НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ

Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 2, с. 77—83

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

УДК 551.578.46(215017)

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ В ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ ОБЛАСТЯХ
(*на примере Большого Кавказа*)

Л. М. Китаев

Институт географии РАН, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия

Исследуются особенности изменчивости снегозапасов Большого Кавказа и Предкавказья. Выделяются сочетания крайних значений снежности горной и предгорной территорий, оценивается их гидрологическая значимость.

Снежный покров, снежность, экстремальные сочетания параметров, гидрологическая значимость

EXTREME FEATURES AND HYDROLOGICAL ROLE OF SNOW ACCUMULATION IN MOUNTAINS AND PIEDMONT AREAS
(*by the example of Big Caucasus*)

L. M. Kitaev

Institute of Geography RAS, Moscow, 109017, Staromonetniy per., 29, Russia

The features of snow cover variability of Big Caucasus and its piedmont areas (Ciscaucasia) are studied. The combinations of extreme values of mountain and piedmont areas snowiness are calculated. The significance of this combination for local river regime is estimated.

Snow cover, snowiness, extremal combinations of the parameters, hydrological regime

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время потепление климата, сопровождающееся ростом не только зимних температур, но и осадков [*Climate change..., 2001; Мещерская и др., 1995*], должно иметь свое отражение в особой гидрологической роли снега горных систем и предгорий, где весеннее половодье формируется за счет снегозапасов как горных, так и равнинных участков. Нами уже проведены региональные оценки изменчивости высоты снега и его водного эквивалента в отдельности для равнинных территорий и получены результаты сопоставления изменений снегозапасов гор и предгорий на примере Большого Кавказа и Предкавказья [*Володичева и др., 2002; Кренке и др., 2000*]. Целью данной работы является выявление экстремальных ситуаций снегонакопления и их потенциального влияния на поверхностный сток в орографической системе „горы—предгорья“.

В качестве примера рассмотрены Большой Кавказ и Предкавказье, которые ограничены нами северным склоном Большого Кавказа на юге, Черным и Каспийским морями на западе и востоке, а на севере — нижним течением Волги и Дона, до Волго-Донского канала. В целях детального анализа в границах Большого Кавказа выделены Западный и Центральный меридиональные секторы, южный и северный склоны. Исходные данные представлены материалами наблюдений за мощностью снежного покрова в 1966—1989 гг. по метеостанциям в количестве около 60 для Предкавказья и 27 для Большого Кавказа. Из них одна — Казбеги (высокогорная) находится на высоте 3653 м; две — Бермамыт и Мамисонский перевал (высокогорная) — на 2500—3000; шесть метеостанций расположены на высотах 2000—2500; семь — на 1500—2000, еще шесть — на 1200—1500 и пять — в горных долинах и котловинах, ниже 1200 м. Семь из использованных метеостанций расположены в западном секторе Большого Кавказа, двадцать — в центральном. В качестве основной исходной информации для каждой метеостанции рассматриваются рассчитанные средние мощности снега за зимний период (октябрь—апрель), что связано с недостатком данных маршрутных наблюдений за запасами воды в снежном покрове в горах.

МНОГОЛЕТНИЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СЛУЧАИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

В соответствии с общей климатической ситуацией, среднемноголетняя средняя за зимний

Таблица 1. **Характеристики снежного покрова районов Большого Кавказа и Восточно-Европейской равнины (1966—1989 гг.)**

Регион	Мощность снежного покрова (см)			Стандартное отклонение	Тренд (см/год)
	средняя	минимум	максимум		
Большой Кавказ в целом	54	26	108	19,9	+0,417
Северный склон Большого Кавказа	20	7,10	48	9,1	+0,180
Южный склон Большого Кавказа	75	36	148	27,9	0,831
Центральный сектор Большого Кавказа	43	22	89	16,3	+0,239
Западный сектор Большого Кавказа	78	38	142	27,8	+0,456
Восточно-Европейская равнина в целом	9,14	4,00	13,00	2,06	+0,055
Предкавказье	1,71	0,17	3,93	0,99	+0,003

