

КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 551.578.46 (215017)

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОЗДУХА В ЗИМНИЕ СЕЗОНЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ  
НА ЛАВИННУЮ АКТИВНОСТЬ В ХИБИНАХ

В.Н. Сапунов, Ю.Г. Селиверстов, Е.С. Трошкина, П.А. Черноус\*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический ф-т,  
119992, Москва, Воробьевы горы, Россия, yus5@yandex.ru*

*\*Центр лавинной безопасности ОАО "Апатит",  
184250, Кировск, Мурманская обл., ул. 50 лет Октября, 33а, Россия, PChernous@apatit.com*

Для Хибинского горного массива выполнен анализ многолетнего (1936–2004 гг.) режима одного из важнейших факторов лавинной активности – температуры воздуха в зимние сезоны. Выделено четыре типа зимних сезонов, каждый из которых отличается определенным интервалом величин отклонения суммы среднемесячных температур воздуха за зимний сезон от среднего значения. Для каждого типа определены характерные параметры лавинной активности. Отмечавшееся с начала наблюдений незначительное потепление (0,05 °С/год) прервалось в середине 60-х гг. XX в. сильным похолоданием – четыре anomalously cold зимы за 6 лет. В этот период зарегистрировано наименьшее количество лавин при наибольших средних объемах. В дальнейшем температура воздуха повышалась на 0,2 °С/год. С начала 90-х гг. возросла повторяемость теплых и anomalously warm зим. При этом отмечен рост числа лавин и их суммарного за сезон объема.

*Snow avalanche, air temperature, winter season, parameters of avalanche activity, long-term observation, trend, typification*

TEMPERATURE REGIME OF AIR IN WINTER SEASONS AND ITS INFLUENCE  
ON AVALANCHE ACTIVITY IN THE Khibini MOUNTAINS

V.N. Sapunov, Yu.G. Seliverstov, E.S. Troshkina, P.A. Chernous\*

*Lomonosov Moscow State University, Department of Geography,  
119992, Moscow, Vorobyovy Gory, Russia, yus5@yandex.ru*

*\*Center for Avalanche Safety, "APATIT" JSC,  
184250, Kirovsk, Murmansk region, 50 Years of October str., 33a, Russia, PChernous@apatit.com*

An analysis of a long-term regime (1936–2004) of air temperature during winter seasons – one of the major factors of avalanche activity – has been carried out for the Khibini mountains. Four types of winter seasons have been recognized, each of them differs in the specified interval of magnitudes of deviation of the sum of monthly average air temperature for winter season from the average one. For each type, the characteristic parameters of avalanche activity have been determined. The minor warming (0,05 °C per year) had been registered from the beginning of observations. It was discontinued in the middle of the sixties of the XX century by a strong cold snap – four anomalously cold winters during 6 years. In this period the least quantity of avalanches at the greatest mean volumes has been recorded. Later on the air temperature raised by 0,2 °C per year. From the beginning of the 90s the repeatability of warm and anomalously warm winters has increased. Growth of the number of avalanches and their total season volume has been recorded.

*Snow avalanche, air temperature, winter period, parameters of avalanche activity, long-term observation, trend, typification*

ВВЕДЕНИЕ

Температура воздуха во многом определяет условия отложения снега и дальнейшего развития снежной толщи вплоть до ее разрушения. Абсолютные значения температуры воздуха, их изменчивость в пространстве и времени отражаются в особенностях метаморфизма снега, формирования

структурных параметров и физико-механических свойств снежного покрова. Температура воздуха является одним из основных факторов возникновения стихийных нивальных явлений и важнейшей климатической характеристикой режима снежных лавин различных горных территорий.

Исследование многолетнего хода температуры воздуха позволяет определить тенденции изменения показателей лавинной активности и разработать методы долгосрочного прогноза активности гляциальных процессов.

Оценка многолетней динамики температуры воздуха зимнего периода по имеющимся метеорологическим наблюдениям непосредственно связана с происходящими глобальными изменениями климатических условий. Основная цель настоящего исследования заключается в определении влияния изменений температуры воздуха на стихийные нивальные процессы.

### ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

**Температурный режим Хибин.** Для анализа многолетнего хода температуры воздуха зимних сезонов Хибин использованы данные метеорологических станций (м/с) Центра лавинной безопасности (ЦЛБ) ОАО «Апатит» – Кировск (абс. высота 365 м, данные за период с 1982 по 2004 г.), Восточная (420 м, 1990–2004 гг.), Юкспор (910 м, 1936–1980 гг.) и горно-лавинной станции (ГЛС) Центральная (1090 м, 1962–2004 гг.), а также данные наблюдений Хибинской учебно-научной станции географического факультета МГУ в различных районах Хибинских гор.

Температурный режим Хибин характеризуется относительно теплой зимой и прохладным, неустойчивым летом. Среднегодовая температура воздуха по многолетним данным составляет от  $-0,1$  °С в г. Кировске до  $-4,8$  °С на плато Ловчорр (ГЛС Центральная). В среднем на каждые 100 м подъема температура воздуха понижается на  $-0,65$  °С. Радиационный баланс со второй половины октября до третьей декады марта отрицательный. Число дней с отрицательной температурой воздуха составляет 210 на уровне 365 м и увеличивается до 277 на высоте 1090 м. Наиболее холодные месяцы зимы – январь (температура воздуха у подножия склонов составляет  $-10,1$  °С (Кировск) и  $-10,8$  °С (Восточная) и понижается до  $-12,2$  и  $-13,2$  °С на расположенных в непосредственной близости от верхних частей лавинных очагов станциях Юкспор и Центральная) и февраль (среднемесячные значения составляют  $-9,8$ ,  $-10,9$ ,  $-12,6$ ,  $-13,2$  °С соответственно). Абсолютный минимум температуры воздуха достигает  $-32$  °С на горных плато и  $-41$  °С в горных котловинах.

Развитие снежной толщи начинается с формированием устойчивого снежного покрова на склонах гор чаще всего в октябре и заканчивается с его разрушением – обычно в мае. В этот период (далее зимний период) сходит более 99 % лавин [География лавин, 1992]. Средняя температура воздуха зимнего периода понижается от  $-5,0$  °С (Ки-

ровск) и  $-5,3$  °С (Восточная) в днищах долин до  $-8,3$  °С (Юкспор) и  $-9,3$  °С (Центральная) на плато. Снижение высотного градиента температуры воздуха в зимний период по сравнению со среднегодовыми значениями объясняется частым формированием в периоды устойчивой антициклональной погоды с активным радиационным выхолаживанием приземного слоя воздуха температурной инверсии [Трошкина, 1992]. Особенно часто это явление отмечается в самые холодные месяцы года.

#### Типизация зим по температурному режиму.

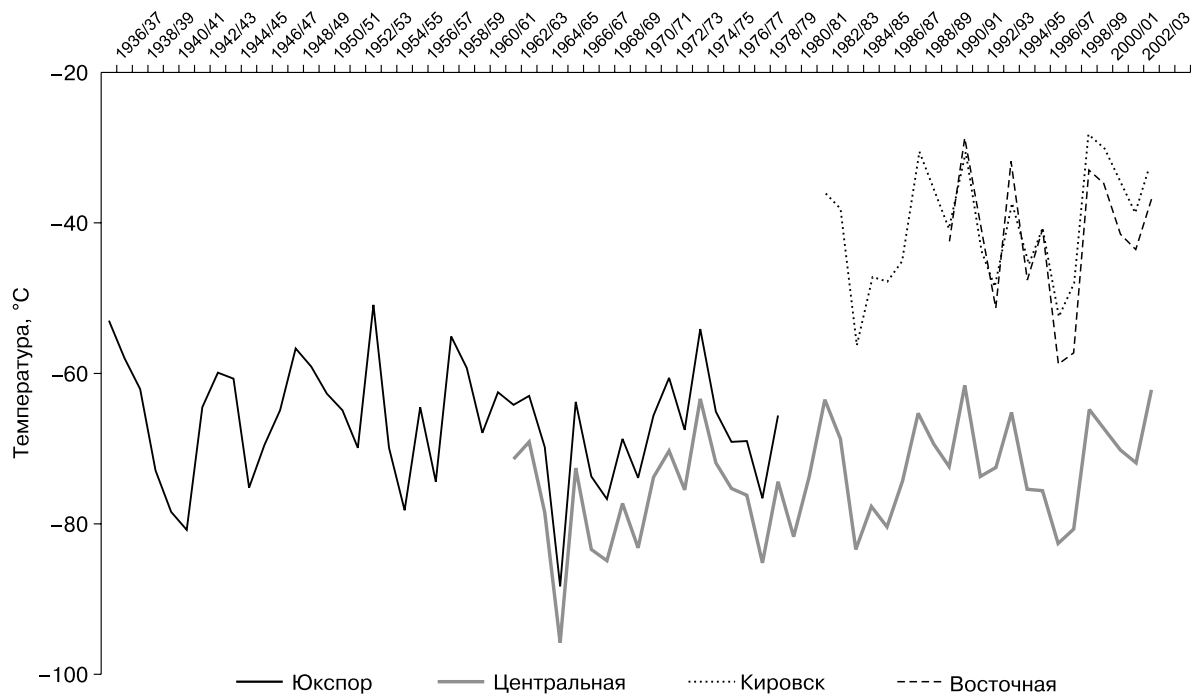
Для характеристики зимних сезонов по температурному режиму воздуха были приняты показатели суммы значений среднемесячной температуры воздуха за все месяцы – с октября по май.

