

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

УДК 551.578.46:551.509.314

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА
ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ СНЕГОЗАПАСОВ

Л. М. Китаев, В. Н. Разуваев*, Р. А. Мартуганов*

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

** Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации —
Международный центр данных, 249020, Обнинск, ул. Королева, 6, Россия*

Исследована статистическая связь между основными измеряемыми параметрами снежного покрова: высотой снежного покрова по постоянным рейкам, высотой снега и снегозапасами по маршрутным снегосъёмкам. Регрессионные зависимости имеют достаточный уровень значимости для региональных расчетов снегозапасов по измеряемым по постоянным рейкам высотам снега.

Высота снега, запасы воды в снежном покрове, наблюдения по постоянным рейкам и на маршрутных снегосъёмках, регрессия

INTERCONNECTION OF THE SNOW COVER PARAMETERS IN REGIONAL ESTIMATION OF SNOWINESS

L. M. Kitaev, V. N. Razuvaev*, R. A. Martuganov*

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

** All-Russian Scientific Research Institute of the Hydrological and Meteorological Information —
World Data Center, 249020, Obninsk, Koroleva str. 6, Russia*

Correlation of the basic snow cover parameters has been investigated. Snow depth of racks and surveys observation and snow water equivalent from surveys observation have been analyzed. The regression dependences have a sufficient significance level for regional calculations of snow water equivalent from snow depth on using constant racks.

Snow depth, snow water equivalent, racks and surveys observations, regression

Проводимые нами в течение последних лет исследования региональной изменчивости снежного покрова как индикатора изменений климата направлены на изучение состояния окружающей среды в целом. К сожалению, в последние годы намечился дефицит необходимых для анализа данных наземных режимных наблюдений за параметрами снежного покрова. Прежде всего, это касается данных снегомерных наблюдений и, в частности, важного для балансовых гидрологических оценок запаса воды в снеге. Ниже представлены результаты исследований статистической взаимосвязи параметров снежного покрова, проведенных с целью региональных оценок снегозапасов при недостатке данных снегомерных маршрутов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ,
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Правилами наблюдений на метеорологических станциях России и большинства стран СНГ определен порядок проведения ежедневно-

(ежепентадных) ландшафтных маршрутных снегосъёмок [Наставление..., 1969, 1985]. Протяженность их составляет 2 км для условий открытой местности, 1 км для лесов с большим количеством полян и 500 м для сплошного леса. В число измеряемых параметров входят высота снега (каждые 20 м маршрута, для сплошного леса — 10 м с точностью 0,5 см) и плотность (каждые 200 м, для сплошного леса — 100 м). Кроме того, проводятся ежесуточные измерения высоты снежного покрова на открытых и закрытых участках, для чего устанавливаются соответственно по три постоянные снегомерные рейки.

Стандарты наблюдений за параметрами снежного покрова, применяемые в разных странах, неодинаковы. В частности, в Канаде маршрутные наблюдения за запасами воды в снежном покрове, проводимые с начала 1930-х годов, осуществляются различными министерствами, федеральными органами, частными компаниями, связанными с использованием водных ресурсов и, естественно, метеорологической службой Ка-

