

Гляциология и геокриология

Гляциология және геокриология

Glaciology and geocryology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-99-110.16>

УДК 551.311.21: 627.141.1
МРНТИ 37.29.25

В. В. Жданов¹, Н. У. Кузагельдина^{*2}, А. Н. Камалбекова³, Ұ. Р. Алдаберген⁴

¹ К. т. н., старший научный сотрудник (Институт географии и водной безопасности МОН РК, Алматы, Казахстан; zhdanovvitaliy@yandex.kz)

² PhD докторант, ведущий научный сотрудник (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан; nuraily@mail.ru)

³ PhD докторант, младший научный сотрудник (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Институт географии и водной безопасности МОН РК, Алматы, Казахстан; aidana.kamalbekova@gmail.com)

⁴ PhD докторант, младший научный сотрудник (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Институт географии и водной безопасности МОН РК, Алматы, Казахстан; aldabergen_u@mail.ru)

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ДАННЫХ О СХОДЕ СНЕЖНЫХ ЛАВИН И СНЕЖНО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГОРАХ ИЛЕ АЛАТАУ

Аннотация. По материалам многолетних наблюдений на снеголавинных станциях в окрестностях г. Алматы начиная с 1966 г. был зарегистрирован сход более 5 тыс. снежных лавин. После проведения статистического анализа данных определены основные характеристики сошедших лавин и проанализированы снежно-метеорологические условия. Средний объем лавин составляет 4 тыс. м³, но это значение искажено из-за непараметрического закона распределения. Медианный объем сошедших лавин – 750-800 м³. 50 % случаев в пределах верхней и нижней квартилей равно 250-2500 м³. Сход катастрофических лавин более 30 тыс. м³ составляет 3 % случаев, а более 100 тыс. м³ – всего 0,3 % случаев. Типовые метеоусловия в периоды лавинной опасности – это высота снега на склонах 80-90 см, на метеоплощадке 50-60 см, количество осадков 15-19 мм, прирост снега 25-30 см закона распределения. Доминирующими факторами лавинообразования оказались высота снежного покрова на склонах, количество выпавших осадков, прирост снежного покрова, максимальная температура воздуха. Коэффициенты корреляции Спирмена статистически значимы для этих параметров на стандартном 5 % уровне значимости (*a-level*) с вероятностью ошибки (*p-level*) менее 0,01. Результаты факторного анализа показали, что на сход лавин влияют три группы предикторов: высота снежного покрова, количество осадков, прирост снега и температурный режим. Анализ схода катастрофических лавин в индикаторном лавиносборе в ущелье Котырбулак показал типичные условия массового схода лавин в Иле Алатау весной – высота снега на метеоплощадке 50 см, количество осадков 53 мм, прирост снега 28 см. Рассчитанные нами критерии согласия оказались статистически значимыми на 5 % уровне значимости. Стандартные ошибки ряда данных были в пределах рекомендованных 10 %, что говорит о достоверности результатов.

Ключевые слова: Иле Алатау, снежные лавины, режим лавин, математическая статистика, архив многолетних данных.

Введение. Сход снежных лавин отмечается в центральной высокогорной части хребта Иле Алатау [1]. Воздействию лавин в окрестностях города Алматы подвержены многочисленные горнолыжные и туристические объекты. Обычно небольшие лавины затрудняют работу

рекреационных объектов и перекрывают автомобильные и горнолыжные трассы. Основными жертвами лавин становятся альпинисты и горнолыжники [2]. В отдельные многоснежные годы лавины достигают катастрофических размеров и наносят материальный ущерб особенно объектам, построенным без учета лавинной опасности. В 1987, 2017 гг. пострадали помещения альпинистского лагеря «Туюксу». В 1996, 2006 и 2010 гг. разрушены опоры канатной дороги «Шымбулак». В 1980, 2003, 2012, 2024 гг. пострадали помещения туристического комплекса «Алматау» в ущелье Котырбулак (рисунок 1).



Рисунок 1 – Последствия схода снежной лавины в районе горнолыжной базы «Пионер» в марте 2024 г.

Определение статистических характеристик снежных лавин необходимо для понимания многолетнего режима схода лавин [3]. Изучение многолетнего режима снежных лавин в горах очень важно для планирования и проведения хозяйственной и рекреационной деятельности. Под режимом подразумеваются повторяемость (частота) схода лавин на конкретной территории и временная изменчивость (год от года и по сезонам) [4]. Для оценки режима схода лавин собираются многолетние архивы и проводится их статистический анализ. Результаты в виде таблиц и карт затем используются при проектировании лавинной защиты и пунктов мониторинга [5].

Цель и задачи исследований. Основная цель – проведение статистического анализа многолетних данных и выявление основных показателей режима снежных лавин. Поставленные задачи – сбор и обобщение архивных данных, создание электронных баз данных, выявление статистических показателей с помощью современных методов математической статистики и компьютерной обработки данных.

Состояние и изученность проблемы. Регулярные наблюдения за снежным покровом и лавинами начаты в Казахстане в 1966 г. Сеть снеголавинных станций была открыта после экстремально снежной и лавиноактивной зимы 1965/66 г. [6]. До этого информация о сходе лавин поступала от наблюдателей снегомерных маршрутов и метеорологических станций. Научные экспедиции для изучения лавин были организованы Сектором географии при Академии наук КазССР под руководством Северского И. В. [7].

За это время накоплен большой архив данных о снежных лавинах и метеорологических условиях. В УГМС КазССР разработаны методы прогнозирования лавинной опасности [8]. Сектором географии созданы карты-схемы лавиноопасных участков. Однако в 90-х годах из-за экономического кризиса и распада СССР были закрыты многие снеголавинные станции и упразднены научные и прогностические подразделения.

В текущий момент мониторинг снежной обстановки и лавинной опасности проводится на сети снеголавинных станций РГП «Казгидромет» только в окрестностях г. Алматы. Информация передается в Алматинский филиал Казгидромета, где составляются прогнозы и рекомендации по профилактическим спускам. Далее они передаются в ДЧС для принятия экстренных мер. Научными исследованиями в области лавинной безопасности занимается Институт географии и водной безопасности МОН РК [9-11]. Собранный и обработанный материал используется для картирования лавинной опасности и разработки новых методов прогноза и защиты от снежных лавин [2].

Развитие туристического и горнолыжного бизнеса в последние годы требует обновления данных о режиме снежных лавин, что необходимо для планирования бесперебойной работы объектов и обеспечения безопасности туристов и населения. Это особенно актуально в связи с изменениями климата и появлением новых технологий обработки больших данных. Подобные исследования проведены в горах Кавказа для планирования развития горнолыжного бизнеса [12-14].