Многолетний ход сумм значений среднемесячной температуры воздуха на различных метеостанциях в значительной мере совпадает (рис. 1). Коэффициенты корреляции значений в периоды параллельных наблюдений высоко значимы и составляют: Юкспор – Центральная (1962–1980 гг.) – 0,99, Центральная – Кировск (1982–2004 гг.) – 0,91, Центральная – Восточная (1990–2004 гг.) – 0,90, Кировск – Восточная (1990–2004 гг.) – 0,89. Средний многолетний внутривоздушный ход значений среднемесячной температуры воздуха по данным всех метеостанций показывает их почти синхронное изменение (рис. 2). Температура воздуха плавно понижается, достигая минимальных значений на м/с Кировск в январе ( $-10,1$  °С), на остальных метеостанциях – в феврале (до  $-13,2$  °С на ГЛС Центральная), и в дальнейшем также плавно увеличивается.

Для оценки условий лавинообразования особенно важны метеорологические наблюдения, проводимые в непосредственной близости от зоны отрыва лавин. Этому условию отвечают метеоплощадки станций Юкспор и Центральная. Коэффициент корреляции между среднемесячными значениями температуры воздуха на м/с Юкспор и ГЛС Центральная в годы их параллельной работы (зимы 1962/63–1979/80 гг.) составил 0,95, что позволяет считать единым ряд наблюдений за температурой воздуха на высотном уровне зоны образования лавин в зимний период с 1936 г. по настоящее время.

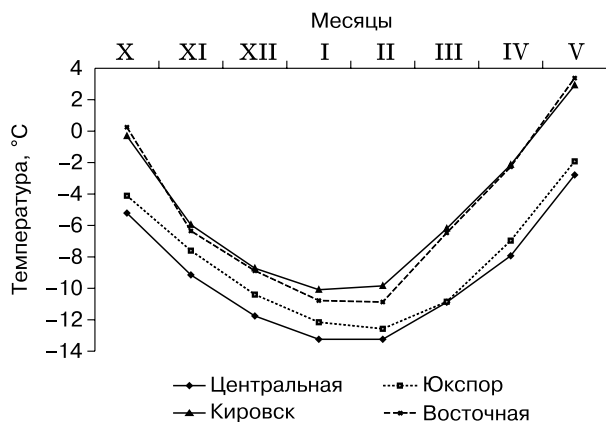
На м/с Юкспор сумма значений среднемесячной температуры воздуха колебалась от  $-50,9$  до  $-88,3$  °С и в среднем составила  $-66,6$  °С при стандартном отклонении  $\pm 7,9$  °С. На ГЛС Центральная этот показатель изменялся в разные годы от  $-85,8$  до  $-61,6$  °С. В среднем он составил  $-74,2$  °С при несколько меньшем, чем на м/с Юкспор, стандартном отклонении  $\pm 7,3$  °С.

Все зимы многолетнего ряда были разделены в зависимости от отклонения значения показателя от величины средней многолетней суммы среднемесячных значений температуры воздуха за зимний период на умеренно холодные и умеренно теп-



**Рис. 1.** Многолетний ход сумм значений среднемесячной температуры воздуха в зимний период в пунктах метеорологических наблюдений ЦЛБ ОАО “Апатит” в 1936–2003 гг.