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

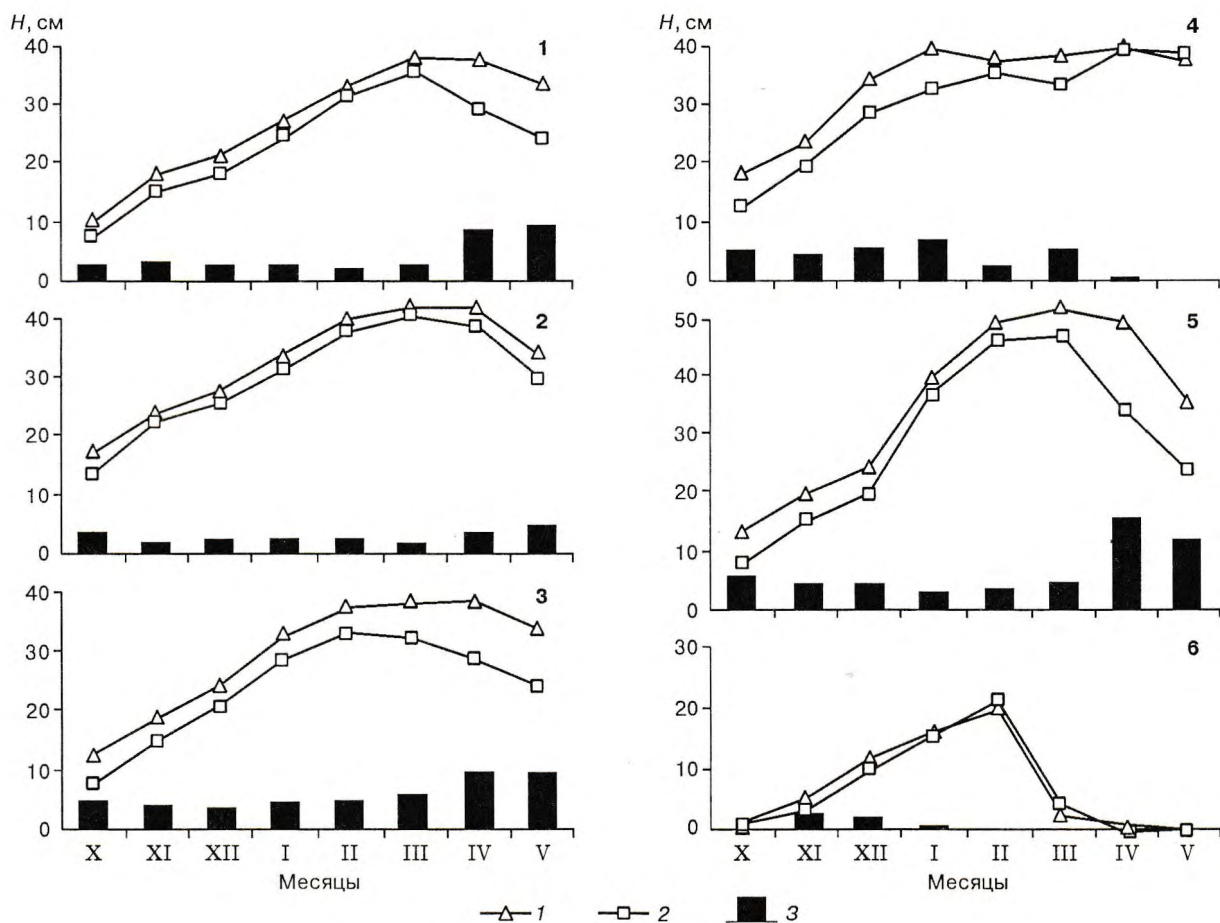


Рис. 1. Изменения среднемноголетней месячной высоты снежного покрова.

1 — на маршрутных снегосъемках, 2 — по постоянным рейкам, 3 — разница между ними; 1 — Восточно-Европейская равнина, 2 — Западная Сибирь, 3 — Восточная Сибирь, 4 — Дальний Восток, 5 — Урал, 6 — Туранская низменность и Казахстан.

нады. В результате количество замеров на маршруте колеблется от 4 до 50, отсутствует синхронность наблюдений. Однако с 1955 г. метеорологическая служба проводит унификацию данных и контроль качества информации, помещаемой в сборники результатов наблюдений [McKay, Gray, 1991; Schmidlin, 1995].

Исходя из опыта наших исследований, в настоящий момент практически для всех регионов Северного полушария с устойчивым снежным покровом наблюдается хорошая обеспеченность многолетними данными дистанционных измерений снега и относительно полными данными наземных измерений высоты снега. Доступных же для свободного использования качественных данных маршрутных измерений запасов воды в снежном покрове существенно не хватает, хотя именно водный эквивалент снега важен для верификации данных дистанционного зондирования и балансовых гидрологических расчетов различного пространственного уровня.

Именно это и послужило поводом для попытки выявления статистических связей высоты снежного покрова и запасов воды в снежном покрове, а также разработки статистического механизма расчетов последних.

