

06
Т 78

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

Т Р У Д Ы
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
имени А. И. Воейкова

ВЫПУСК 130

МЕТОДИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ
(СНЕГОМЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ)

Под редакцией
канд. геогр. наук
И. Д. КОПАНЕВА

БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1962

АННОТАЦИЯ

Настоящий сборник содержит статьи по вопросам усовершенствования сетевых наблюдений над снежным покровом и их обработки; предназначен для специалистов метеорологов, работающих в управлениях Гидрометслужбы и на сети гидрометеорологических станций.

О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДИСКРЕТНЫМ ДАННЫМ

В статье рассматривается вопрос о точности замены значения некоторого метеорологического элемента, осредненного по территории, средним арифметическим из дискретного ряда наблюдений. Полученные выводы применены к вопросам рационализации снегомерных съемок.

Как известно, данные о высоте снежного покрова в отдельной точке не представляют существенного интереса. Для большинства приложений важны лишь значения, осредненные по той или иной площади. Можно говорить о трех различных масштабах таких площадей.

Для гидрологических целей наибольшее значение имеет осреднение по бассейнам крупных рек. Это, вероятно, наибольший масштаб, по которому может требоваться осреднение характеристик снежного покрова.

Наименьшим является масштаб участка, по которому непосредственно производится снегосъемка. Наконец, существует еще промежуточный масштаб, а именно масштаб такого района, для которого участок снегосъемки принимается репрезентативным.

Ниже рассматриваются вопросы осреднения высоты снежного покрова по двум последним масштабам. Что же касается масштабов бассейна рек, то получаемые ниже выводы применимы в той или иной мере и к ним, однако практическая их реализация возможна лишь при наличии данных о крупномасштабной статистической структуре характеристик снежного покрова.

В литературе укоренились, начиная, насколько нам известно, с работы М. А. Великанова [1], следующие представления. Если имеются данные наблюдений о высоте снежного покрова h в n точках и если дисперсия высоты h на изучаемой территории равна σ^2 , то средняя квадратическая ошибка определения средней на любой однородной территории по этим данным равна

$$P_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (1)$$

Между тем формула (1) верна только в том случае, когда между значениями h в различных точках нет никакой статистической связи. Материалы исследований, выполненных значительно позже работы [1], показывают, что в действительности на расстояниях, предусмотренных действующими инструкциями по производству снегосъемок, корреляция значений h существенно положительна. Благодаря наличию такой корреляции среднее значение по территории самого участка снегосъемки

может быть известно с большей точностью, чем согласно формуле (1), а значение h , осредненное по достаточно обширному району, будет известно с меньшей точностью.

Действительно, среднее значение h по той самой территории, на которой проводится съемка, является средним не из независимых, а из связанных друг с другом величин и потому принципиально доступно определению с большей степенью точности. Следствием этого является хорошо известный факт, что среднее, например из 50 измерений h в точках, расположенных через 20 м на периметре треугольного маршрута, обеспечивает, как правило, ту же точность, что и среднее из 100 измерений через 10 м.

С другой стороны, распространяя среднее по некоторой территории на другую, значительно большую территорию, мы должны считаться с тем, что наше среднее получено по связанном друг с другом данным и потому в нем содержится меньше информации, чем это было бы при отсутствии связи. В результате и точность такого распространения намного ниже, чем по формуле (1). Последний вывод чисто эмпирическим путем был получен И. С. Шпаком [2], который заключил, что ошибки

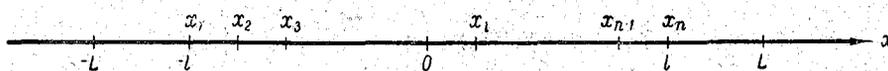


Рис. 1. Схема расположения точек измерения.

определения средней по территории в этом случае в несколько раз превышают их оценки по формуле (1).

Хотя сформулированные положения в качественном отношении совершенно ясны, практическая значимость их существенно зависит от их количественного содержания. Ряд оценок на этот счет был произведен в работе [3]. Нашей целью является более обстоятельное количественное рассмотрение данного вопроса.

Чтобы не усложнять выкладки, будем рассматривать одномерную задачу. Решение двухмерной задачи связано с некоторыми дополнительными трудностями чисто вычислительного характера. Что касается общих выводов, то они одинаковы для одномерной и двухмерной задач. Более того, в количественном отношении влияние статистических связей сказывается в двухмерном случае сильнее, чем в одномерном.