лые, anomalно холодные и anomalно теплые. К умеренно холодным были отнесены зимы с суммой среднемесячных значений температуры воздуха ниже их средней многолетней величины, но не более чем на величину стандартного отклонения, а умеренно теплыми считались зимы с суммой выше их средней многолетней величины, но не более чем на величину стандартного отклонения. Anomalно теплыми и anomalно холодными яв-



**Рис. 2.** Средний многолетний внутривзимний ход значений среднемесячной температуры воздуха в пунктах метеорологических наблюдений ЦЛБ ОАО “Апатит” в 1936–2004 гг.

ляются зимы, суммы среднемесячных температур воздуха которых лежат соответственно выше или ниже пределов стандартных отклонений (таблица).

При сравнении характеристик зим оценки по разным метеоплощадкам разошлись только в трех случаях. В зимы 1967/68 и 1970/71 гг. значения сумм очень близки к граничному значению  $-74,5^{\circ}\text{C}$  на м/с Юкспор и на более чем  $1^{\circ}\text{C}$  ниже порога на ГЛС Центральная. Таким образом, эти зимы можно отнести к anomalно холодным. При аналогичном подходе к оценке зимы 1979/80 г. в многолетнем ряду по данным м/с Юкспор ее следует признать умеренно теплой.

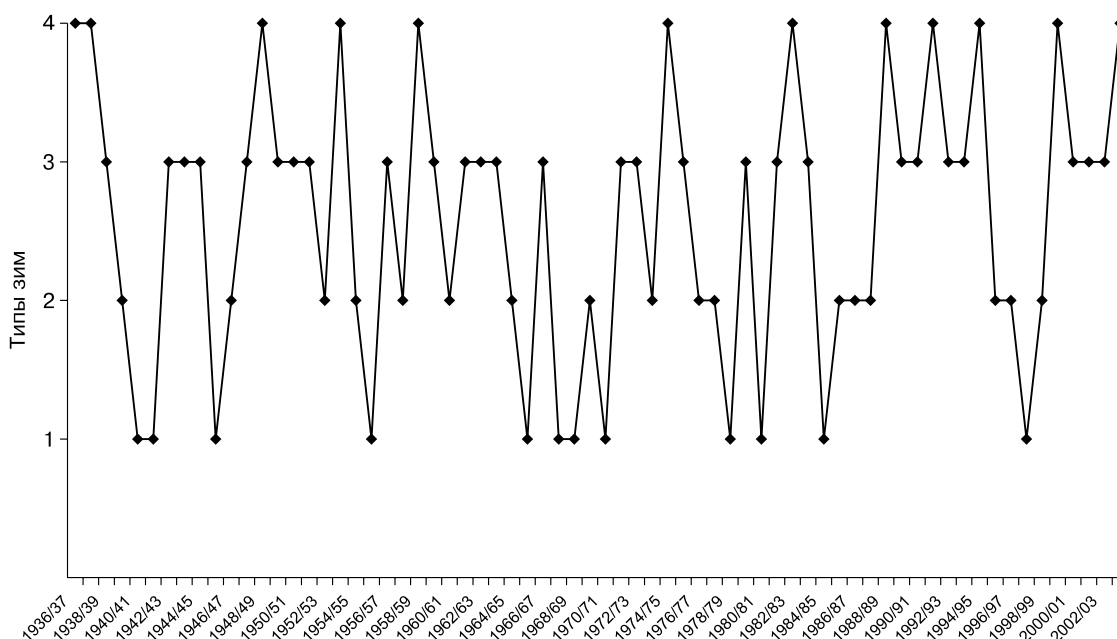
За весь период наблюдений выделяются несколько циклов с преобладанием “теплых” (анomalно и умеренно теплых) и “холодных” (анomalно и умеренно холодных) зим (рис. 3). До середины 60-х гг. XX в. происходило чередование “теплых” и “холодных” циклов при несколько

**Типизация зим по характеру отклонения суммы среднемесячных значений температуры воздуха от средней многолетней величины**