Район исследований. Хребет Иле Алатау расположен на юго-востоке Республики Казахстан. Он простирается в широтном направлении на 300 км. Перепад высот от 800 до 5000 м над уровнем моря. В предгорьях Иле Алатау расположен самый крупный город Казахстана – Алматы. Наиболее освоенные людьми и посещаемые туристами районы — это бассейны рек Улкен и Киши Алматы. Большую часть территории занимает Иле-Алатауский национальный парк [15]. Лавиноопасные места и пункты мониторинга показаны на карте-схеме (рисунок 2). Иле Алатау относится к районам с континентальным климатом умеренных широт. Годовое количество осадков изменяется от 600-800 мм в предгорьях до 1200-1500 мм в высокогорье. Высота снега составляет 30-40 см в предгорьях и 100-150 см в высокогорье. Максимум снегозапасов приходится на март в низкогорной зоне и на май в гляциальной зоне [16, 17].

Лавиноопасный сезон в горах длится с ноября по май, в ледниковой зоне лавины сходят круглогодично. Воздействию лавин подвержены многочисленные горнолыжные и туристические курорты. В зимние месяцы причиной схода лавин являются снегопады, в весенние месяцы – оттепель и смешанные осадки. Самый лавиноопасный месяц – это март. Район имеет большой потенциал для развития туристического бизнеса, поэтому оценка и прогноз лавинной опасности имеет важное государственное значение [18].

Площадь лавиноопасной территории, находящейся под наблюдением, составляет 182 км³. Здесь насчитывается 172 лавинных очага, угрожающих хозяйственным объектам и туристам, из них в бассейне реки Киши Алматы – 115 и в бассейне реки Улкен Алматы – 57. В отдаленных районах Иле Алатау есть множество не инвентаризированных лавинных очагов, наблюдения за которыми не ведутся из-за не освоенности территорий [19].

Методы исследований. *Многомерные статистические методы* – комплекс методов математической статистики, позволяющий изучать структуру данных. Для надежной оценки режима снежных лавин необходимо исследовать большой массив данных о погоде и лавинах.

Анализ данных проводился в программе Statistica 13.0 от компании StatSoft [20]. Этот программный комплекс применяется для обработки больших массивов информации [21]. Он позволяет решать многие задачи математической статистики. Такой программный комплекс автоматически сравнивает полученные результаты с базовыми статистическими таблицами и определяет статистическую значимость данных [22].

Выполнены следующие виды статистического анализа:

Базовый анализ – процедура для определения основных характеристик выборки данных. Расчет статистических показателей – среднее значение, медианное значение, установление верхней и нижней квартилей и статистических ошибок ряда.

Корреляционный анализ – определяет статистическую связь между параметрами снежных лавин и метеорологическими факторами, их вызывающими. Это необходимо для выявления основных причин схода снежных лавин.

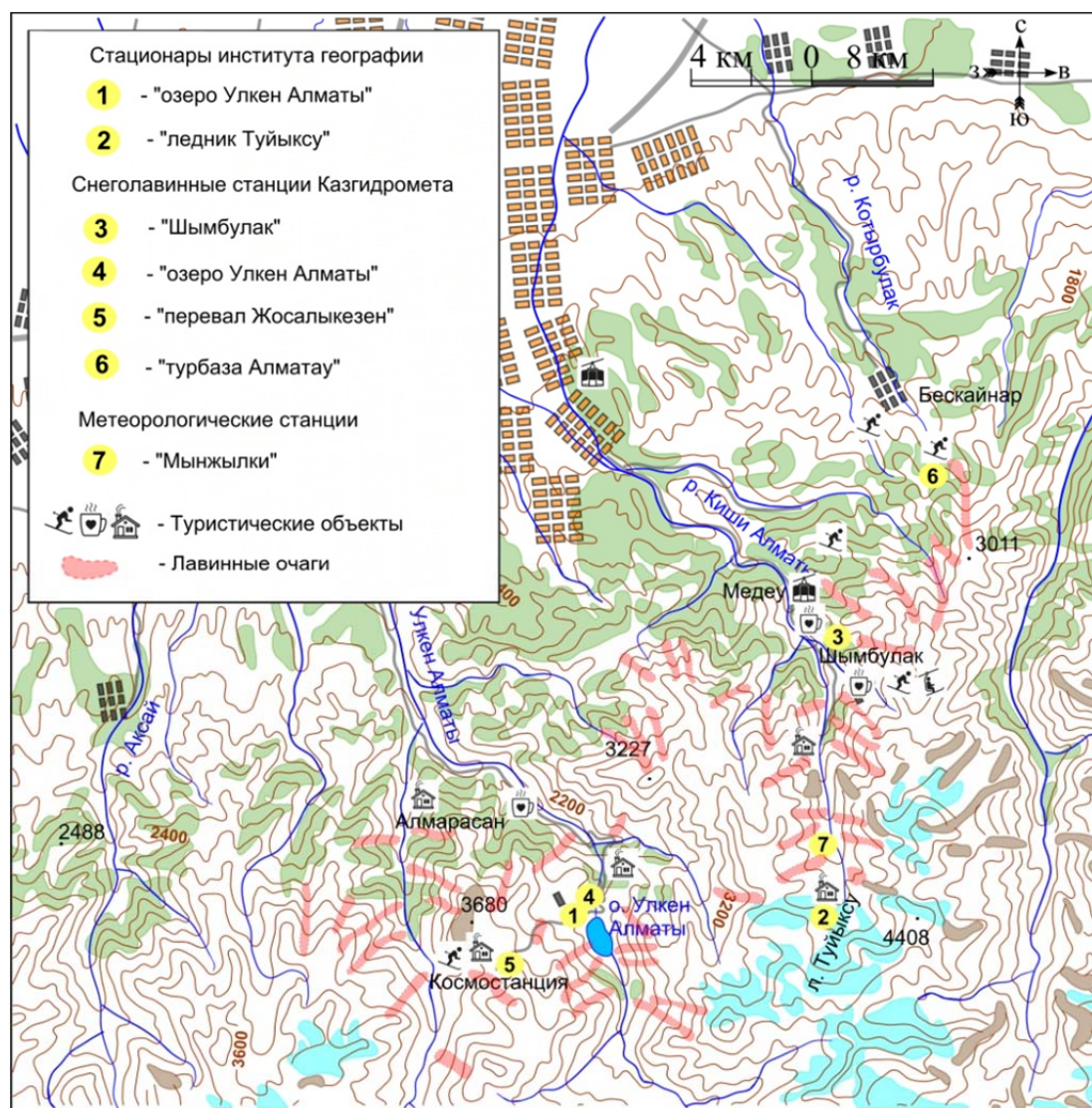


Рисунок 2 – Популярные туристические районы в окрестностях г. Алматы, где проводится регулярный снеговаявинный мониторинг

Критерии согласия и подгонка распределения – статистические критерии, устанавливающие однородность данных и их соответствие определенному закону распределения. Процедура необходима для отбраковки неоднородных рядов и выявления ошибочных данных.