Сформулируем задачу следующим образом. Пусть на отрезке длиной $2l$ ($-l \leq x \leq l$) равномерно расположено n точек ($x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$) через интервалы $\rho = \frac{2l}{n-1}$. В этих точках производится измерение элемента f , и из данных измерения определяется среднее арифметическое

$$f_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i). \quad (2)$$

Требуется определить среднюю квадратическую ошибку P принятия величины f_0 в качестве среднего значения \bar{f} на отрезке $2L$ ($-L \leq x \leq L$) (рис. 1). Очевидно, что в действительности это среднее равно

$$\bar{f} = \frac{1}{2L} \int_{-L}^L f(x) dx. \quad (3)$$

Поэтому

$$P^2 = \overline{[f_0 - \tilde{f}]^2} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i) - \frac{1}{2L} \int_{-L}^L f(x) dx \right]^2, \quad (4)$$

где черта сверху означает осреднение, понимаемое в статистическом смысле. Выполняя в правой части (4) возведение в квадрат, получим

$$P^2 = \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \overline{f(x_i) f(x_j)} - \frac{1}{Ln} \sum_{i=1}^n \int_{-L}^L \overline{f(x_i) f(x)} dx + \\ + \frac{1}{4L^2} \int_{-L}^L \int_{-L}^L \overline{f(x) f(y)} dx dy. \quad (5)$$

Предположим теперь, что поле элемента f является статистически стационарным, и введем нормированную автокорреляционную функцию элемента f соотношением

$$r(|x - y|) = \frac{1}{\sigma^2} [\overline{f(x) f(y)} - \overline{f(x)} \overline{f(y)}]. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5), найдем

$$\frac{P^2}{\sigma^2} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r(|x_i - x_j|) - \frac{1}{Ln} \sum_{i=1}^n \int_{-L}^L r(|x_i - x|) dx + \\ + \frac{1}{4L^2} \int_{-L}^L \int_{-L}^L r(|x - y|) dx dy,$$

или после несложных преобразований

$$E = \frac{1}{n} + \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) r(ip) - \frac{1}{nL} \sum_{i=1}^n \left[\int_0^{L-x_i} r(x) dx + \int_0^{L+x_i} r(x) dx \right] + \\ + \frac{1}{2L^2} \int_0^{2L} (2L-x) r(x) dx, \quad (7)$$

где $E = \frac{P^2}{\sigma^2}$ — средний квадрат относительной ошибки.

Отметим, что формула, аналогичная формуле (7), была получена ранее в работе [3]. При этом в качестве характеристики изменчивости полей метеорологических элементов использовалась структурная функция, определяемая формулой

$$b(|x - y|) = \overline{[f(x) - f(y)]^2}.$$

Нетрудно видеть, что структурная функция связана с автокорреляционной функцией (6) соотношением

$$b(|x - y|) = 2\sigma^2 [1 - r(|x - y|)].$$

В ряде случаев оказывается более удобным использовать не структурную, а автокорреляционную функцию, что и делается в настоящей

статье. Те же выводы могут быть получены и с использованием структурной функции.

С помощью формулы (7) можно выполнять количественные оценки величины E , если только известна автокорреляционная функция данного элемента. При этом все интегралы и суммы могут быть подсчитаны численно. Однако в целях наглядности результатов мы будем аппроксимировать функцию $r(x)$ простой экспоненциальной формулой

$$r(x) = e^{-ax}, \quad (8)$$

где a — параметр, характеризующий быстроту затухания автокорреляционной функции с расстоянием, а именно $\frac{1}{a}$ равно расстоянию, на котором функция $r(x)$ уменьшается в e раз.

Исследования статистической структуры высоты снежного покрова [3] показывают, что в действительности корреляционная функция ее обычно затухает медленнее, чем по экспоненциальному закону. Поэтому эффект статистической связи будет в действительности больше, чем это будет вытекать из наших оценок.

Если подставить (8) в (7) и произвести некоторые преобразования, то можно получить следующую формулу:

$$E = \frac{1}{n} + \frac{2q}{(1-q)n^2} \left(n - \frac{1-q^n}{1-q} \right) + \frac{2}{naL} e^{-a(L-1)} \frac{1-q^n}{1-q} - \frac{1}{aL} \left[1 + \frac{1}{2aL} (1 - e^{-2aL}) \right], \quad (9)$$

где

$$q = e^{-ap}. \quad (10)$$

Величина q представляет собой значение автокорреляционной функции, соответствующее интервалу между точками измерения.

Приведем результаты некоторых вычислений по формуле (9).

Рассмотрим сначала случай $L=1$, $n=2$, т. е. случай определения среднего по отрезку между двумя соседними пунктами измерения. В этом случае формула (9) дает

$$E = \frac{1}{2} - \frac{1}{2(ap)^2} [4 - (2 + ap)^2 q]. \quad (11)$$

Результаты вычислений по формуле (11) приведены в табл. 1.

Из данных таблицы видно, что наличие статистической связи существенно уменьшает погрешность определения средней величины на интервале между двумя измерениями. Действительно, если бы связь отсутствовала ($q=0$), то величина E равнялась бы, очевидно, 0,5, как это следует также из формулы (1). Но уже при весьма малых коэффициентах корреляции q ошибка оказывается существенно меньшей. Так, при $q=0,01$ величина E равна 0,42.

Для наглядности в последней строке табл. 1 приведены значения

$$\alpha = \frac{0,5 - E}{E},$$

дающей относительное завышение величины E в результате предположения об отсутствии связи между исходными данными. Уже при коэффициентах корреляции порядка 0,2, которые обычно считаются весьма малыми, указанное завышение превосходит 100%, а при коэффициентах корреляции порядка 0,8 это завышение даже превосходит 1000%.