Тип зим	Юкспор		Центральная	
	Сумма температур, °С	Зимы	Сумма температур, °С	Зимы
Аномально холодные	< -74,5	1940/41, 1941/42, 1945/46, 1955/56, 1965/66, 1968/69, 1978/79 г.	< -81,5	1965/66, 1967/68, 1968/69, 1970/71, 1978/79, 1980/81, 1984/85, 1997/98
Умеренно холодные	≥ -74,5	1939/40, 1946/47, 1952/53, 1954/55, 1957/58, 1960/61, 1964/65, 1967/68, 1969/70, 1970/71, 1973/74, 1976/77, 1977/78 г.	≥ -81,5	1964/65, 1969/70, 1973/74, 1976/77, 1977/78, 1979/80, 1985/86, 1986/87, 1987/88, 1995/96, 1996/97, 1998/99
	≤ -66,6		≤ -74,2	
Умеренно теплые	> -66,6	1938/39, 1942/43, 1943/44, 1944/45, 1947/48, 1949/50, 1950/51, 1951/52, 1956/57, 1959/60, 1961/62, 1962/63, 1963/64, 1966/67, 1971/72, 1972/73, 1975/76, 1979/80	> -74,2	1962/63, 1963/64, 1966/67, 1971/72, 1972/73, 1975/76, 1981/82, 1983/84, 1989/90, 1990/91, 1992/93, 1993/94, 2000/01, 2001/02, 2002/03 г.
	≤ -58,7		≤ -66,9	
Аномально теплые	> -58,7	1936/37, 1937/38, 1948/49, 1953/54, 1958/59, 1974/75	> -66,9	1974/75, 1982/83, 1988/89, 1991/92, 1994/95, 1999/00, 2003/04 г.

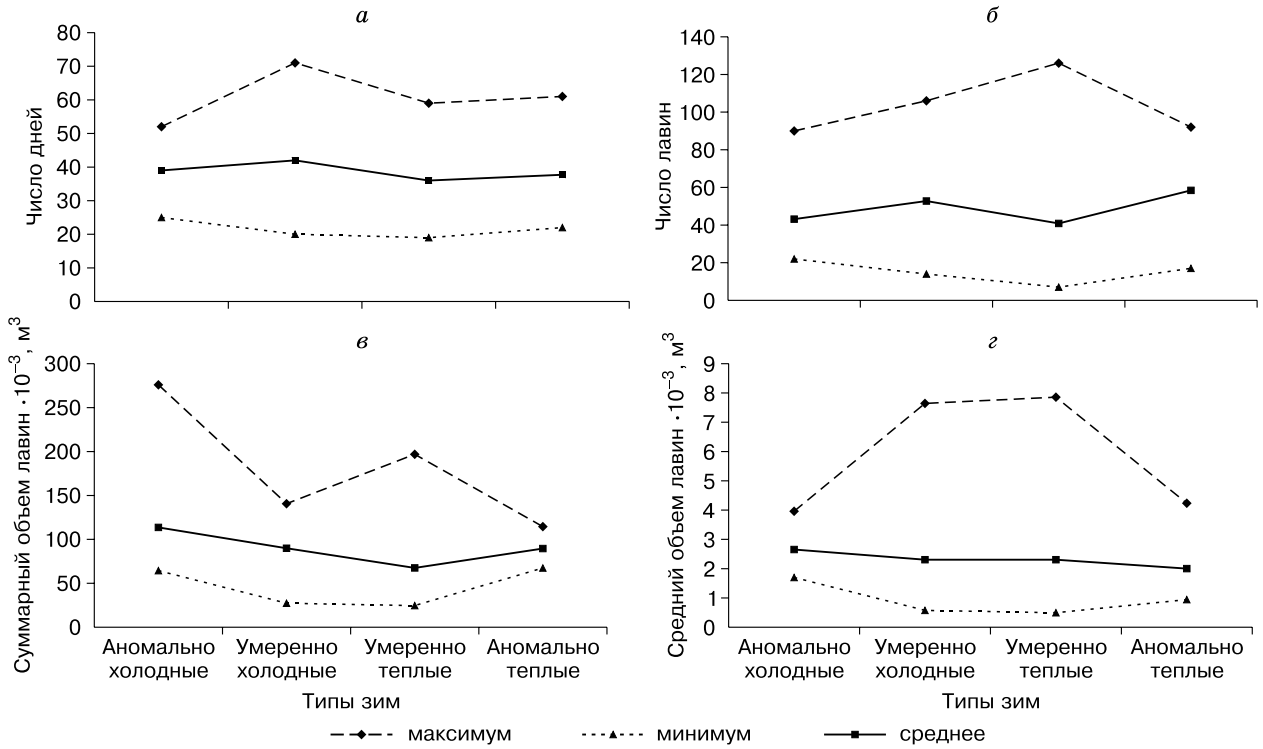
большей продолжительности “теплых” – до пяти “теплых” и до трех “холодных” зим подряд. Это обстоятельство нашло отражение в незначительном положительном линейном тренде – 0,05 °С/год.