В качестве исходных материалов использованы данные наземных наблюдений 1966—1990 гг. за снежным покровом на метеостанциях севера Евразии в границах бывшего СССР. Используются осредненные по декадам зимних месяцев данные измерений высоты снега по постоянным рейкам и данные ежесекундных маршрутных снегосъемок — средние по маршруту высота и плотность снега, а также запасы воды в снежном покрове.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Взаимосвязь параметров оценивалась для крупных регионов севера Евразии: Восточно-Европейской равнины, Урала, Восточной и Западной

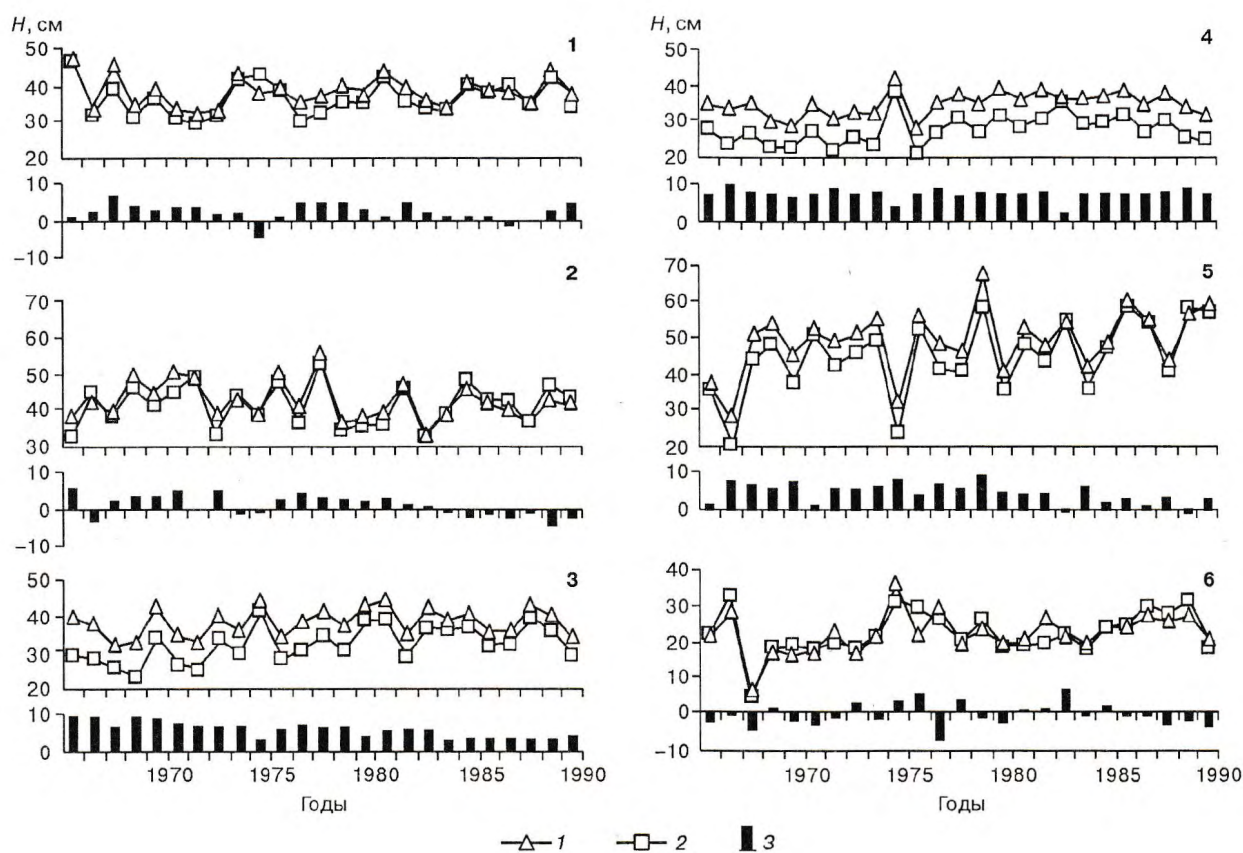


Рис. 2. Многолетние изменения высоты снега в марте.

1 — на маршрутных снегосъемках, 2 — по постоянным рейкам, 3 — разница между ними. 1—6 — см. рис. 1.

ной Сибири, Дальнего Востока, Туранской низменности и Казахстана. Для оценки сезонных изменений были рассчитаны средние многолетние величины параметров холодных месяцев — с ноября по апрель. Многолетние изменения показателей рассматривались на примере марта как одного из наиболее снежных месяцев.