Таблица 1

Средний квадрат относительной ошибки замены среднего по промежутку арифметическим средним из значений на краях

q	0	0,001	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3
$ар$	∞	6,91	4,60	3,00	2,30	1,61	1,20
E	0,50	0,46	0,42	0,34	0,30	0,23	0,18
α %	0	9	20	45	67	117	175
q	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$ар$	0,92	0,69	0,51	0,36	0,22	0,11	0,00
E	0,14	0,11	0,08	0,06	0,03	0,02	0,00
α %	247	346	510	690	1460	2400	∞

Отметим, что при осреднении по большему количеству измерений описанный эффект будет, разумеется, выражен еще сильнее, хотя количественно это усиление не очень велико.

Обратимся теперь к другому частному случаю формулы (9). Предположим, что на отрезке длины $2l$ производится бесчисленное множество измерений ($n = \infty$), среднее значение по которым принимается в качестве среднего по большему отрезку $2L$.

В этом случае из формулы (1) мы должны были бы заключить, что погрешность такого определения средней по отрезку $2L$ равна нулю. В действительности же эта погрешность равна нулю только при $L = l$. В самом деле, в случае $n = \infty$ можно путем предельного перехода получить из (9) следующую формулу:

$$E = \varphi(aL) + \varphi(al) - \frac{2}{aL} + \frac{2}{a^2Ll} e^{-al} sh(al), \quad (12)$$

где

$$\varphi(y) = \frac{1}{y} - \frac{1}{2y^2} (1 - e^{-2y}). \quad (13)$$

Результат вычислений по формуле (12) представлен в табл. 2.

Анализируя данные этой таблицы, можно видеть следующее.

С ростом отношения $\frac{L}{l}$ ошибка всегда возрастает, однако это возрастание происходит не до значения $E = 1$, а до некоторой меньшей величины, зависящей от размеров исходного отрезка, т. е. от l , или, точнее, от безразмерной величины al , однозначно связанной с автокорреляционной функцией для концов отрезка. С ростом величины al указанное предельное значение уменьшается, однако уменьшение происходит достаточно медленно. Так, даже при значении $al = 5$, что соответствует чрезвычайно малому коэффициенту корреляции. [$r(2l) = 4 \cdot 10^{-5}$], предельное значение E составляет 0,18.

Таблица 2

Средний квадрат относительной ошибки замены среднего по промежутку $2L$ средним по меньшему промежутку $2l$

al	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10
$r (2al)$	0,90	0,82	0,67	0,37	0,17	0,02	0,00004	$2 \cdot 10^{-9}$
$\frac{L}{l}$	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,01	0,02	0,03	0,08	0,10	0,11	0,08	0,04
5	0,04	0,08	0,18	0,33	0,35	0,27	0,14	0,07
10	0,12	0,22	0,39	0,52	0,46	0,33	0,16	0,08
20	0,27	0,43	0,60	0,64	0,52	0,35	0,17	0,09
50	0,55	0,69	0,77	0,70	0,55	0,37	0,18	0,09
100	0,74	0,81	0,82	0,72	0,56	0,37	0,18	0,09
∞	0,96	0,91	0,87	0,74	0,57	0,38	0,18	0,10

Интересно, что при любом фиксированном $\frac{L}{l}$ (кроме 1 и ∞) величина E как функция от al не является монотонной, а имеет максимум при определенном значении al . Этот максимум соответствует некоторым наименее выгодным условиям.

Весьма важно, что при малых al значение E с ростом отношения $\frac{L}{l}$ приближается к предельному значению сравнительно медленно в том смысле, что отношение E к $E(L=\infty)$ остается заметно меньшим единицы даже при большом отношении $\frac{L}{l}$. Напротив, при больших al величина E достигает значений, весьма близких к предельному уже при малых отношениях $\frac{L}{l}$. Практически это означает, что если исходный отрезок мал, то значение метеорологического элемента, осредненное по этому отрезку, можно распространять лишь на отрезки, в несколько раз превышающие исходный. Если же исходный отрезок велик, то среднее по нему может быть с той же точностью распространено и на значительно большие промежутки (при условии сохранения репрезентативности исходного участка).

Рассмотрим еще случай, когда размеры отрезка, на который распространяется среднее значение, весьма велики и практически могут считаться бесконечными. В этом случае формула (9) существенно упрощается и принимает вид

$$E = \frac{1}{n} + \frac{2q}{(1-q)n^2} \left(n - \frac{1-q^n}{1-q} \right). \quad (14)$$

Значения E при нескольких первых значениях n представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что при фиксированном n величина E относительно равномерно меняется с изменением q от значения $\frac{1}{n}$ при $q=0$ до 1 при $q \rightarrow 1$. Это означает, что, чем больше n , тем больше получается при заданном q отклонение от оценки P по формуле (1).

Особый интерес представляет случай больших n . При этом мы имеем в виду, что увеличение n происходит при фиксированном q , т. е. что число измерений увеличивается не за счет уменьшения расстояния между соседними пунктами измерения (как это рассматривалось выше),

Таблица 3

Средний квадрат относительной ошибки определения среднего по бесконечному промежутку

n	q												
	0	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1*
2	0,50	0,51	0,52	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1/0
3	0,33	0,34	0,36	0,38	0,43	0,49	0,55	0,61	0,68	0,75	0,83	0,90	1/0
4	0,25	0,25	0,27	0,29	0,34	0,39	0,45	0,52	0,59	0,66	0,77	0,88	1/0
5	0,20	0,20	0,22	0,23	0,28	0,32	0,38	0,44	0,52	0,62	0,72	0,85	1/0

* При $q=1$ величина E терпит при всех n разрыв — ее предел слева равен единице, а значение в самой точке $q=1$ равно нулю.