С зимы 1964/65 г. начался продолжительный “холодный” цикл – из семи зимних сезонов четыре были аномально холодными, а две – умеренно холодными. Аномально теплые зимы не по-



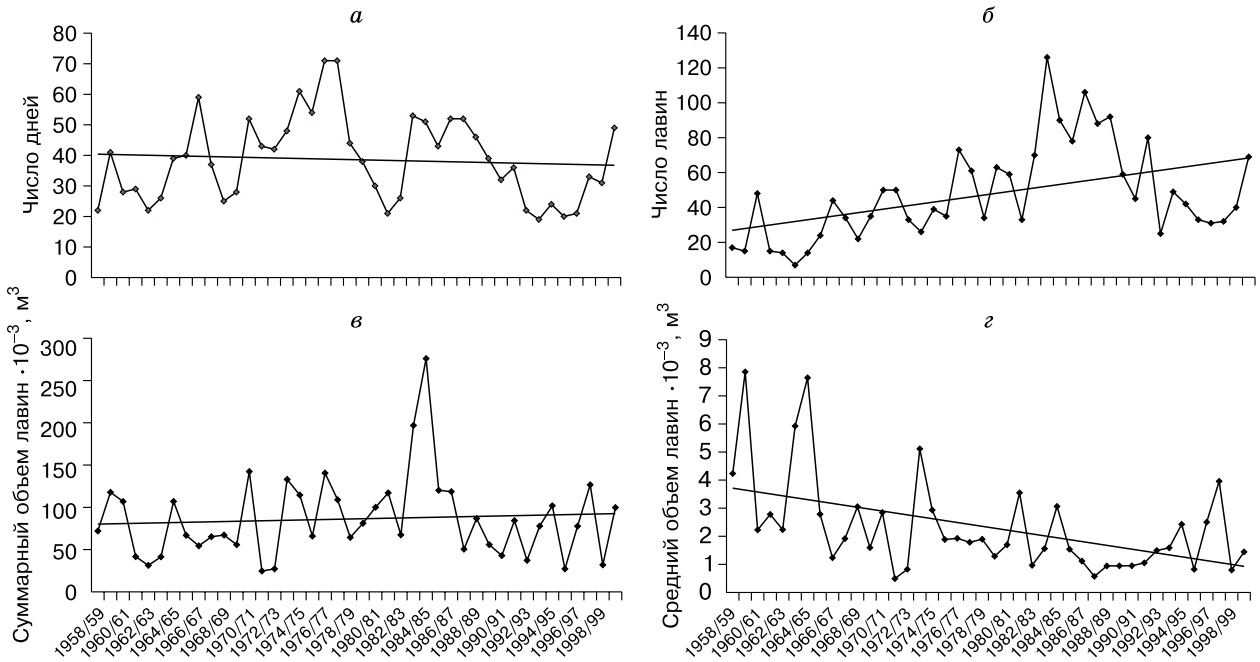
**Рис. 3. Типы зим в многолетнем ряду метеорологических наблюдений в Хибинах:**

1 – аномально холодные, 2 – умеренно холодные, 3 – умеренно теплые, 4 – аномально теплые.



**Рис. 4. Параметры лавинной активности для различных типов зим:**

*а* – число дней с лавиноопасными ситуациями, *б* – число лавин, *в* – суммарный объем лавин, *г* – средний объем лавин.



**Рис. 5. Многолетний ход параметров лавинной активности и их тренды.**

вторялись 16 лет – с зимы 1958/59 г. по зиму 1974/75 г. Долговременное похолодание сказалось на итоговом отрицательном тренде сумм значений среднемесячной температуры воздуха за зимние периоды на м/с Юкспор. За весь период наблюдений (1936–1980 гг.) он составил  $-0,1$  °С.

Со второй половины 70-х гг. происходило чередование непродолжительных (до четырех зим) “теплых” и “холодных” циклов. С зимы 1988/89 г. существенно участились аномально теплые зимы. Два длительных (семь и пять зим) “теплых” цикла перемежаются одним “холодным” четырехлетним. Тренд повышения температуры воздуха по данным ГЛС Центральная составил  $0,2$  °С/год.