Для всех регионов наблюдается соответствие сезонных и многолетних (на примере снегозапасов марта) изменений высоты снега, измеренной по постоянным рейкам и на маршрутных снегосъемках (рис. 1, 2). Как для среднемноголетних месячных значений, так и в многолетнем аспекте, высота снега на маршруте превышает высоту, измеренную на постоянных рейках, на 2—10 см. Эта разница может быть обусловлена учетом в маршрутных снегосъемках ландшафтных особенностей территории и, в частности, изменчивости рельефа.

Площадки, как правило, организуются на выровненных участках, маршрутные же снегосъемки в большей или в меньшей степени учитывают неровности рельефа, которые способствуют

увеличению снегозапасов. В пределах одной и той же метеостанции весеннее таяние снега из-за неровностей рельефа в районе проведения маршрута может происходить медленнее, по сравнению с площадкой, где установлены постоянные рейки. Так, например, балочные водосборы в бассейне р. Сейм (Курская обл.) имеют существенную разницу в скорости снеготаяния склонов разной экспозиции — разница в ходе снега южных и северных склонов может составлять 2—5 дней [Китаев, 1992]. Этой разницей в скорости снеготаяния может быть обусловлено увеличение разницы высот снежного покрова, полученных по рейке и на маршруте от января—февраля к апрелю—маю (см. рис. 1). Также, возможно, из-за большей расчлененности рельефа заметнее различия в результатах наблюдений (7—10 см) на востоке Сибири и на Дальнем Востоке (территория к востоку от Енисея), по сравнению с Восточно-Европейской равниной и Западной Сибирью (см. рис. 2).

Тем не менее можно допустить, что при проведении региональных оценок изменений

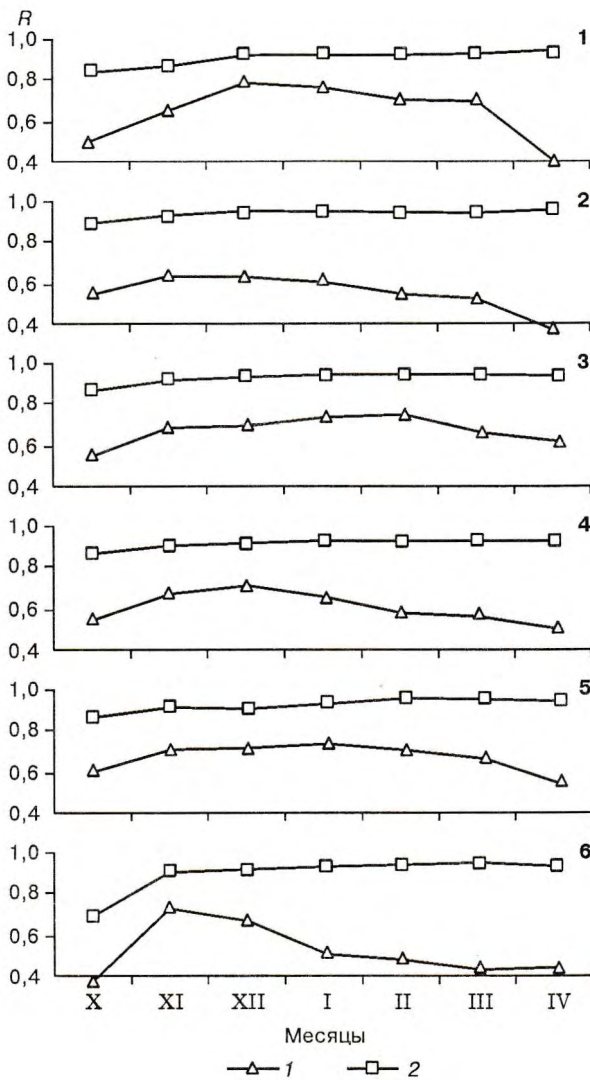


Рис. 3. Изменения среднемноголетних месячных коэффициентов корреляции.

1 — для высоты снежного покрова, измеренной на маршрутных снегосъемках и запасов воды в снеге по маршруту, 2 — для высоты снега, измеренной на маршрутных снегосъемках и по постоянным рейкам. 1—6 — см. рис. 1.