а за счет увеличения, охватываемого ими отрезка. В этом случае формула (14) может быть приближенно записана в весьма простом виде

$$E \approx \frac{1}{n} \frac{1+q}{1-q} = \frac{1}{n} \operatorname{cth} \left(\frac{ap}{2} \right). \quad (15)$$

Практически (при не очень больших q , а именно $q \leq 0,8$) это равенство достаточно выполняется уже начиная с $n = 20$.

Отметим, что величина E в данном случае, так же как и в случае независимых величин, оказалась обратно пропорциональной числу наблюдений n , однако коэффициент пропорциональности, вообще говоря, существенно превышает единицу, которой он должен был равняться согласно формуле (1). Так, при $q = 0,1$ этот коэффициент равен 1,22, а при $q = 0,8$ он достигает значения 9.

Это заключение, полученное теоретическим путем, хорошо согласуется с экспериментальными данными И. С. Шпака [2]. Шпак пришел к выводу, что при достаточно больших n величина P обратно пропорциональна корню из n , но оценки P по формуле (1) оказываются заниженными в 2—3 раза. Последнее, очевидно, соответствует для экспоненциальной корреляционной функции коэффициенту корреляции между наблюдениями в соседних точках 0,6—0,8. Если корреляционная функция затухает медленнее, чем по экспоненте, то те же завышения P соответствуют меньшим коэффициентам корреляции.

На основании произведенных оценок можно сделать следующие выводы.

Расстояния между соседними точками измерения высоты снежного покрова, принятые сейчас равными 10 м, являются для большинства случаев слишком малыми. В результате на данном маршруте снего съемки производится чрезмерно много измерений. Уменьшая число измерений на данном маршруте в 2—3 раза, мы обычно будем достигать практически той же точности определения средних значений как по участку съемки, так и по большой территории.

С другой стороны, точность определения средних высот снежного покрова по большим площадям является при принятой методике наблюдений явно недостаточной. Не следует пытаться повысить эту точность путем увеличения количества точек на маршруте заданной длины, поскольку в результате этого ошибка не может быть меньше некоторого предельного значения, зависящего от общей протяженности маршрута и чрезмерно высокого с практической точки зрения.

Поэтому, очевидно, единственным путем повышения точности средних данных о высоте снежного покрова на больших площадях является

увеличение протяженности снегомерного маршрута. Сочетая это увеличение с уменьшением количества промерных точек, можно при той же трудоемкости снегосъемок достичь значительно более точных результатов.

Применительно к каждому физико-географическому району конкретные рекомендации по выбору наиболее рациональных значений протяженности снегомерных маршрутов и расстояний между промерными точками могут быть даны только на основании сведений по статистической структуре высоты снежного покрова в данном районе. В настоящее время объем таких сведений явно недостаточен. Поэтому следует признать в качестве первоочередной задачи накопление таких данных по структурным функциям характеристик снежного покрова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великашов М. А. Теоретико-экспериментальное направление в Советской гидрологии. Метеорол. и гидрол., № 3, 1938.
2. Шпак И. С. О точности наблюдений за снежным покровом при снегосъемках. Труды ГИ, вып. 45 (99), 1954.
3. Лайхтман Д. Л., Каган Р. Л. Некоторые вопросы рационализации снегосъемок. Труды ГГО, вып. 108, 1960.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВО ВРЕМЕНИ И ПОГРЕШНОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ИХ В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ

В статье рассматривается временная изменчивость высоты и плотности снежного покрова в различных районах СССР.

В ранее опубликованных работах [1], [4] было показано, что вопрос о выборе интервала времени между снегосъемками можно решать, исходя из величины погрешностей, получающихся при интерполяции результатов измерений высоты и плотности между сроками наблюдений.

Заметим, что погрешности интерполяции высоты и плотности снежного покрова однозначно характеризуются изменчивостью этих элементов во времени.

Для изучения изменчивости характеристик снежного покрова в различных физико-географических условиях рассмотрены материалы наблюдений по постоянным рейкам 21 станции пяти управлений Гидрометслужбы.

Выбранные для анализа станции имеют различную степень защищенности и открытости.

Известно, что необходимыми условиями для интерполяции характеристик снежного покрова является наличие связи между их значениями в различные моменты времени.

В результате анализа материалов выяснилось, что эта связь оказалась достаточно хорошей, особенно для небольших интервалов времени τ . В качестве примера приводятся средние за десятилетний период наблюдений коэффициенты корреляции r между высотами снежного покрова, измеренными через различные интервалы времени для ст. Гороховец (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции высоты снежного покрова на ст. Гороховец
(период нарастания)

τ	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
r	0,98	0,96	0,93	0,91	0,88	0,76	0,66	0,57	0,50	0,41

Для характеристики изменчивости высоты и плотности снежного покрова, как и прежде [1], была использована структурная функция.