период мощность снега Большого Кавказа значительно превышает мощность снега Предкавказья — в среднем соответственно 54 и 2 см (табл. 1, рис. 1). Особенно велика мощность снежного покрова северного склона Большого Кавказа и его западного меридионального сектора (36—38 см). Изменчивость средних за зиму снегозапасов отдельных частей Большого Кавказа синхронна. Многолетний ход мощности снега Предкавказья и Восточно-Европейской равнины в целом различен так же, как многолетние изменения мощности снега равнинных территорий не совпадают с изменениями снегозапасов Большого Кавказа.

Сходство многолетних изменений мощности снега гор и предгорий состоит в наличии положительного многолетнего тренда в период 1966—1999 гг. Для Большого Кавказа в целом он составляет +0,417, для Восточно-Европейской равнины в целом — +0,005 и для Предкавказья — +0,003 см/год. Различия в величине тренда соответствуют различиям изменчивости мощности снежного покрова. Наибольшая скорость изменений мощности снега в пределах Большого Кавказа отмечена на его южном склоне, минимальная — на северном (соответственно +0,831 и +0,180 см/год).

Наряду с реальными значениями мощности снежного покрова, особенности снегонакопления были охарактеризованы изменениями снежности зим [*Галахов, 1961; Олейников, 1982; Олейников и др., 2000*]. Для этого нами применялись отклонения средних за зиму величин мощности снега от многолетней нормы в процентах. Для анализа экстремальных значений мы использовали следующие *типы снежности зим*:

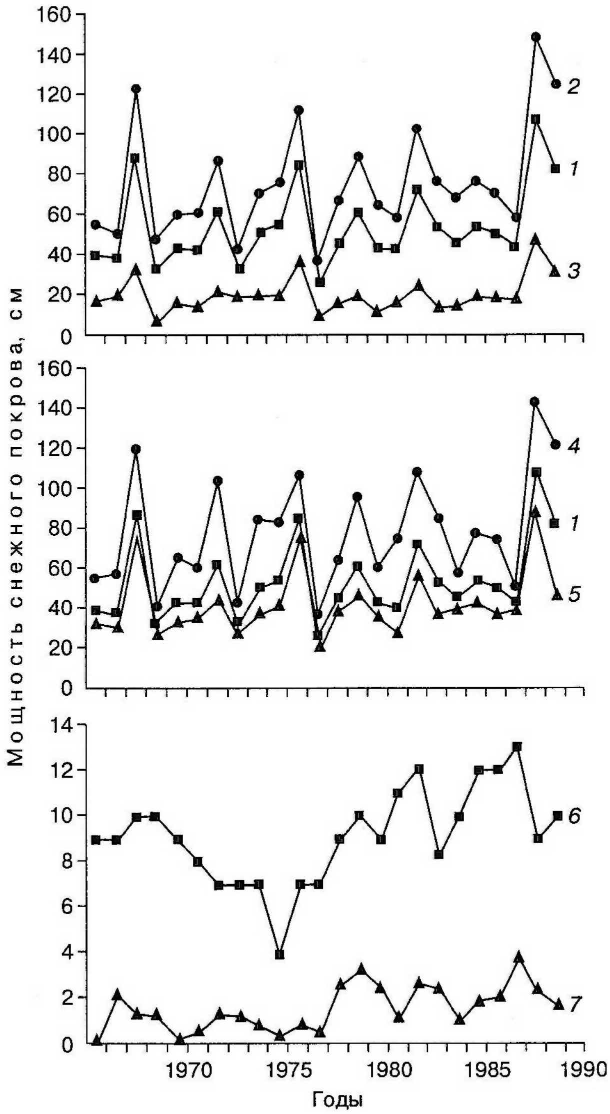

Рис. 1. Многолетняя изменчивость мощности снежного покрова.