снегозапасов такие различия в результатах наблюдений высоты снега по постоянным рейкам и на снегомерных маршрутах допустимы, поскольку, по данным И. Д. Копанева [1978], многолетняя погрешность измерений высоты снежного покрова на маршрутных снегосъемках достигает 4 см для равнинных территорий севера Евразии, а в районах с неустойчивым снежным покровом на юге Восточно-Европейской равнины и в Казахстане превосходит 5 см.

Далее, для всех регионов была рассчитана корреляция между высотой снега, наблюдаемой

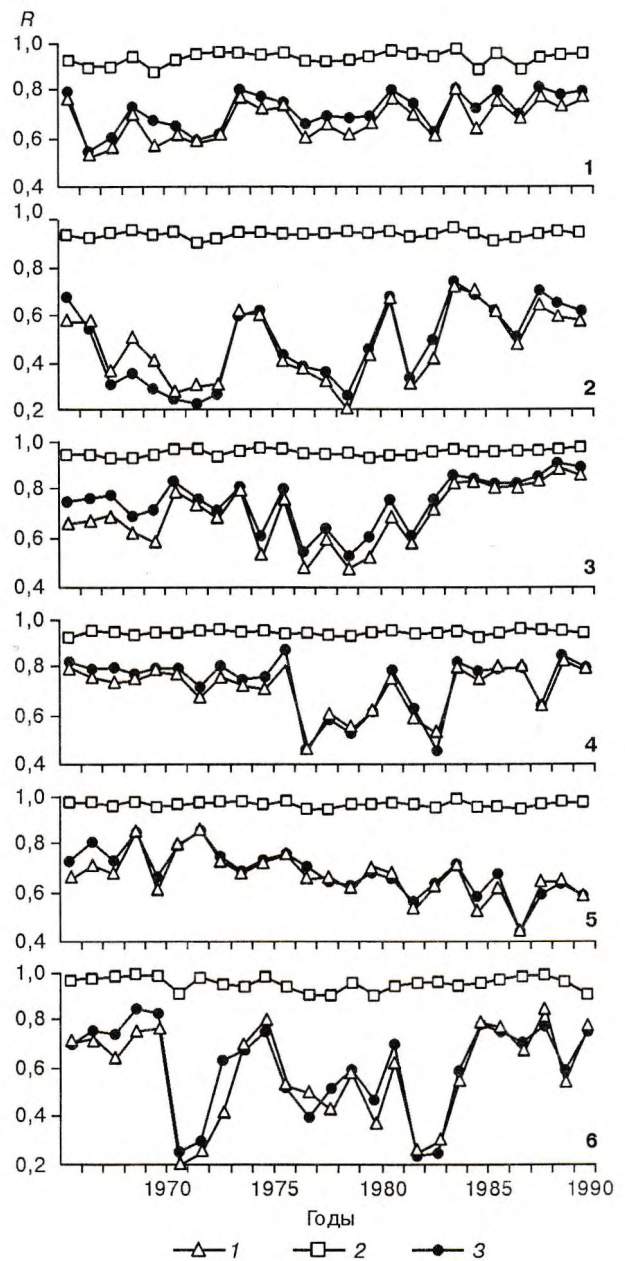


Рис. 4. Многолетние изменения коэффициентов корреляции.

1 — для высоты снежного покрова и запасов воды в снежном покрове по маршрутным снегосъемкам, 2 — для высоты снежного покрова, измеренной по постоянным рейкам и на маршруте, 3 — для высоты снежного покрова, измеренной по постоянным рейкам и запасов воды в снежном покрове по маршруту. 1—6 — см. рис. 1.

по постоянным рейкам и высотой снега на маршрутных снегосъемках. Среднемноголетние коэффициенты корреляции параметров первых зимних и весенних месяцев лежат в диапазоне 0,4 ÷ 0,6, многоснежных месяцев — в диапазоне

Связь многолетних изменений высоты снежного покрова (H , см) и запаса воды в снежном покрове (SWE , мм) для марта (маршрутные наблюдения)