Вычисленные значения структурной функции для всех станций хорошо описываются уравнением вида

$$b_n(\tau) = B + A\tau^n. \quad (1)$$

Здесь $b_n(\tau)$ — структурная функция, τ — интервал времени между наблюдениями (дни), A , B и n — постоянные для данной станции

Таблица 2

Значение структурных функций высоты снежного покрова (см²)

Участки	УГМС	Станция	n	A	τ				
					5	10	15	20	
Период нарастания									
Открытые	Центральных областей	Гороховец	1,19	1,46	9,91	22,62	36,63	51,60	
		Немчиновка	0,84	5,00	19,32	34,60	48,63	62,42	
		Павлов-Посад	1,00	4,29	21,45	42,90	64,35	85,80	
	Омское	Тюкалинск	0,84	1,47	5,65	10,09	14,16	18,01	
		Васисс	1,06	2,35	13,00	27,17	41,81	56,76	
		Леуши	1,09	2,08	12,10	25,83	40,25	55,14	
		Яр-Сале	0,82	1,39	5,23	9,27	12,95	16,42	
	Забайкальское	Менза	1,11	0,29	1,75	3,77	5,92	8,14	
		Илька	0,76	0,48	1,61	2,73	3,70	4,60	
		Петровский Завод	1,00	0,52	2,62	5,25	7,88	10,55	
	Северо-Западное	Ефимовская	1,21	3,35	23,48	54,60	82,04	125,69	
		Белогорка	1,02	5,61	28,97	5,74	88,83	119,13	
		Будогощь	1,15	3,50	22,28	49,44	78,81	109,71	
		Шугозеро	1,04	5,33	28,33	58,17	88,62	119,46	
		Вознесенье	0,98	4,85	23,34	45,92	68,21	90,33	
	УССР	Амвросиевка	1,07	4,42	24,71	51,88	80,07	108,92	
		Джанкой	0,95	5,56	25,59	49,56	72,78	95,74	
		Беловодск	0,84	4,89	18,90	33,83	47,56	60,56	
		Жашков	1,10	3,60	20,49	44,22	75,02	97,61	
	Защищенные	Центральных областей	Павлов-Посад	1,02	5,76	29,74	60,31	91,21	122,31
Селиваново			1,16	4,56	29,49	65,91	105,49	147,29	
Омское		Тюкалинск	1,08	1,63	9,24	19,49	30,16	41,11	
		Васисс	1,20	3,10	21,36	49,06	79,85	112,77	
		Леуши	1,41	1,42	13,74	36,53	64,70	97,06	
Северо-Западное		Лисий Нос	1,02	5,09	26,13	52,84	79,79	106,86	
		Шугозеро	1,07	5,92	51,15	110,63	173,76	239,42	
		Белогорка	1,12	8,53	33,23	69,87	107,92	146,90	
Период схода									
Открытые		Центральных областей	Гороховец	1,68	3,49	52,13	167,04	330,10	535,26
	Немчиновка		1,56	10,32	127,08	374,70	705,31	1104,76	
	Павлов-Посад		1,57	13,46	168,44	500,08	945,16	1484,77	
	Омское	Тюкалинск	1,44	5,13	51,82	140,29	251,23	379,85	
		Васисс	1,43	12,27	122,06	328,03	585,04	882,02	
		Леуши	1,16	8,12	52,65	117,66	188,31	262,92	
		Яр-Сале	0,99	5,07	24,84	49,45	73,92	98,31	
	Забайкальское	Менза	0,90	7,82	33,27	62,09	89,42	115,26	
		Илька	0,91	1,14	4,94	9,31	13,49	17,56	
		Петровский Завод	1,22	3,75	26,89	62,81	103,17	146,72	
	Северо-Западное	Ефимовская	1,72	14,68	233,85	770,42	1547,42	2538,02	
		Белогорка	1,38	10,59	94,55	254,03	444,53	661,18	
		Будогощь	1,62	10,23	138,74	426,46	822,49	1310,87	
		Шугозеро	1,49	12,50	137,52	386,29	706,76	1085,02	
		Вознесенье	1,59	9,80	127,40	384,60	734,00	1161,00	

Участки	УГМС	Станция	n	A	τ			
					5	10	15	20
Открытые	УССР	Амвросиевка	1,46	5,16	54,14	148,96	269,25	409,80
		Джанкой	1,15	5,28	33,77	75,10	119,86	167,01
		Беловодск	1,60	13,65	179,28	543,40	1027,30	1628,10
		Жашков	1,60	13,65	179,28	543,40	1027,30	1628,10
Защищенные	Центральных областей	Павлов-Посад	1,60	14,77	193,97	586,65	1124,91	1782,44
		Селиваново	1,57	11,10	138,90	412,40	779,44	1224,44
	Омское	Тюкалинск	1,48	10,62	115,72	323,69	590,80	905,43
		Васисс	1,52	18,16	210,35	604,11	1119,76	1734,93
		Леуши	1,58	13,09	166,05	493,10	934,38	1470,14
	Северо-Западное	Лисий Нос	1,58	11,48	147,16	441,51	839,53	1324,56
		Шугозеро	1,68	12,68	188,04	600,02	1183,30	1871,19
		Белогорка	1,44	11,35	116,14	317,00	568,60	859,00

параметры, которые вычисляются на основании эмпирических данных; B определяет значение структурной функции при $\tau=0$ и характеризует погрешность определения высоты снежного покрова.