**Параметры лавинной активности в зимние сезоны различных типов.** Для зим различных типов был определен ряд параметров лавинной активности – число дней с лавиноопасными ситуациями (дни, в которые, по экспертной оценке специалистов ЦЛБ, был возможен сход лавин), число лавин, суммарный и средний объемы лавин по данным ЦЛБ (рис. 4). Современное состояние качества наблюдений за лавинами установилось с зимы 1958/59 г. (по экспертной оценке специалистов ЦЛБ), поэтому с нее и начинается анализируемый период.

Наиболее стабильный из используемых показателей – число дней с лавиноопасными ситуациями (коэффициент вариации 36) (см. рис. 4,а). Средние его значения для различных типов зим очень близки, а максимальное значение (42 дня) и наибольшая вариация (20–71) характеризуют умеренно холодные зимы. Увеличение показателя происходит, чаще всего, в “холодные” циклы.

Наибольшее среднее число лавин за сезон (58) при наименьшей вариации значений приходится на аномально теплые зимы, а наименьшее (41) при наибольшей вариации – на умеренно теплые зимы (см. рис. 4,б).

Максимальные средние ( $113\ 603\ \text{м}^3$ ) и абсолютные значения ( $275\ 925\ \text{м}^3$ ) суммарных объемов лавин отмечаются в аномально холодные зимы, а наименьшая вариация показателя наблюдается в аномально теплые зимы (см. рис. 4,в). В “теплые” циклы обычно отмечается понижение показателя, а в “холодные” он повышается.

Для умеренно холодных и умеренно теплых зим получены очень близкие значения средних величин среднесезонных объемов лавин (2305 и  $2307\ \text{м}^3$  соответственно) при очень большом коэффициенте вариации (89) (см. рис. 4,г). Наибольшее среднее значение этого показателя лавинной активности при наименьшей вариации ( $2653\ \text{м}^3$ ) отмечается в аномально холодные зимы, а наименьшее – в аномально теплые.

Тренды временных рядов параметров лавинной активности имеют различную направленность (рис. 5), что во многом объясняется изменением повторяемости различных типов зим. Число дней

с лавинными ситуациями (см. рис. 5,а) несколько уменьшается с сокращением повторяемости холодных и аномально холодных зим. Число лавин (см. рис. 5,б) растет в среднем на 1 в год в соответствии со значительным увеличением повторяемости аномально теплых зим. Отмечается незначительный рост суммарных за зиму объемов лавин (см. рис. 5,в), однако, во многом он объясняется достаточно поздним положением во временном ряду максимального значения (аномально холодная зима 1984/85 г.). Средний объем лавин (см. рис. 5,г) имеет явный отрицательный тренд, что происходит на фоне увеличения аномально теплых зим.

Таким образом, выделение типов зим по температурному режиму и оценка их повторяемости являются одним из необходимых элементов для определения динамики нивальных процессов в Хибинах. Дальнейшее направление исследований состоит в более дробной дифференциации типов зим с учетом внутрисезонного хода температуры воздуха, ветрового режима, выражаемых в особенностях развития снежной толщи, ее строения и свойств и, как следствие, в режиме снежных лавин.

## ВЫВОДЫ

Многолетний ряд метеорологических наблюдений (1936–2004 гг.) по суммам среднемесячных значений температуры воздуха зимнего периода (м/с Юкспор и ГЛС Центральная), расположенных вблизи зон зарождения снежных лавин и водоснежных потоков, разделен на четыре типа температурного режима зимнего периода – умеренно холодные, умеренно теплые, аномально холодные и аномально теплые зимы. Преобладают умеренно теплые зимы (41 %), затем по повторяемости идут умеренно холодные (25 %), аномально теплые (18 %) и аномально холодные (16 %). Для разных типов зим рассчитаны параметры лавинной активности по числу дней с лавиноопасными ситуациями, суммарным и средним объемами лавин. Наибольшее число лавин (58) приходится на аномально теплые зимы, а наименьшее – на умеренно теплые зимы. Тренды рядов параметров лавинной активности имеют различную направленность, что связано с изменением повторяемости различных типов зим.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 04-05-65057).

## Литература

- География лавин** / Под ред. С.М. Мягкова, Л.А. Канаева. М., Изд-во МГУ, 1992, 331 с.
- Трошкина Е.С.** Лавинный режим горных территорий СССР. М., ВИНТИ, 1992, 196 с.

Поступила в редакцию  
20 марта 2006 г.