота и водность снега.
- В середине шестидесятых годов двадцатого века произошло резкое изменение солнечной активности и общей циркуляции атмосферы, что вызвало уменьшение общей увлажненности северного полушария. А это в свою очередь привело к уменьшению сумм осадков в марте, высоты и водности снега в период накопления максимальных снеготазов. Так же произошли изменения лавинной активности в горах.
- Для оценки пространственного изменения лавинной активности можно использовать данные наблюдательной сети РГП «Казгидромет». Пункты наблюдений должны характеризовать зону образования и схода лавин в изучаемом районе. При наличии снегомерных маршрутов с ежемесячными наблюдениями лучше использовать суммы осадков за март и максимальную высоту и водность снега, которая в среднегорье обычно также приходится на март.
- Для оценки временных колебаний характеристик лавинной активности сезона можно использовать индексы метеорологических величин (количества осадков, высоты и водности снега). Их колебания во времени будут определять изменчивость индексов суммарного и максимального объема лавин. Сильное отклонение от нормы метеорологических факторов приводит к значительному соответствующему отклонению характеристик лавинной активности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгих С.А., Смирнова Е.Ю., Сабитаева А.У. К вопросу о построении сценариев изменения климата Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №1. – С. 7–19.
2. Жданов В.В. Оценка достоверности материалов наблюдений на снеговалнинных станциях и снегомерных маршрутах Алматинской области // Вопросы географии. – 2012. – № 3. – С. 37-41.
3. Кадастр лавин КазССР // Алма-Ата: УГМС КазССР, 1967...1993 гг.
4. Кондрашов И.В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 72 с.
5. Материалы наблюдений за высотой и водностью снежного покрова и количеством осадков в горах // Алматы: Казгидромет, 1963...2010 гг.
6. Северский И.В. Снежные лавины Заилийского и Джунгарского Алатау. – Алма-Ата, «Наука», 1978. – 256 с.
7. Сидоренков Н.С., Сумерова К.А. Синхронизация вариаций атмосферной циркуляции с колебаниями лунно-солнечных приливов и подбор аналогов для долгосрочных прогнозов погоды // Тр. Гидрометцентра России. – 2010. – Вып. 344. – С. 238-251.
8. Хромов С.П. О некоторых спорных вопросах, относящихся к цикличности солнечной активности и ее связях с климатом // Метеорология и гидрология. – 1973. – № 9. – С.

Поступила 5.03.2013

Техн. ғылымд. канд. В.В. Жданов  
Геогр. ғылымд. канд. С.А. Долгих

### **КӨШКІН БЕЛСЕНДІЛІГІНЕ НЕГІЗГІ МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІ (МЫСАЛЫ КІШІ АЛМАТЫ БАССЕЙНІ)**

*Кіші Алматы бассейнінің көшкін белсенділігінің метеорологиялық сипаттамасының негізгі ықпалын зерттеп білу (жауын-шашын, қар көшіні және ұзындығы). Математикалық статистикада әр түрлі методикалық зерттулер келтірілген. Тасқын қауіпіне көптеген метеорологиялық факторлар анықталды. Бақылау орындарында ең көрнекті көрсеткіштер анықталды. Осы мәліметтерді аз зерттелген аумақтарға көшкін белсенділігін бағалау үшін қолдануға болады.*