Для большинства станций величина B получилась практически равной нулю. Только для трех нижеуказанных станций при интервалах между наблюдениями больше 20 дней (период нарастания) B достигало следующих значений:

Леуши	1,06 см (защищенный участок)
	0,79 » (открытый участок)
Будогощь	0,80 » » »
Менза	0,12 » » »

Параметры n , A и значения структурных функций для различных τ (5, 10, 15 и 20 дней) приведены для всех станций в табл. 2.

Из данных таблицы следует, что изменчивость высоты снежного покрова на большинстве станций велика и существенно различна даже для станций в пределах одного УГМС.

В период нарастания высоты снежного покрова структурная функция имеет меньшие величины, чем в период схода. На защищенных участках величина ее больше, чем на открытых.

Погрешности интерполяции высоты снежного покрова вычислялись на основании полученных структурных функций по формуле

$$P_h^2(\tau) = \frac{1}{3}B + A\tau^n \left[\frac{2}{(n+1)(n+2)} - \frac{1}{6} \right], \quad (2)$$

где $P_h^2(\tau)$ — средний квадрат погрешности интерполяции.

Вычисленные погрешности интерполяции (табл. 3), как и величины структурных функций, различны даже для станций, находящихся на близких расстояниях. Исключение составляют станции Забайкальского УГМС, где в период нарастания ошибки интерполяции высоты снежного покрова резко отличаются от ошибок станций других УГМС и очень близки между собой. Во всех других УГМС можно встретить равновеликие погрешности.

Таблица 3

Погрешности интерполяции высоты снежного покрова (см)

Участки	УГМС	Станция	τ								
			1	2	3	4	5	10	15	20	
Период нарастания											
Открытые	Центральных областей	Гороховец	0,42	0,63	0,80	0,95	1,09	1,64	2,09	2,49	
		Немчиновка	1,04	1,39	1,63	1,86	2,04	2,73	3,24	3,67	
		Павлов-Посад	0,84	1,20	1,47	1,69	1,89	2,67	3,27	3,78	
	Омское	Тюкалинск	0,56	0,76	0,89	1,01	1,10	1,48	1,76	1,98	
		Васисс	0,59	0,85	1,06	1,22	1,40	2,02	2,50	2,92	
		Леуши	0,75	0,95	1,11	1,27	1,41	1,98	2,45	2,84	
		Яр-Сале	0,56	0,73	0,87	0,98	1,08	1,43	1,69	1,90	
	Забайкальское	Менза	0,28	0,36	0,42	0,49	0,54	0,76	0,94	1,10	
		Илька	0,35	0,45	0,52	0,58	0,63	0,82	0,95	1,06	
		Петровский Завод	0,30	0,42	0,51	0,59	0,66	0,94	1,14	1,32	
	Северо-Западное	Ефимовская	0,62	0,94	1,21	1,44	1,64	2,51	3,19	3,81	
		Белогорка	0,95	1,35	1,66	1,93	2,16	3,08	3,78	4,38	
		Будогощь	0,67	1,00	1,26	1,49	1,69	2,52	3,18	3,76	
		Шугозеро	0,91	1,31	1,62	1,87	2,10	3,02	3,71	4,32	
		Вознесенье	0,92	1,29	1,57	1,81	2,01	2,82	3,44	3,96	
	УССР	Амвросиевка	0,81	1,17	1,46	1,70	1,91	2,77	3,45	4,01	
		Джанкой	1,00	1,39	1,69	1,94	2,15	3,00	3,63	4,16	
		Жашков	0,71	1,04	1,30	1,52	1,72	2,52	3,16	3,70	
Беловодск		1,02	1,37	1,63	1,84	2,02	2,70	3,21	3,62		
Защищенные	Центральных областей	Павлов-Посад	0,96	1,37	1,69	1,96	2,19	3,11	3,83	4,44	
		Селиваново	0,77	1,16	1,41	1,73	1,97	2,95	3,73	4,41	
	Омское	Тюкалинск	0,49	0,71	0,88	1,03	1,16	1,69	2,10	2,45	
		Васисс	0,60	0,92	1,17	1,39	1,58	2,40	3,06	3,63	
		Леуши	0,68	0,80	0,93	1,06	1,19	1,77	2,31	2,79	
	Северо-Западное	Лисий Нос	0,91	1,29	1,59	1,84	2,06	2,93	3,59	4,16	
		Шугозеро	1,08	1,59	2,00	2,34	2,65	3,90	4,89	5,74	
		Белогорка	0,93	1,35	1,68	1,99	2,21	3,21	3,99	4,66	
	Период схода										
	Открытые	Центральных областей	Гороховец	0,36	0,64	0,89	1,14	1,37	2,46	3,45	4,39
			Немчиновка	0,73	1,27	1,74	2,18	2,59	4,45	6,10	7,64
			Павлов-Посад	0,83	1,43	1,97	2,47	2,94	5,07	6,96	8,73
Омское		Тюкалинск	0,61	1,00	1,34	1,65	1,93	3,18	4,25	5,23	
		Васисс	0,95	1,56	2,08	2,56	3,00	4,92	6,57	8,07	
		Леуши	1,09	1,51	1,92	2,27	2,58	3,85	4,88	5,76	
		Яр-Сале	0,93	1,31	1,60	1,84	2,05	2,89	3,54	4,09	
Забайкальское		Менза	1,04	1,42	1,69	1,94	2,14	2,93	3,51	4,00	
		Илька	0,47	0,64	0,77	0,88	0,97	1,34	1,61	1,84	
		Петровский Завод	0,65	0,99	1,27	1,52	1,74	2,66	3,41	4,06	
Северо-Западное		Ефимовская	0,67	1,22	1,73	2,22	2,69	4,89	6,91	8,85	
		Белогорка	0,93	1,50	1,99	2,42	2,78	4,56	6,03	7,36	
		Будогощь	0,67	1,18	1,64	2,07	2,48	4,34	6,03	7,61	
		Шугозеро	0,89	1,49	2,02	2,50	2,95	4,95	6,69	8,29	
		Вознесенье	0,69	1,19	1,64	2,07	2,47	4,29	5,92	7,45	