Регион	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции	Квадрат коэффициента корреляции	Стандартная ошибка коэффициента корреляции
Восточно-Европейская равнина	$SWE = 2,25 \cdot H + 4,81$	0,932	0,869	17,06
Западная Сибирь	$SWE = 2,46 \cdot H - 7,03$	0,938	0,879	21,70
Восточная Сибирь	$SWE = 2,21 \cdot H - 9,73$	0,950	0,902	14,41
Дальний Восток	$SWE = 2,43 \cdot H - 13,56$	0,939	0,882	19,87
Урал	$SWE = 2,44 \cdot H - 0,002$	0,959	0,920	20,81
Туранская равнина и Казахстан	$SWE = 2,43 \cdot H + 4,63$	0,942	0,888	12,72

0,65 ÷ 0,75 (рис. 3). Такая хорошая статистическая связь может быть косвенным подтверждением изотропности поля снежного покрова [Копанев, 1978; Кислов и др., 2001] и иллюстрацией ее сезонной неоднородности, обусловленной нестабильностью снежного покрова в начале зимы и весной. Отсутствие лучших коэффициентов, по-видимому, связано с особенностями наблюдений по постоянным рейкам и на маршруте, обозначенными выше.

Для оценки тесноты связи многолетних изменений параметров также использовались данные о снежном покрове на конце марта, одного из самых многоснежных месяцев. Коэффициенты корреляции между высотами снега, измеряемыми по постоянным рейкам и на маршрутных снегосъемках, меняются от 0,40 до 0,85 (рис. 4). При существенно различном региональном разбросе коэффициентов, заметно сходство их многолетнего хода для Восточно-Европейской равнины, Урала, Туранской низменности и Казахстана, с одной стороны, и Сибири и Дальнего Востока, с другой.

Отдельно рассматривалась теснота связи многолетних мартовских изменений высоты снега, определяемых по постоянным рейкам, и запасов воды в снеге при маршрутных снегосъемках. Величина коэффициентов корреляции и их многолетняя динамика аналогичны корреляции высоты снега, измеряемой по постоянным рейкам и на маршрутных снегосъемках (см. рис. 4). Связь высот снега, наблюдаемых на маршруте, и запасов воды в снеге на маршруте в марте весьма значима — 0,85 ÷ 0,98 для всех регионов. Прежде всего, это обусловлено проведением корреляции между зависимыми выборками. Запасы воды в снежном покрове рассчитываются как произведение плотности снега и его высоты. Несмотря на определенную некорректность данной операции с точки зрения классической статистики, был проведен расчет уравнений регрессии, имеющих соответственно высокий уровень значимости (таблица).

Далее была выдвинута гипотеза о возможности использования полученных уравнений рег-

рессии для региональных расчетов запасов воды в снежном покрове по данным измерений высоты снега по постоянным рейкам. Гипотеза была проверена по имеющимся сейчас у нас в наличии независимым данным на март 1991—1996 гг. для западной и восточной частей Сибири и Дальнего Востока. Во всех случаях вычисленные значения превышают измеренные, наибольшие различия характерны для восточной части Сибири. Но в целом результат получился удовлетворительным — разница рассчитанных и вычисленных значений водного эквивалента снега за редким исключением не превышает 10 мм, т. е. в целом не более 10 % от измеренных величин (рис. 5).

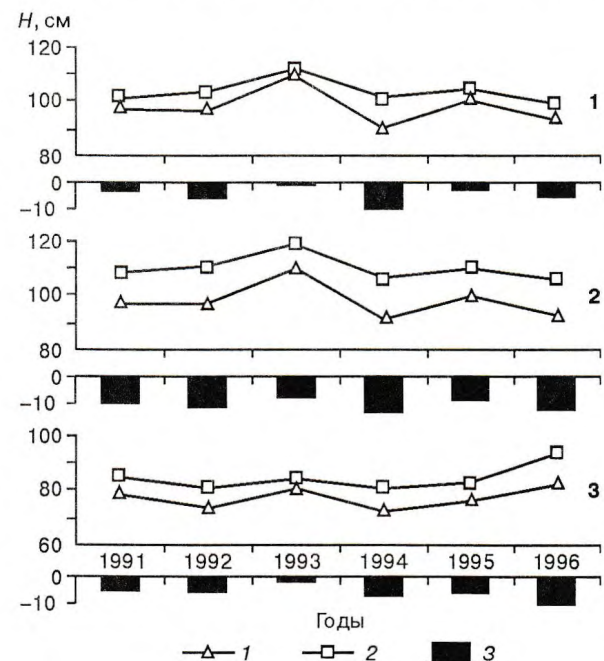


Рис. 5. Изменения в марте 1991—1996 гг. запасов воды в снежном покрове.