1 — Большой Кавказ в целом, *2* — южный склон, *3* — северный склон, *4* — западный долготный сектор, *5* — восточный долготный сектор, *6* — Восточно-Европейская равнина в целом, *7* — Предкавказье.

< –30 — малая,

–30—+30 — средняя,

+30—+100 — многоснежная,

> +100 — аномально многоснежная.

В данном случае средними по снежности считаются зимы, когда аномалии этого показателя отличаются от многолетней нормы, за которую при наличии данных принят период 1966—1989 гг., и не превышают 30 % [*Олейников, 1982*]. Эта величина близка к коэффициенту вариации для межгодовой изменчивости осредненных по большим территориям данных о толщине снега на станциях. Возможность использования выделенных типов снежности может быть обоснована, в частности, их сходством с изменениями реальных значений мощности снежного покрова и соответствием их многолетней обеспеченности для всех рассматриваемых регионов (рис. 2). Крайние и средние значения снежности здесь соответствуют крайним и средним значениям обеспеченности.

Проведенные нами исследования [*Володичева и др., 2002*] показали, что в аномальные годы для Большого Кавказа превышение нормы может составлять 280—480 %, что характерно для метеостанций, расположенных в относительно малоснежных частях горной системы (станции Даргавс и Дарьяли). Для многоснежных станций относительная изменчивость наоборот низкая — 30—45 %. Для наиболее многоснежного района Кавказа — района метеостанции Ачишхо — максимальное отклонение наблюдалось зимой 1986/87 г. и равнялось только 66 %. Для Восточно-Европейской равнины превышение нормы более чем на 200 % не является редкостью и, аналогично горным условиям, характерно прежде всего для малоснежных территорий — Предкавказья, среднего течения Дона и Днепра, Прибалтики. Так, например, в экстремальную по снежности зиму 1986/87 г. на многих метеостанциях юга Восточно-Европейской равнины (Луганск, Запорожье, Ростов-на-Дону, Мелитополь и др.) превышение снегозапасов по отношению к норме составило 500—700 %.

При сравнении данных отдельных метеостанций не удалось выявить соответствия соотношений снежности в рамках установленной нами типизации. Осредненная по территории снежность также имеет частые расхождения в аномалиях на равнинах и в горах Кавказа — даже знаки аномалий различались в половине случаев. Между равнинами Предкавказья и северным склоном Большого Кавказа знаки аномалий различались в 40 % случаев. В эти годы избыток или дефицит снегового питания рек в горах компенсировался противоположными аномалиями снега на равнинах, где слой аккумуляции снега меньше, но площадь намного больше, чем в горных частях бассейнов.

Определенные соотношения снежности горной и равнинной частей исследуемой территории могут проявляться в формировании экстремальных гидрологических ситуаций в системе „горы—предгорья“. Конечно, при этом состояние снежного покрова является лишь одним из гидрологических факторов, но немаловажным и определяющим.

В качестве *экстремальных сочетаний* осредненной по соответствующим горным и равнинным регионам *снежности* нами приняты следующие:

1) аномально низкое — <–30 в горах и <–30 % в предгорьях,

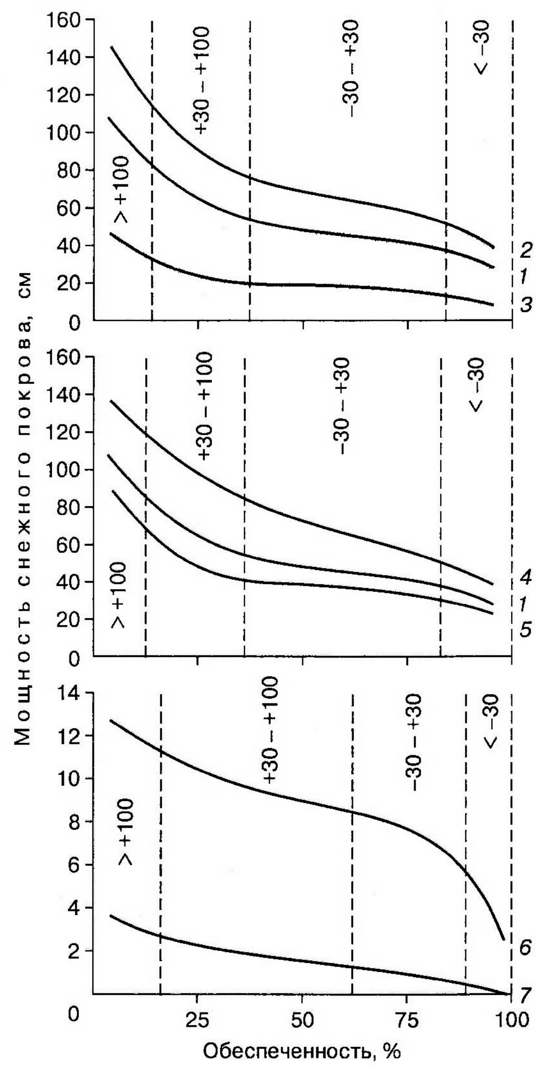

Рис. 2. Многолетние изменения мощности снежного покрова по обеспеченности и границы значений типов снежности.

Усл. обозн. см. рис. 1.

2) низкое первого типа: <–30 в горах и –30—+30 % в предгорьях,

3) низкое второго типа: –30—+30 в горах и <–30 % в предгорьях,

4) большое первого типа: +30—+100 в горах и >+100 % в предгорьях,

5) большое второго типа: >+100 в горах и +30—+100 % в предгорьях,

6) аномально большое: >+100 в горах и >+100 % в предгорьях.

В период 1966—1989 гг. все сочетания имели место, за исключением последнего, причем при сравнении Предкавказья с разными регионами Большого Кавказа видно, что многие годы повторяются (табл. 2). Для всех сравниваемых регионов

Таблица 2. **Годы с экстремальными соотношениями снегозапасов Большого Кавказа и Предкавказья**

Соотношение снежности	Снежность, %	Годы с соответствующим соотношением снежности				
		Большой Кавказ в целом — Предкавказье	Северный склон Большого Кавказа — Предкавказье	Южный склон Большого Кавказа — Предкавказье	Центральный сектор Большого Кавказа — Предкавказье	Западный сектор Большого Кавказа — Предкавказье
Малая—малая	<–30 <–30	1972–1973	1970–1971 1976–1977	1976–1977	1976–1977	1976–1977
Малая—средняя	<–30 –30—+30	1968–1969 1972–1973	1968–1969	1968–1969 1972–1973 1980–1981	1968–1969 1972–1973 1980–1981	1968–1969 1972–1973
Средняя—малая	–30—+30 <–30	1965–1966 1969–1970 1970–1971 1973–1974 1974–1975 1983–1984	1965–1966 1969–1970 1973–1974 1974–1975 1983–1984	1965–1966 1969–1970 1970–1971 1973–1974 1974–1975 1983–1984	1965–1966 1969–1970 1970–1971 1973–1974 1974–1975 1983–1984	1965–1966 1969–1970 1970–1971 1973–1974 1974–1975 1983–1984
Большая—аномально большая	+30—+100 >+100			1978–1979 1986–1987	1978–1979 1986–1987	1978–1979
Аномально большая — большая	>+100 +30—+100	1987–1988	1987–1988	1987–1988	1987–1988	
Аномально большая — аномально большая	>+100 >+100					