Факторный анализ – определение наиболее значимых предикторов, оказывающих наибольшее влияние на прогнозируемую величину. Дополнительно этот анализ позволяет разделить предикторы на несколько групп и минимизировать их число.

Для дальнейшего анализа создана электронная базы данных виде таблиц «Microsoft Excel». Затем собранные данные были обобщены и обработаны в соответствии с рекомендациями по стандартной обработке климатологических данных [23-25].

Доступность данных. Для оценки уровня лавинной опасности используются материалы следующих метеорологических станций международного обмена (см. рисунок 2) начиная с 1966 г.:

- Мынжылки, высота 3017 м над ур. м., индекс 36889;
- озеро Улкен Алматы, высота 2502 м над ур. м., индекс 36789;
- Шымбулак, высота 2200 м над ур. м., индекс 36873.

Также применялись результаты наблюдений на стационарах Института географии:

- ледник Туйыксу, высота 3450 м;
- озеро Улкен Алматы, 2502 м.

Кроме того, использовались материалы многолетних наблюдений за лавинами на снеговалинных станциях:

- озеро Улкен Алматы, высота 2502 м над ур. м.;
- Шымбулак, высота 2200 м над ур. м.;
- перевал Жосалыкезен, высота 3330 м над ур. м.;
- турбаза «Алматау», высота 1890 м над ур. м.

Данные получены из следующих источников: архивы АО «Институт географии и водной безопасности»; рабочие материалы докторской диссертации И. В. Кондрашова; сведения о сходе катастрофических лавин из полевых исследований лаборатории и оперативных сводок МЧС; метеорологические данные станций международного обмена; материалы наблюдений на снеговалинных станциях УГМС КазССР; кадастры лавин СССР [26-30].

Результаты и их обсуждение. При анализе архивных данных с 1966 г. рассчитаны основные характеристики снежных лавин (таблица 1). В среднем в изучаемом ущелье отмечается от 10 лавин в малоснежные годы до 100 в многоснежные. Объемы изменяются от 50 до 300 тыс. м³. Поскольку закон распределения лавин отличается от нормального, то средняя величина сильно искажена в сторону крупных редких событий. Для непараметрических распределений рекомендуется считать медианное значение и квартили [31]. Они лучше описывают статистическое распределение характеристик снежных лавин. Для гор Иле Алатау в обоих изучаемых бассейнах средний объем лавин был около 4 тыс. м³, а медианное значение – 750-800 м³. Половина всех объемов была в пределах верхней и нижней квартили от 250 до 2500 м³. Сход катастрофических лавин более 30 тыс. м³ составляет 3 % случаев, а более 100 тыс. м³ – всего 0,3 % случаев.

Таблица 1 – Основные характеристики снежных лавин по бассейнам рек Киши и Улкен Алматы

Характеристики	Критерий согласия t	Среднее значение	Медиана	Минимальное значение	Максимальное значение	Нижняя квартиль	Верхняя квартиль	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Стандартная ошибка, %
Бассейн реки Улкен Алматы										
Объем, м ³	16,0	3495,0	800,0	8,0	218680,0	300,0	2500,0	11039,8	315,9	6,2
Высота снега на склоне, см	129,7	82,1	80,0	10,0	200,0	60,0	100,0	27,1	33,0	0,8
Высота снега на шурфе, см	154,2	80,2	81,0	0,0	151,0	67,0	95,0	23,0	28,7	0,6
Прирост снега, см	53,2	22,4	20,0	1,0	86,0	13,0	29,0	14,1	62,8	1,9
Количество осадков, мм	49,9	18,3	15,9	0,6	103,3	9,7	23,5	13,5	74,1	2
Среднесуточная температура, °С	-8,9	-1,3	-0,5	-19,5	15,2	-6,6	4,0	6,5	-495,3	11,2
Минимальная температура, °С	-33,8	-4,9	-3,5	-24,5	12,1	-10,5	0,2	6,5	-130,7	3
Максимальная температура, °С	20,6	3,3	3,7	-20,8	19,8	-2,8	9,1	7,1	215,7	4,9
Бассейн реки Киши Алматы										
Объем, м ³	13,6	4005,4	750,0	10,0	300000,0	250,0	2500,0	14970,9	373,8	7,3
Высота снега на склоне, см	131,7	87,8	80,0	20,0	200,0	70,0	100,0	27,5	31,3	0,8
Высота снега на шурфе, см	141,5	56,4	58,0	0,0	122,0	44,0	69,0	19,4	34,4	0,7
Прирост снега, см	80,8	26,3	27,0	1,0	60,0	16,0	36,0	12,7	48,3	1,2
Количество осадков, мм	72,3	22,5	19,8	0,8	82,9	13,5	29,4	12,9	57,5	1,4
Среднесуточная температура, °С	-9,8	-1,2	-1,5	-20,1	18,0	-5,8	3,2	6,1	-510,0	10,2
Минимальная температура, °С	-38,3	-4,7	-4,1	-25,9	13,5	-9,0	-0,5	6,1	-130,8	2,6
Максимальная температура, °С	24,5	3,3	2,6	-17,1	23,5	-2,0	8,5	6,8	205,1	4,1

Типовые метеоусловия в периоды лавинной опасности – высота снега на склонах 80-90 см, на метеоплощадке 50-60 см, количество осадков 15-19 мм, прирост снега 25-30 см. Рассчитанные нами критерии согласия оказались статистически значимыми на 5 % уровне значимости. Стандартные ошибки ряда данных оказались в пределах, рекомендованных 10 % [23-25], что говорит о достоверности результатов.