Участки	УГМС	Станция	τ							
			1	2	3	4	5	10	15	20
Открытые	УССР	Амвросиевка . . .	0,59	0,98	1,32	1,63	1,92	3,19	4,29	5,29
		Джанкой	Периода схода нет							
		Жашков	0,80	1,40	1,93	2,43	2,90	4,94	6,82	8,58
		Беловодск	0,82	1,22	1,55	1,83	2,08	3,10	3,91	4,63
Защищенные	Центральных областей	Павлов-Посад . . .	0,83	1,43	1,97	2,47	2,94	5,07	6,96	8,73
		Селиваново	0,75	1,30	1,79	2,24	2,67	4,60	6,32	7,92
	Омское	Тюкалинск	0,82	1,38	1,87	2,31	2,73	4,56	6,16	7,64
		Васисс	1,03	1,75	2,38	2,96	3,51	5,94	8,09	10,07
		Леуши	0,81	1,40	1,93	2,42	2,89	4,99	6,88	8,61
	Северо-Западное	Лисий Нос	0,75	1,30	1,79	2,25	2,69	4,66	6,42	8,06
		Шугозеро	0,68	1,22	1,72	2,18	2,64	4,71	6,62	8,32
		Белогорка	0,87	1,44	1,94	2,37	2,79	4,60	6,18	7,60

Таблица 4

Средние погрешности интерполяции высоты снежного покрова (см)

Участки	УГМС	τ								
		1	2	3	4	5	10	15	20	
Период нарастания										
Открытые	Центральных областей	0,77	1,07	1,30	1,50	1,67	2,35	2,87	3,31	
		Омское	0,62	0,82	0,98	1,12	1,25	1,73	2,10	2,41
			0,31	0,41	0,48	0,55	0,61	0,84	1,01	1,16
			0,82	1,18	1,46	1,71	1,92	2,79	3,44	4,05
			0,88	1,24	1,52	1,75	1,95	2,75	3,36	3,87
Защищенные	Центральных областей	0,86	1,26	1,55	1,84	2,08	3,03	3,78	4,42	
		Омское	0,59	0,81	0,99	1,16	1,31	1,95	2,49	2,96
			Северо-Западное	0,97	1,41	1,76	2,06	2,31	3,35	4,16
Период схода										
Открытые	Центральных областей	0,64	1,11	1,53	1,93	2,30	3,99	5,50	6,92	
		Омское	0,90	1,34	1,74	2,08	2,39	3,71	4,81	5,79
			0,72	1,02	1,24	1,45	1,62	2,31	2,84	3,30
			0,77	1,32	1,80	2,26	2,67	4,61	6,32	7,91
			0,74	1,20	1,60	1,96	2,30	3,74	5,01	6,17
Защищенные	Центральных областей	0,79	1,36	1,88	2,36	2,80	4,84	6,64	8,32	
		Омское	0,89	1,51	2,06	2,56	3,04	5,16	7,04	8,77
			Северо-Западное	0,77	1,32	1,82	2,27	2,71	4,66	6,41

Таблица 5

Относительные погрешности интерполяции высоты снежного покрова (%) в период нарастания