были рассчитаны средние среднезимние мощности снега для соответствующих этим соотношениям лет (рис. 4). По всем случаям их величина колеблется от 7 до 30 см для Большого Кавказа и от 0,7 до 2,7 см для Предкавказья. Далее, по имеющимся в нашем распоряжении данным маршрутных наблюдений для каждого случая была рассчитана средняя плотность снежного покрова по запасам воды в снеге. Диапазон ее изменений составил от 0,19 до 0,22 г/см^3. В отличие от равнины данная величина менее достоверна для горной территории, поскольку ввиду малого количества горных станций с наблюдениями плотности снега использованы немногочисленные данные как Кавказа, так и западных отрогов Памира и Тянь-Шаня. Общее количество станций при этом колеблется от года к году в течение исследуемого периода – от 6 до 40 за разные годы. И таким образом удалось оценить запас воды в снежном покрове в миллиметрах и в кубических километрах с учетом площади при отсутствии таковых величин в исходных данных для горных территорий.

Естественно, что наибольшие снегозапасы характерны для случаев соотношения большой и аномально большой снежности зим горных и равнинных территорий (четвертый и пятый случаи сочетаний), наименьшие — при повсеместной малой снежности зим (рис. 3). Оба эти случая могут быть опасны или экстремальным недостатком снежной составляющей весеннего половодья, или ее крайней избыточностью. Данные сочетания представлены одним, редко двумя годами за период 1966—1989 гг., т. е. 4 – редко 8 % от всех лет.

Наиболее представительно по количеству случаев соотношение средней снежности зим в горах и малой на равнине (третий случай сочетаний) — шесть лет или 25 % от всего периода. Это, в частности, связано со значительной, особенно в горных условиях, временной вариабельностью именно малых и средних снегозапасов. В данном случае вклад снежной составляющей в водный баланс в целом и в весеннее половодье в частности может быть достаточным и, вероятно, в редких случаях опасно большим при неблагоприятном сочетании особенностей состояния почвы и климатических параметров в период половодья.

И, наконец, отсутствие опасности возникновения экстремальных гидрологических ситуаций в предгорьях будет иметь место в случаях с малой снежностью в горах и средней снежностью равнинной территории (второй случай сочетания). Реальные запасы воды в снежном покрове Предкавказья в данном случае малы, относительно невелики и горные снегозапасы. В этом случае не следует ожидать как экстремальных пиков весеннего половодья, так и экстремального недостатка количества поверхностных вод. Данное сочетание снежности зим представлено для всех случаев двумя—тремя годами (см. табл. 2), т. е. 8—12 % от всего периода.

Особое внимание нами было уделено сочетаниям условий снегонакопления Большого Кавказа и Предкавказья в целом, а также Предкавказья и северного склона Большого Кавказа как наиболее значимых для оценки потенциальных экстремальных гидрологических ситуаций густонаселенных сельскохозяйственных районов. Для обоих случаев с учетом площади были рассчитаны объемы средних за зиму запасов воды в снеге в среднем для лет, соответствующих каждому сочетанию (см. рис. 4).

Для всей территории крайние по значимости сочетания имеют значения снегозапасов по минимуму — 4,6 для Большого Кавказа и 1,0 км^3 для Предкавказья, по максимуму — 21,8 и 1,8 км^3 и соответственно в сумме — 5,6 и 23,6 км^3. Для северного склона Большого Кавказа и Предкавказья крайние по значимости сочетания имеют значения снегозапасов по минимуму — 1,2 (северный склон) и 0,5 км^3 (Предкавказье) и по максимуму — 3,9 и 1,2 км^3. В сумме это составляет соответственно 1,7 и 6,6 км^3. Каждому сочетанию для рассматриваемых регионов соответствуют один, редко два года за 1966—1989 гг., т. е. вероятность появления потенциально крайне избыточной или недостаточной водной составляющей весеннего половодья составляет 4 – редко 8 % соответственно.