1 — рассчитанные по уравнениям регрессии, 2 — измеренные на снегомерных маршрутах, 3 — разница между ними; 1 — Восточная Сибирь, 2 — Западная Сибирь, 3 — Дальний Восток.

Погрешность же измерений высоты снега при маршрутных снегосъемках, оцененная И. Д. Копаневым [1978] как 4—5 см, адекватна в марте как минимум 8—12 мм водного эквивалента.

При этом следует еще раз подчеркнуть, что проведенные исследования носят региональный характер, рассматриваются при этом крупные физико-географические провинции Евразии. Именно для них справедливы выявленные закономерности. Взаимосвязь же параметров снежного покрова на локальном уровне требует отдельного рассмотрения и разработки специфических подходов.

ВЫВОДЫ

Для крупных регионов севера Евразии на период 1966—1990 гг. проведена оценка связи изменчивости наблюдаемых на метеостанциях параметров снежного покрова. Как для средне-многолетних месячных значений, так и в многолетнем аспекте для марта высота снега, измеренная на маршрутных снегосъемках, на 2—10 см превышает высоту, измеренную на постоянных рейках. Разница, вероятно, обусловлена учетом в маршрутных снегосъемках ландшафтных особенностей территории и, в частности, изменчивости рельефа.

Выявлена значимая корреляционная связь между высотой снега, измеряемой по постоянным рейкам и высотой снега на маршрутных снегосъемках. Средне-многолетние коэффициенты корреляции изменений параметров для первых зимних и весенних месяцев составляют $0,4 \div 0,6$, для многоснежных месяцев — $0,65 \div 0,75$. Коэффициент корреляции многолетних изменений параметров для марта лежит в диапазоне $0,40 \div 0,85$. Такая значимая корреляция может, в частности, иллюстрировать изотропность поля снежного покрова.

Имеет место также тесная связь между высотой снега на маршруте и запасами воды в снежном покрове — коэффициенты корреляции

в диапазоне $0,85 \div 0,98$. Такие высокие показатели связаны, в частности, с анализом зависимых выборок, что не совсем корректно с точки зрения статистики. Тем не менее для каждого региона рассчитаны уравнения регрессии, с помощью которых, используя значения высоты снежного покрова, можно рассчитать запасы воды в снеге. Проверка значимости уравнений регрессии проведена на независимых данных для марта 1991—1996 гг. в северной и восточной частях Сибири и Дальнего Востока. Рассчитанные по высоте снега, наблюдаемой по постоянным рейкам, запасы воды в снеге отличаются от реальных в целом не более чем на 10 см или 10 %. Ввиду имеющегося на сегодня дефицита данных маршрутных снегосъемок, предлагаемые уравнения регрессии могут быть с определенной осторожностью использованы для региональных оценок запасов воды в снеге по материалам наблюдений на постоянных рейках.

Работа проведена в соответствии с программой GEWEX/BALTEX при поддержке Миннауки РФ (контракт № 43616111627), ИНТАС (проект 01-0077) и программы „Интеграция“.

Литература

- Кислов А.В., Китаев Л.М., Константинов И.С. Статистическая структура крупномасштабных особенностей поля снежного покрова // *Метеорология и гидрология*, 2001, № 1, с. 99—104.
- Китаев Л.М. Пространственно-временная структура поверхностного стока и связанных с ним процессов эрозии и аккумуляции в гидрологических системах центральной лесостепи // *Геоморфология*, 1992, № 4, с. 64—72.
- Копанев И.Д. Снежный покров на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1978, 180 с.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеиздат, 1969, 151 с.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеиздат, 1985, 164 с.
- McKay G.A., Gray D.M. The distribution of snow cover // *Handbook of Snow: Principles, Processes, Management and Use* / Eds. D. M. Gray, D. H. Male. Pergamon, 1991, p. 153—190.
- Schmidlin T.W. Automated quality control procedure for the „water equivalent of snow on the ground“ measurement // *J. Appl. Meteorol.*, СМО, Fairbenks, Alaska, 1995, vol. 34, p. 143—151.

Поступила в редакцию
10 февраля 2002 г.