Корреляционный анализ. Поскольку закон распределения характеристик снежных лавин отличается от нормального, был выбран непараметрический коэффициент корреляции Спирмена [21]. С учетом длины выборки критическое значение составило больше 0,05. Результаты корреляционного анализа выявили высокую статистическую зависимость между характеристиками сошедших снежных лавин и основными снежно-метеорологическими показателями. Важнейшие факторы, влияющие на параметры лавин, – это количество осадков, высота снега на склонах и прирост снега на снеголавинной станции ($R > 0,20-0,50$). При этом существуют различия в доминирующих факторах лавинообразования между двумя соседними бассейнами. Параметры снежных лавин в ущелье Киши Алматы сильнее связаны с высотой снега и осадками, а в соседнем ущелье Улкен Алматы сильнее связаны с высотой снега и температурой воздуха. При этом слабая статистическая связь с высотой снега на шурфе СЛС «Шымбулак» скорее всего обоснована нерепрезентативностью площадки, расположенной на маленькой поляне среди елей и туристических домиков. Коэффициенты корреляции Спирмена оказались статистически значимыми для этих параметров на стандартном 5 % уровне значимости (α -level) с вероятностью ошибки (p -level) менее 0,01.

Таблица 2 – Корреляционная матрица статистической зависимости между сходом снежных лавин и метеорологическими параметрами (корреляция Спирмена, критическое значение – подчеркнутый шрифт $R > 0,05$, p -level < 0,01)

Характеристики снежных лавин	Высота снега на склоне, см	Высота снега на метеоплощадке, см	Высота снега на шурфе, см	Плотность старого снега, гр/см ³	Плотность нового снега, гр/см ³	Прирост снега, см	Количество осадков, мм	Интенсивность осадков, мм/ч	Интенсивность прироста снега, см/ч	Средняя суточная температура, °С	Минимальная температура, °С	Максимальная температура, °С
Бассейн реки Киши Алматы												
Объем, м ³	<u>0,42</u>	<u>0,13</u>	<u>0,10</u>	<u>0,12</u>	<u>0,14</u>	<u>0,16</u>	<u>0,21</u>	0,03	0,04	0,00	0,01	0,01
Толщина отрыва, см	<u>0,50</u>	<u>0,21</u>	<u>0,19</u>	<u>0,26</u>	<u>0,21</u>	<u>0,21</u>	<u>0,29</u>	<u>0,11</u>	<u>0,07</u>	<u>0,16</u>	<u>0,16</u>	<u>0,15</u>
Высота падения, м	<u>0,23</u>	<u>0,13</u>	0,02	<u>0,10</u>	<u>0,09</u>	<u>0,20</u>	<u>0,18</u>	<u>0,09</u>	<u>0,10</u>	-0,01	0,02	-0,02
Длина пути, м	<u>0,17</u>	<u>0,09</u>	0,01	<u>0,05</u>	<u>0,08</u>	<u>0,20</u>	<u>0,18</u>	<u>0,06</u>	<u>0,08</u>	-0,01	0,02	-0,01
Высота отрыва, м над ур. м.	<u>0,13</u>	-0,01	<u>-0,09</u>	<u>0,06</u>	<u>0,08</u>	<u>0,10</u>	<u>0,14</u>	<u>0,06</u>	0,04	0,02	0,02	0,01
Бассейн реки Улкен Алматы												
Объем, м ³	<u>0,36</u>	<u>0,12</u>	<u>0,24</u>	<u>0,22</u>	<u>-0,09</u>	<u>0,06</u>	<u>0,10</u>	0,02	-0,04	0,16	0,16	0,16
Толщина отрыва, см	<u>0,18</u>	-0,01	<u>0,24</u>	<u>0,39</u>	<u>0,11</u>	<u>-0,02</u>	<u>0,07</u>	<u>0,06</u>	<u>-0,10</u>	<u>0,42</u>	<u>0,44</u>	<u>0,38</u>
Высота падения, м	<u>0,30</u>	<u>0,00</u>	<u>0,09</u>	<u>0,13</u>	<u>-0,13</u>	<u>0,08</u>	<u>0,07</u>	<u>0,07</u>	0,03	<u>0,14</u>	<u>0,12</u>	<u>0,14</u>
Длина пути, м	<u>0,31</u>	0,03	<u>0,13</u>	<u>0,15</u>	<u>-0,17</u>	<u>0,08</u>	<u>0,07</u>	<u>0,07</u>	0,01	<u>0,14</u>	<u>0,13</u>	<u>0,15</u>
Высота отрыва, м над ур. м.	<u>0,24</u>	<u>-0,25</u>	<u>-0,08</u>	<u>0,25</u>	0,03	<u>-0,08</u>	0,04	0,05	-0,01	<u>0,06</u>	<u>0,09</u>	<u>0,06</u>

Факторный анализ. Процедура факторного анализа необходима для группировки и минимизации прогностических предикторов [20-22]. Она также показывает корреляцию – факторную нагрузку на прогнозируемый сход лавин. Это важно для выбора прогностических предикторов в будущей прогнозной модели. Результаты факторного анализа показали, что на сход лавин влияют три группы факторов: высота снежного покрова, количество осадков, прирост снега и темпе-

ратурный режим. Это означает, что если метеорологические и снежные условия из разных групп и слабо связаны между собой, но их одновременное действие оказывает влияние на сход снежных лавин. На стандартном 5 % уровне значимости критическим значением для группировки факторов является величина факторной нагрузки более 0,50 (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты факторного анализа (факторная нагрузка для различных метеорологических параметров, подчеркнутый шрифт – статистически значимые значения)

Характеристики	Р. Киши Алматы			Р. Улкен Алматы		
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Высота снега на склоне, см	-0,09	0,43	-0,49	-0,46	0,12	-0,52
Высота снега на метеоплощадке, см	-0,16	<u>0,81</u>	-0,14	<u>-0,76</u>	0,39	-0,36
Высота снега на шурфе, см	-0,21	<u>0,83</u>	-0,18	<u>-0,78</u>	0,38	-0,30
Плотность старого снега, г/см ³	-0,38	0,32	-0,42	-0,30	0,60	0,05
Плотность нового снега, г/см ³	-0,63	0,28	0,12	-0,36	-0,15	0,35
Прирост снега, см	0,29	-0,47	<u>-0,75</u>	0,74	-0,19	-0,27
Количество осадков, мм	-0,13	-0,42	<u>-0,77</u>	0,70	-0,27	-0,13
Интенсивность осадков, мм/ч	-0,45	<u>-0,60</u>	0,05	0,04	<u>-0,71</u>	<u>-0,52</u>
Интенсивность прироста снега, см/ч	-0,14	<u>-0,60</u>	0,08	-0,13	<u>-0,57</u>	<u>-0,60</u>
Среднесуточная температура, °С	<u>-0,95</u>	-0,15	0,02	<u>-0,53</u>	<u>-0,73</u>	0,26
Минимальная температура, °С	<u>-0,91</u>	-0,07	-0,08	-0,49	<u>-0,62</u>	0,33
Максимальная температура, °С	<u>-0,90</u>	-0,19	0,10	-0,64	<u>-0,58</u>	0,11