При этом среднемноголетний годовой речной сток для Большого Кавказа составляет около 30 км^3, для Предкавказья — около 5 км^3 [*Resources and Environment, 1998*], т. е. в сумме около 35 км^3. Среднемноголетний годовой сток северного склона Большого Кавказа можно оценить примерно в 15 км^3, что в сумме со стоком Предкавказья составит около 20 км^3. И, таким образом, по годам крайних значений сочетаний снежности запасы воды в снеге составляют для Большого Кавказа и Предкавказья в целом около 16 % по минимуму и 67 % (что весьма существенно) по максимуму от среднемноголетнего речного стока территории. Если рассматривать территорию северного склона Главного хребта и Предкавказья, то доля снегозапасов от среднемноголетнего речного стока составляет здесь около 8 % по минимуму и 25 % (что также весьма значимо) по максимуму. И опять же, вероятность появления этих максимумов и минимумов для исследуемого периода составляет 4(8) %.

Совпадение абсолютных минимумов или максимумов снежности горных территорий и предгорий за период 1966—1989 гг. не встречалось. Но оценка такой ситуации, как, в принципе, потенциально возможной, представляет определенный интерес. Минимум снежности Большого Кавказа за этот период составляет –51 % или 2,7 км^3 (зима 1976/1977 г.), его северного склона –64 % или 0,8 км^3 (зима 1968/1969 г.). Максимумы снежности Большого Кавказа и его северного склона составляют соответственно +101 % или 103 км^3 и +138 % или 5,3 км^3 (зима 1987/1988 г.). Экстремальная снежность Предкавказья имеет значения по минимуму –90 % или 0,14 км^3 (зима 1965/1966 г.) и по максимуму +130 % или 1,43 км^3 (зима 1986/1987 г.). Следовательно, при совпадении абсолютных экстремумов снежности Большого Кавказа и Предкавказья их снегозапасы в сумме могут составить по минимуму 2,8 км^3 или 8 % от среднемноголетнего годового стока рек данной территории и по максимуму — 104 км^3, что

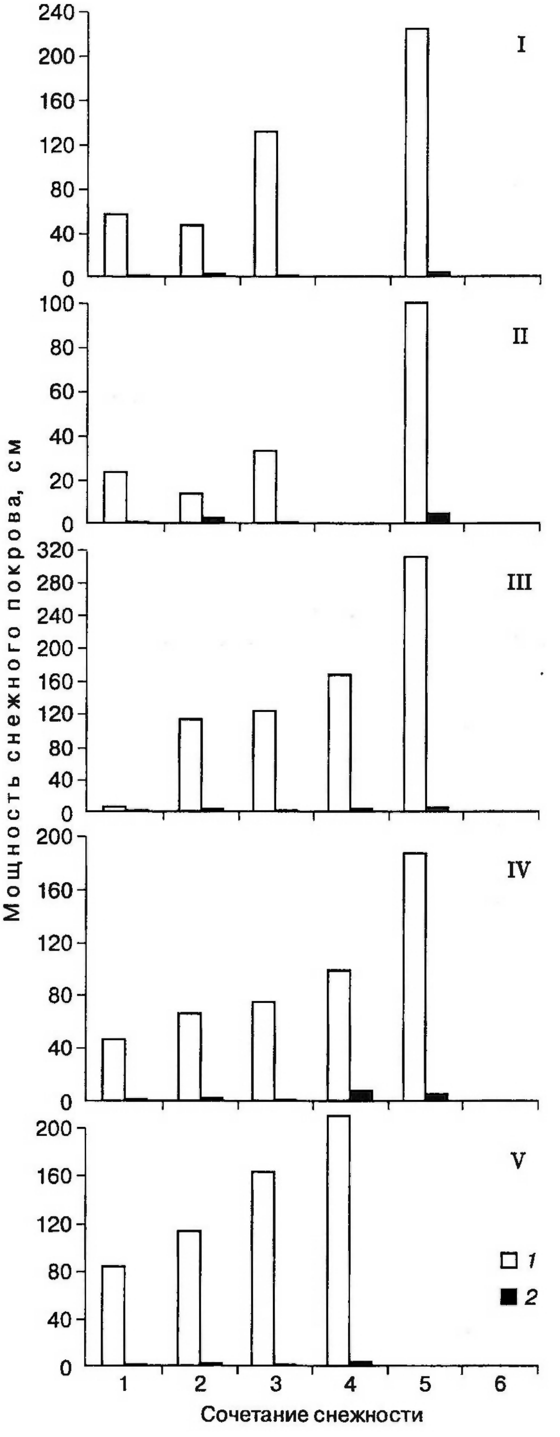

Рис. 3. Мощность снежного покрова для крайних сочетаний снежности регионов Большого Кавказа (*1*) и Предкавказья (*2*).

I — Большой Кавказ в целом и Предкавказье, II — северный склон и Предкавказье, III — южный склон и Предкавказье, IV — центральный долготный сектор и Предкавказье, V — восточный долготный сектор и Предкавказье. Крайние соотношения снежности с 1 по 6 указаны в тексте.

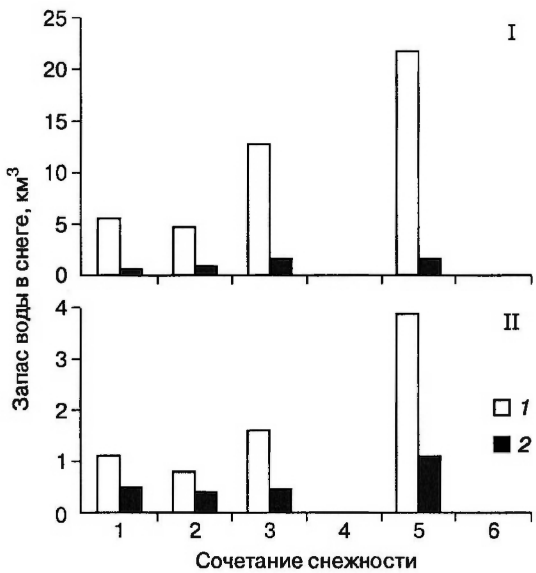

Рис. 4. Запасы воды в снеге для крайних сочетаний снежности регионов Большого Кавказа (*1*) и Предкавказья (*2*).

I — Большой Кавказ в целом и Предкавказье, II — северный склон и Предкавказье. Крайние сочетания снежности с 1 по 6 соответствуют рис. 3.

превышает среднемноголетний годовой сток в три раза. Для территории северного склона Большого Кавказа и Предкавказья, в случае совпадения экстремумов снежности, снегозапасы могут составить по минимуму 0,94 км^3 или 5 % от среднемноголетнего годового стока рек этого региона и по максимуму — 5,7 км^3 или 28 % от среднемноголетнего речного стока.

ВЫВОДЫ

Анализ данных мощности снежного покрова показал отсутствие синхронности ее многолетних изменений (1966—1989 гг.) для Большого Кавказа и для Предкавказья. Вместе с тем везде имеет место положительный тренд изменчивости — +0,417 для Большого Кавказа и +0,003 см/год для Предкавказья, что согласуется с общими тенденциями потепления и сопряженного с ним увеличения годовых и зимних осадков.

Выявлены региональные особенности распределения снежности. Снегозапасы Большого Кавказа существенно превышают снегозапасы предгорий. Снегозапасы южного макросклона Главного Кавказского хребта больше снегозапасов северного склона, а в западном долготном секторе горной системы снега накапливается больше, чем в центральном. Такое пространственное распределение соответствует особенностям массового прохождения циклонов с юго-запада на северо-восток.