Основные типы снежных лавин. Анализ многолетних данных позволил выделить основные типы снежных лавин. Это важно для понимания общего режима схода лавин в Иле Алатау. Типизация снежных лавин была проведена по генетической классификации Аккуратова [4]. Преобладающие типы лавин – это лавины из свежеснежного снега, лавины, связанные с оттепелью, и смешанный тип лавин (оттепель и осадки). Метелевые лавины отмечаются только в высокогорной зоне и составляют 4 % от общего числа. На остальные типы лавин (сублимационные и температурного расширения) приходится 3 % (рисунок 3).

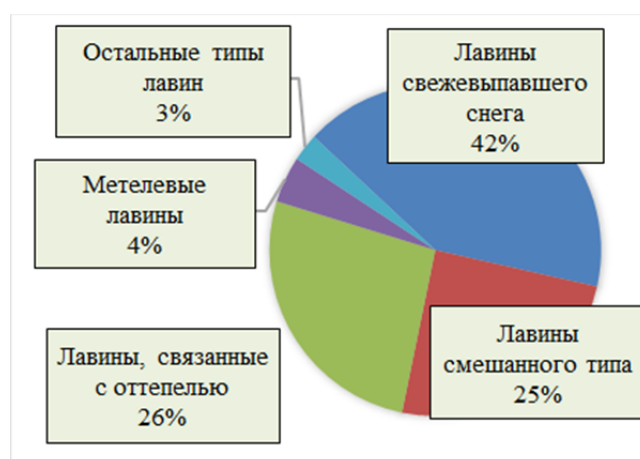


Рисунок 3 – Процентное соотношение типов сошедших лавин в горах Иле Алатау

Лавинная активность ущелья Котырбулак. В 20 км от г. Алматы в Талгарском районе находится индикаторный лавиносбор. Здесь же находится снеголавинная станция, открытая в 2008 г. По статистике раз в несколько лет там отмечается сход катастрофических лавин, наносящих материальный ущерб расположенной ниже горнолыжной базе «Пионер» (бывшая туристическая база «Алматау»). Сход лавин всегда отмечается в конце марта – начале апреля и вызван сильными

Таблица 4 – Снежно-метеорологические условия схода катастрофических снежных лавин в ущелье Котырбулак

Дата	Объем, тыс. м ³	Длина пробега, км	Прирост снега, см	Сумма осадков, мм	Высота снега, см	Ущерб
22.03.1966	100	3870	50**	61**		Опоры ЛЭП, здания турбазы
02.04.1980	100	3300	43*	48.8*	58*	Опоры ЛЭП, здания турбазы
06.04.2003	50	3070	38*	42*	52*	Станция КД
27.03.2013	35	3070	0	33.4	45	Станция КД
17.03.2022	36	3000	13	21.1	65	Станция КД
12.04.2023	67	2050	15	75	0	Опоры КД и ЛЭП
22.03.2024	100	3100	40	90	80	Станция КД, здания ГК
Ср. значение	69,7	3065,7	28,4	53,0	50,0	

Примечание. До открытия пункта наблюдений «Турбаза “Алматау”» метеоданные взяты с СЛС «Шымбулак» * и МС «Алматы» **, а объемы – из архивов полевых обследований.

осадками на фоне оттепели. Те же самые факторы приводят к массовому сходу лавин и в других ущельях. Условия схода лавин в районе горнолыжной базы «Пионер» в ущелье Котырбулак приведены в таблице 4. Анализ схода катастрофических лавин в индикаторном лавиносборе в ущелье Котырбулак показал типичные условия массового схода лавин в Иле Алатау весной – высота снега на метеоплощадке 50 см, количество осадков 53 мм, прирост снега 28 см. По ним можно оценивать повторяемость схода катастрофических лавин в среднегорной зоне Иле Алатау в весенний период. Ситуацию усугубляет тот факт, что горнолыжно-туристический комплекс расположен без учета существующей угрозы. Вместе с тем созданные нами карты опасных зон не являются нормативным документом для строительства [32], а всего лишь научной монографией. Однако регулярный сход катастрофических лавин и наносимый ими ущерб говорит о достоверности карт и определенных параметров лавин. Вместе с тем стоимость и целесообразность установки инженерной защиты возможны только после инженерно-изыскательских работ. Часто стоимость этой защиты оказывается сильно высокой для небольших частных курортов, а позволить ее строительство могут только комплексы-гиганты наподобие «Шымбулака». Остается единственный вариант – это перекрытие района по рекомендации ДЧС при наступлении сезона таяния снега в середине марта.

Закключение. Определение основных статистических характеристик снежных лавин имеет важное прикладное значение. Это необходимо для прогнозирования лавинной опасности и проектирования объектов в лавиноопасной зоне и устройства защитных сооружений. Окрестности Иле Алатау хорошо изучены в отношении лавин, однако большинство публикаций датируется концом XX века. Наши новые исследования уточняют известные факты с учетом новых данных за последние десятилетия. Это актуально, потому что климат меняется год от года [33, 34]. Однако отсутствие нормативных документов в области строительства в горной лавиноопасной зоне мешает учету лавинной опасности на этапе проектирования. Подобные проблемы существуют и в других горных районах [35]. В результате некоторые туристические и горнолыжные объекты регулярно разрушаются катастрофическими лавинами. Поэтому МЧС вынуждено реагировать и устанавливать блокпосты и давать предписание на прекращение работы туристских комплексов, а это вызывает экономические потери и недовольство работой служб у добросовестных собственников. В перспективе планируется внесение информации о лавинном режиме в нормативные документы для строительства в лавиноопасных зонах.