Выделены крайние сочетания снежности Большого Кавказа и его регионов со снежностью Предкавказья — это комбинации снежности малой и средней, большой и аномально большой. Для лет, мощность снега которых соответствует конкретным соотношениям, рассчитаны средняя высота, слой стока и, с учетом площади, объем воды в снежном покрове. По годам крайних значений сочетаний снежности, запасы воды в снеге составляют для Большого Кавказа и Предкавказья в целом около 16 % по минимуму и 67 % по максимуму от среднемноголетнего речного стока территории. Вероятность появления таких максимумов и минимумов для периода 1966—1989 гг. составляет 4(8) %. Доля снегозапасов от среднемноголетнего годового речного стока для крайних сочетаний снежности северного склона Главного хребта и Предкавказья составляет около 8 % по минимуму и 25 % по максимуму. Вероятность этих максимумов и минимумов для исследуемого периода также составляет 4(8) %.

Наиболее представительно по количеству случаев соотношение средней снежности зим в горах и малой снежности на равнине — шесть лет или 25 % от периода 1966—1989 гг. Запасы воды в снежном покрове в этих случаях достаточны для обеспечения среднего объема весеннего половодья и, вероятно, в редких случаях могут быть экстремальными — при неблагоприятном сочетании особенностей состояния почвы и климатических параметров в период половодья.

И наконец, рассмотрен гипотетический случай совпадения абсолютно экстремальной снежности Большого Кавказа и его северного склона с абсолютно экстремальной снежностью Предкавказья. При совпадении абсолютных экстремумов снежности их снегозапасы в сумме могут составить по минимуму 8 % от среднемноголетнего годового стока рек данной территории и превышать среднемноголетний годовой речной сток в три раза по максимуму. Для территории северного склона Большого Кавказа и Предкавказья в случае совпадения экстремумов снежности снегозапасы могут составить по минимуму 5, по максимуму 28 % от среднемноголетнего годового речного стока.

Таким образом, для Большого Кавказа и его предгорий выявлены значения снежности, определяющие в 4—8 % случаев крайнюю недостаточность или избыточность влаги. Выявлены значения снежности, которые гипотетически могут формировать катастрофическое увлажнение или иссушение территории. Для изучения конкретного влияния данных снегозапасов на параметры водного баланса и, в частности на речной сток в период весеннего половодья, необходимо отдельное исследование с привлечением данных о климатических параметрах зимнего и весеннего сезонов, особенностях промерзания почвы и ряда других. Таковые работы планируются нами в перспективе.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 01-05-64383).

Литература

Володичева Н.А., Китаев Л.М., Кренке А.Н., Олейников А.Д. Сравнение межгодовых изменений снежности на Кавказе и Восточно-Европейской равнине // Тез. гляциол. симп. „Будущее гляциосферы в условиях меняющегося климата". Пущино, 2002, с. 7.

Галахов Н.Н. Выделение типов зим по высоте и динамике снежного покрова на большей части СССР // Роль снежного покрова в природных процессах. М., 1961, с. 11–26.

Кренке А.Н., Разуваев В.Н., Китаев Л.М. и др. Снежность на территории СНГ и его регионов в условиях глобального потепления // Криосфера Земли, 2000, т. IV, № 8, с. 97–106.

Мещерская А.В., Белянкина И.Г., Голод М.П. Мониторинг толщины снежного покрова в основной зернопроизводящей зоне бывшего СССР за период инструментальных наблюдений // Изв. РАН. Сер. геогр., 1995, № 4, с. 71–78.

Олейников А.Д. Применение существующих методов типизации зим для целей лавиноведения // Материалы гляциол. исслед., 1982, вып. 45, с. 70–76.

Олейников А.Д., Володичева Н.А., Бояршинов А.В. Снежность зим и лавинная деятельность на Большом Кавказе за период инструментальных наблюдений // Материалы гляциол. исслед., 2000, вып. 88, с. 74–82.

Climate change 2001. The scientific basis / Ed. J.T. Hoghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al. Cambrige Univ. Press, 2001, 881 p.

Resources and Environment. World Atlas, vol. 1 / Ed. Holzel. Russian Academy of Sciences, Institute of Geography, Moscow; Austrian Institute of East and Southeast European Studies, Vienna, 1998, 104 p.

Поступила в редакцию
23 декабря 2002 г.