Авторы выражают благодарность сотрудникам снеголавинных подразделений филиала РГП «Казгидромет» по г. Алматы в сборе материала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Научно-прикладное обоснование селеоползне- и лавинобезопасности в горных районах Иле и Жетысу Алатау Республики Казахстан». Программно-целевое финансирование № BR21881982.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Северский И. В., Благовещенский В. П. Лавиноопасные районы Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во «Наука», 1990. – 172 с.
- [2] Жданов В. В. Основы лавинной безопасности. – Алматы, 2021. – 192 с.
- [3] Северский И. В., Благовещенский В. П. Оценка лавинной опасности горной территории. – Алма-Ата: Изд-во «Наука», 1983. – 220 с.
- [4] Божинский А. Н., Лосев К. С. Основы лавиноведения. – Ленинград, 1987. – 280 с.
- [5] Северский И. В., Благовещенский В. П. Опыт картирования лавинной опасности территории северных склонов Заилийского и Джунгарского Алатау // Снежные лавины и ледники Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1977. – С. 23-28.
- [6] Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности в Казахстане / Под ред. Е. И. Колесникова. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2005. – 262 с.
- [7] Северский И. В. Снежные лавины Заилийского и Джунгарского Алатау. – Алма-Ата: Изд-во «Наука», 1978. – 255 с.
- [8] Кондрашов И. В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1991. – 98 с.
- [9] Medeu A., Blagovechshenskiy V., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S. Interannual Variability of Snowiness and Avalanche Activity in the Ile Alatau Ridge, Northern Tien Shan // *Water*. – 2022. – No. 14. – P. 2936. – <https://doi.org/10.3390/w14182936>
- [10] Medeu A. R., Blagoveshchenskii V. P., Zhdanov V. V., Ranova S. U. Application of Mathematical Statistics to Assess the Avalanche Danger Level in the Ile Alatau Mountains // *Meteorologiya i Gidrologiya*. – 2022. – No. 7. – P. 34-45. – <https://doi:10.3103/S1068373922070056>
- [11] Blagovechshenskiy V., Medeu A., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S., Kamalbekova A., Aldabergen U. Application of Artificial Intelligence in the Assessment and Forecast of Avalanche Danger in the Ile Alatau Ridge // *Water*. – 2023. – No. 15, Issue 7. – P. 1438. – <https://doi.org/10.3390/w15071438>.
- [12] Kuksova N. E., Toropov P. A., Oleinikov A. D. Meteorological conditions of extreme avalanche formation in the Caucasus Mountains (according to observations and reanalysis) // *Ice and Snow*. – 2021. – No. 61(3). – P. 377-390. – doi: 10.31857/S2076673421030095
- [13] Oleinikov A. D., Volodicheva N. A. Winters of avalanche maximum in the Greater Caucasus for the period of instrumental observations (1968–2016) // *Ice and Snow*. – 2020. – No. 60(4). – P. 521-532. – doi:10.31857/S2076673420040057
- [14] Олейников А. Д., Володичева Н. А., Бояршинов А. В. Снежность зим и лавинная деятельность на Большом Кавказе за период инструментальных наблюдений // МГИ. – 2000. – Вып. 88. – С. 74-83.
- [15] Сайт Иле Алатауского национального парка. – URL: <http://en.ile-alatau.kz/> [Электрон. ресурс]. (Дата обращения 01.03.2024).
- [16] Климат Алматы / Под ред. Х. А. Ахмеджанова, Ц. А. Швер. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1985. – 266 с.
- [17] Государственный климатический кадастр РГП «Казгидромет». – URL: https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/ [Электрон. ресурс]. (Дата обращения 01.03.2024).
- [18] Северский И. В., Благовещенский В. П. и др. Снежный покров и лавины Тянь-Шаня. – Алматы, 2006. – 184 с.
- [19] Бекенов К. А., Касенов М. К. Селевая безопасность: 50 лет деятельности Казселезащиты: итоги, эффективность, перспективы. 1973-2023 гг. – Алматы: Zialy баспасы, 2023. – 208 с.
- [20] Сайт представительства фирмы StatSoft Russia. – URL: <http://www.statsoft.ru> [Электрон. ресурс]. (Дата обращения 01.03.2024).
- [21] Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных и машинное обучение на Statistica. – Москва: Изд-во «Горячая линия – Телеком», 2018. – 354 с.
- [22] Стукач О. В. Программный комплекс «Statistica» в решении задач управления качеством: Учебное пособие. – Томск: из-во Томского политехнического университета, 2011. – 163 с.
- [23] Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под ред. Н. В. Кобышевой. – СПб., 2008. – 336 с.
- [24] Аргучинцева А. В. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений: учеб. Пособие. – Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2007. – 105 с.
- [25] Чернышева Л. С., Платонова В. А. Расчет и интерпретация основных климатических показателей отдельных метеорологических величин: Уч.-метод. пособие. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2009. – 88 с.
- [26] Метеорологическая база данных РГП «Казгидромет». – URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/ [Электрон. ресурс]. (Дата обращения 01.03.2024).
- [27] Сайт Министерства по чрезвычайным ситуациям РК. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emergencies/press/article/1?lang=ru> [Электрон. ресурс]. (Дата обращения 01.03.2024).
- [28] Материалы ежегодных наблюдений за снежным покровом и осадками в горах / Под ред. Ю. С. Боева. – Алма-Ата: РГП «Казгидромет», 1953-2022.
- [29] Технические отчеты СЛС «Шымбулак» и «БАО» за 1966-2022 гг. / Составители: Кондрашов И. В., Тыналин О. Ж., Берман О. А. Бумажный архив РГП «Казгидромет».
- [30] Кадастр лавин СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1984-1991. – Т. 1-20.

- [31] Акимов В., Новиков В., Радаев Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. – Москва: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 324 с.
- [32] Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан / Под ред. А. Р. Медеу. – Алматы, 2010.
- [33] Глазовская Т. Г., Трошкина Е. С. Влияние глобального изменения климата на лавинный режим на территории бывшего Советского Союза // МГИ. – 1998. – № 84. – С. 88–91.
- [34] Селиверстов Ю. Г., Глазовская Т. Г., Шныпарков А. Л. Сценарий изменения лавинной деятельности на европейской части России в XXI веке // Сб. докладов III междунар. конф. «Лавины и смежные вопросы». – Кировск, Россия, 4–8 сентября, 2006. – Кировск: ООО «Апатит-Медиа Апатиты», 2007. – С. 201–207.
- [35] Черноус П. А. Государственное регулирование оценивания лавинной опасности в России // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2020. – Т. 2, № 3. – С. 295–304.

REFERENCES

- [1] Seversky I. V., Blagoveshchensky V. P. Avalanche-prone areas of Kazakhstan. Alma-Ata: Publishing house “Science”, 1990. 172 p. (in Russ.).
- [2] Zhdanov V. V. Fundamentals of avalanche safety. Almaty, 2021. 192 p. (in Russ.).
- [3] Seversky I. V., Blagoveshchensky V. P. Assessment of avalanche danger in mountainous areas. Alma-Ata: Publishing house “Science”, 1983. 220 p. (in Russ.).
- [4] Bozhinsky A. N., Losev K. S. Fundamentals of avalanche science. Leningrad, 1987. 280 p. (in Russ.).
- [5] Seversky I. V., Blagoveshchensky V. P. Experience in mapping avalanche danger on the northern slopes of the Trans-Ili and Dzhungar Alatau // Snow avalanches and glaciers of Kazakhstan. Alma-Ata: Science, 1977. P. 23–28 (in Russ.).
- [6] Practical guide to forecasting avalanche danger in Kazakhstan / Ed. E. I. Kolesnikova. Almaty: RSE “Kazhydromet”, 2005. 262 p. (in Russ.).
- [7] Seversky I. V. Snow avalanches of the Trans-Ili and Dzungarian Alatau. Alma-Ata: Publishing house “Nauka”, 1978. 255 p. (in Russ.).
- [8] Kondrashov I. V. Forecast of avalanches and some characteristics of snowfall in the mountains of Kazakhstan. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 98 p. (in Russ.).
- [9] Medeu A., Blagoveshchenskiy V., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S. Interannual Variability of Snowiness and Avalanche Activity in the Ile Alatau Ridge, Northern Tien Shan // Water. 2022. No. 14. P. 2936. <https://doi.org/10.3390/w14182936>
- [10] Medeu A. R., Blagoveshchenskii V. P., Zhdanov V. V., Ranova S. U. Application of Mathematical Statistics to Assess the Avalanche Danger Level in the Ile Alatau Mountains // Meteorologiya i Gidrologiya. 2022. No. 7. P. 34–45. <https://doi.org/10.3103/S1068373922070056>
- [11] Blagoveshchenskiy V., Medeu A., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S., Kamalbekova A., Aldabergen U. Application of Artificial Intelligence in the Assessment and Forecast of Avalanche Danger in the Ile Alatau Ridge // Water. 2023. No. 15, issue 7. P. 1438. <https://doi.org/10.3390/w15071438>
- [12] Kuksova N. E., Toropov P. A., Oleinikov A. D. Meteorological conditions of extreme avalanche formation in the Caucasus Mountains (according to observations and reanalysis) // Ice and Snow. 2021. No. 61(3). P. 377–390. doi: 10.31857/S2076673421030095
- [13] Oleinikov A. D., Volodicheva N. A. Winters of avalanche maximum in the Greater Caucasus for the period of instrumental observations (1968–2016) // Ice and Snow. 2020. No. 60(4). P. 521–532. doi:10.31857/S2076673420040057
- [14] Oleinikov A.D., Volodicheva N.A., Boyarshinov A.V. Snowiness of winters and avalanche activity in the Greater Caucasus during the period of instrumental observations // MHI. 2000. Issue 88. P. 74–83 (in Russ.).
- [15] Website of Ile Alatau National Park. URL:<http://en.ile-alatau.kz/> [Electron. resource] (Date of access: 03/01/2024) (in Russ.).
- [16] Climate of Almaty / Ed. H. A. Akhmedzhanova, T. A. Shver. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1985. 266 p. (in Russ.).
- [17] State climate cadastre of the RSE “Kazhydromet”. URL: https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/ [Electron. resource]. (Date of access: 03/01/2024) (in Russ.).
- [18] Seversky I.V., Blagoveshchensky V.P. et al. Snow cover and avalanches of the Tien-Shan. Almaty, 2006. 184 p. (in Russ.).
- [19] Bekenov K. A., Kasenov M. K. Mudflow safety. 50 years of activity of Kazselezashchita: results, efficiency, prospects. 1973–2023. Almaty: Zialy bacpasy, 2023. 208 p. (in Russ.).
- [20] Website of the representative office of StatSoft Russia. URL: <http://www.statsoft.ru> [Electron. resource]. (Date of access: 03/01/2024) (in Russ.).
- [21] Borovikov V. P. Popular introduction to modern data analysis and machine learning on Statistica. Moscow: Publishing House “Hot Line – Telecom”, 2018. 354 p. (in Russ.).
- [22] Stukach O. V. Software complex “Statistica” in solving quality management problems. Tutorial. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2011. 163 p. (in Russ.).
- [23] Guide to specialized services to the economy with climate information, products and services / Ed. N. V. Kobysheva. St. Petersburg, 2008. 336 p. (in Russ.).
- [24] Arguchintseva A. V. Methods of statistical processing and analysis of hydrometeorological observations: textbook. allowance. Irkutsk: Irkut. state univ., 2007. 105 p. (in Russ.).

[25] Chernysheva L. S., Platonova V. A. Calculation and interpretation of the main climatic indicators of individual meteorological quantities: Uch.-method. allowance. Vladivostok: Dalnevost Publishing House. Univ., 2009. 88 p. (in Russ.).

[26] Meteorological database of the RSE “Kazhydromet”. URL: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/ [Electron. resource]. (Date of access: 03/01/2024) (in Russ.).

[27] Website of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/article/1?lang=ru> [Electron. resource]. (Date of access: 03/01/2024) (in Russ.).

[28] Materials of annual observations of snow cover and precipitation in the mountains / Ed. Yu. S. Boeva. Alma-Ata: RSE “Kazhydromet”, 1953-2022 (in Russ.).

[29] Technical reports of SLS “Shymbulak” and “BAO” for 1966-2022. Compiled by: Kondrashov I.V., Tynalin O.Zh., Berman O.A. Paper archive of the RSE “Kazhydromet” (in Russ.).

[30] Avalanche cadastre of the USSR. L.: Gidrometeoizdat, 1984-1991 Vol. 1-20. (in Russ.).

[31] Akimov V., Novikov V., Radaev N. Natural and man-made emergency situations: dangers, threats, risks. Moscow: CJSC FID “Business Express”, 2001. 324 p. (in Russ.).

[32] Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations in the Republic of Kazakhstan / Ed. A. R. Medeu. Almaty, 2010 (in Russ.).

[33] Glazovskaya T. G., Troshkina E. S. The influence of global climate change on avalanche conditions in the territory of the former Soviet Union // MGI. 1998. No. 84. P. 88-91 (in Russ.).

[34] Seliverstov Yu. G., Glazovskaya T. G., Shnyarkov A. L. Scenario of changes in avalanche activity in the European part of Russia in the 21st century // Proc. reports of the III Int. conf. “Avalanches and related issues”. Kirovsk, Russia, September 4–8, 2006. Kirovsk: LLC «Apatit-Media Apatity», 2007. P. 201-207 (in Russ.).

[35] Chernous P.A. State regulation of avalanche danger assessment in Russia // Hydrosphere. Dangerous processes and phenomena. 2020. Vol. 2, No. 3. P. 295-304 (in Russ.).

В. В. Жданов¹, Н. У. Кужагельдина^{*2}, А. Н. Камалбекова³, Ұ. Р. Алдаберген⁴

¹ Т. ғ. к., аға ғылыми қызметкер (Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан; zhdanovvitaliy@yandex.kz)

² PhD докторант, жетекші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, «Қазгидромет» РМК, Астана, Қазақстан; nuraily@mail.ru)

³ PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан; aidana.kamalbekova@gmail.com)

⁴ PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі География және су қауіпсіздігі институты, Алматы, Қазақстан; aldabergen_u@mail.ru)

ІЛЕ АЛАТАУ ТАУЛАРЫНДАҒЫ ҚАР КӨШКІНІ ЖӘНЕ ҚАРЛЫ-МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАР ТУРАЛЫ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ МӘЛІМЕТТЕРДІ СТАТИСТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ

Аннотация. Алматы іргесіндегі қар көшкіні бекеттерінде жүргізілген ұзақ мерзімді бақылаулар негізінде 1966 жылдан бері 5 мыңнан астам қар көшкіні тіркелген. Мәліметтерді статистикалық талдаудан кейін көшкіндердің негізгі сипаттамалары анықталып, қар және метеорологиялық жағдайларға талдау жасалды. Қар көшкіндерінің орташа көлемі 4 мың м³ құрайды, бірақ бұл көрсеткіш параметрлік емес таралу заңына байланысты бұрмаланған. Қар көшкіні көлемінің орташа мәні 750-800 м³ құрайды. Жоғарғы және төменгі квартилдар шегінде 50% жағдайлар 250-2500 м³ құрайды. 30 мың м³-ден асатын апатты қар көшкіні жағдайлардың 3%-ын, ал 100 мың м³-тен астамы 0,3%-ын ғана құрайды. Қар көшкіні қауіп кезеңіндегі типтік ауа райы жағдайлары: беткейлерде қардың биіктігі 80-90 см, метеорологиялық учаскеде 50-60 см, жауын-шашын мөлшері 15-19 мм, қардың өсуі 25-30 см көшкіннің пайда болуына ықпал етті беткейлердегі қар жамылғысының биіктігі, жауатын жауын-шашын мөлшері, қар жамылғысының ұлғаюы, ауаның максималды температурасы. Спирменнің корреляциялық коэффициенттері қате ықтималдығы (р-деңгейі) 0,01-ден төмен стандартты 5% маңыздылық деңгейінде (а-деңгейінде) осы параметрлер үшін статистикалық маңызды болып табылды. Факторлық талдау нәтижелері қар көшкініне болжаушылардың үш тобы әсер ететінін көрсетті: қардың қалыңдығы, жауын-шашын мен қардың өсуі, температуралық жағдайлар. Қотырбұлақ шатқалындағы индикаторлық қар көшкінін талдауы көктемде Іле Алатауында қар көшкінінің түсуіне тән жағдайларды көрсетті – ауа райы учаскесінде қардың биіктігі 50 см, жауын-шашын мөлшері 53 мм, қардың ұлғаюы 28 см 5% маңыздылық деңгейі бойынша статистикалық маңызды болып шықты. Кейбір деректердің стандартты қателері ұсынылған 10% шегінде болды, бұл нәтижелердің сенімділігін көрсетеді.

Түйін сөздер: Іле Алатауы, қар көшкіні, көшкін режимі, математикалық статистика, ұзақ мерзімді деректер мұрағаты.

V. V. Zhdanov¹, N. U. Kuzhageldina^{*2}, A. N. Kamalbekova³, U. R. Aldabergen⁴

¹ Candidate of Technical Sciences, senior researcher (Institute of Geography and Water Security of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan; zhdanovvitaliy@yandex.kz)

² PhD student, leading researcher (Al-Farabi Kazakh National University, RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan; nuraily@mail.ru)

³ PhD student, junior researcher (Al-Farabi Kazakh National University, Institute of Geography and Water Security of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan; aidana.kamalbekova@gmail.com)

⁴ PhD student, junior researcher (Al-Farabi Kazakh National University, Institute of Geography and Water Security of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan; aldabergen_u@mail.ru)

STATISTICAL ANALYSIS OF LONG-TERM DATA ON SNOW AVALANCHES AND SNOW-METEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE ILE ALATAU MOUNTAINS

Abstract. Based on long-term observations at snow avalanche stations in the vicinity of Almaty, more than 5 thousand snow avalanches have been recorded since 1966. After statistical analysis of the data, the main characteristics of the avalanches were determined and snow and meteorological conditions were analyzed. The average volume of avalanches is 4 thousand m³, but this value is distorted due to the nonparametric distribution law. The median value of the volume of avalanches is 750-800 m³. 50% of cases within the upper and lower quartiles are 250-2500 m³. Catastrophic avalanches of more than 30 thousand m³ account for 3% of cases, and more than 100 thousand m³ only 0.3% of cases. Typical weather conditions during periods of avalanche danger are: snow height on the slopes 80-90 cm, on the meteorological site 50-60 cm, precipitation 15-19 mm, snow growth 25-30 cm. The dominant factors in avalanche formation were the height of the snow cover on the slopes, the amount of snowfall precipitation, snow cover increase, maximum air temperature. Spearman's correlation coefficients were found to be statistically significant for these parameters at the standard 5% significance level (a-level) with a probability of error (p-level) of less than 0.01. The results of factor analysis showed that avalanches are influenced by three groups of predictors: snow depth, precipitation and snow growth, and temperature conditions. Analysis of catastrophic avalanches in the indicator avalanche collection in the Kotyrbulak gorge showed typical conditions for mass avalanches in Ile Alatau in the spring - snow height at the weather site 50 cm, precipitation amount 53 mm, snow increase 28 cm. The agreement criteria we calculated turned out to be statistically significant by 5% level of significance. The standard errors of some data were within the recommended limits of 10%, which indicates the reliability of the results.

Keywords: Ile Alatau, snow avalanches, avalanche regime, mathematical statistics, long-term data archive.