Участки	УГМС	Станция	\bar{h}	τ			
				5	10	15	20
Открытые	Централь- ных областей	Гороховец	14,8	7,4	11,1	15,6	16,8
		Немчиновка	16,5	12,4	16,5	19,6	22,2
		Павлов-Посад	21,3	8,9	12,5	15,3	17,7
	Омское	Тюкалинск	13,9	8,0	10,6	12,6	14,2
		Васисс	28,0	5,0	7,2	8,9	10,4
		Леуши	20,4	6,9	9,7	12,0	13,9
		Яр-Сале	17,0	6,3	8,4	9,9	11,2
	Забайкаль- ское	Менза	9,5	5,7	8,0	9,9	11,6
		Илька	5,0	12,6	16,3	18,9	21,2
		Петровский Завод	10,9	6,0	8,6	10,4	12,1
	УССР	Амвросиевка	10,4	18,3	26,6	33,0	38,5
		Джанкой	5,7	37,6	52,7	63,7	73,0
		Жашков	8,6	20,0	29,3	36,7	43,0
		Беловодск	10,7	18,8	25,2	30,0	33,8
	Северо- Западное	Ефимовская	28,4	5,8	8,8	11,2	13,4
		Белогорка	21,5	10,0	14,3	17,6	20,2
		Будогощь	22,6	7,5	11,1	14,1	16,6
		Шугозеро	24,3	8,6	12,3	15,2	17,8
Вознесенье		20,9	9,6	13,5	16,4	18,9	
Защищен- ные	Централь- ных областей	Селиваново	29,2	6,8	10,1	12,8	15,1
		Павлов-Посад	22,4	9,8	13,9	17,2	19,8
	Омское	Тюкалинск	23,9	4,9	7,1	8,8	10,2
		Васисс	40,4	3,9	6,0	7,6	9,0
		Леуши	34,3	3,5	5,2	6,8	8,2
	Северо- Западное	Лисий Нос	23,0	9,0	12,7	15,6	18,1
		Шугозеро	38,2	6,9	10,2	12,8	15,0
		Белогорка	25,6	8,6	12,6	15,6	18,2

Таблица 6

Точность определения структурной функции в зависимости от продолжительности периода наблюдений

Станция	Период наблюдений (годы)	τ							
		1	2	3	4	5	10	15	20

Средние квадратические отклонения σ см

Гороховец	1	0,76	1,52	2,47	3,58	4,87	12,18	18,50	28,33
	2	0,45	0,97	1,58	2,34	3,12	7,89	13,84	18,98
	3	0,36	0,75	1,23	1,77	2,42	6,12	10,84	15,73
	4	0,29	0,63	1,04	1,50	2,02	5,25	9,53	13,61
	5	0,25	0,55	0,92	1,32	1,80	4,59	8,03	11,75

Станция	Период наблюдений (годы)	τ							
		1	2	3	4	5	10	15	20
Немчиновка	1	1,65	3,01	4,53	5,86	7,47	11,41	14,40	19,03
	2	1,15	2,06	3,09	4,23	5,18	7,16	9,74	12,81
	3	0,87	1,42	2,25	3,10	3,82	5,82	8,52	11,25
	4	0,67	1,21	1,99	2,28	2,72	4,09	6,75	9,53
	5	0,57	1,05	1,54	2,03	2,48	3,86	5,92	8,37
Леуши	1	0,92	2,35	4,06	5,89	7,98	23,40	47,95	67,22
	2	0,58	1,54	2,65	3,83	5,19	15,16	31,07	43,64
	3	0,52	1,30	2,21	3,17	4,31	12,57	25,82	36,24
	4	0,37	0,92	1,57	2,27	3,09	9,03	18,59	25,91
	5	0,28	0,73	1,27	1,80	2,43	6,91	13,82	19,36

Коэффициенты изменчивости C_v %

162786 Гороховец	1	52,1	45,1	45,4	47,3	49,0	53,6	49,1	53,2
	2	30,8	28,8	28,9	30,9	31,4	34,7	36,7	35,7
	3	24,7	22,2	22,7	23,4	24,4	26,9	28,8	29,6
	4	19,9	18,7	19,2	19,8	20,3	23,1	25,3	25,6
	5	17,1	16,3	16,9	17,4	18,1	20,2	21,3	22,1
Немчиновка	1	34,6	32,5	34,7	35,1	36,8	33,2	30,8	31,8
	2	24,1	22,2	23,7	25,4	25,6	20,8	20,8	21,4
	3	18,2	15,3	17,2	18,6	18,8	16,9	18,2	18,8
	4	14,0	13,0	15,2	13,7	13,4	11,9	14,4	15,9
	5	11,9	11,3	11,8	12,2	12,2	11,2	12,6	14,0
Леуши	1	37,1	43,6	48,3	51,0	53,1	64,6	67,4	67,1
	2	23,4	28,6	31,5	33,2	34,6	41,8	43,7	43,6
	3	21,0	24,1	26,3	27,4	28,7	34,7	36,3	36,2
	4	14,9	17,1	18,7	19,7	20,6	24,9	26,1	25,9
	5	11,3	13,5	15,1	15,6	16,2	19,1	19,4	19,3

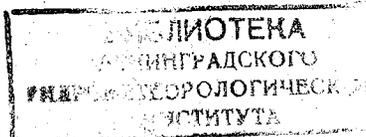
Средние погрешности интерполяции в каждом рассматриваемом УГМС в той или иной мере отличаются друг от друга (табл. 4, рис. 1 и 2). Эти различия, по-видимому, обусловлены влиянием местных особенностей (положение участка, рельеф, погодно-климатические условия и др.).

Например, станции Яр-Сале и Тюкалинск, находясь на расстоянии более 1000 км друг от друга, очень близки по величине погрешностей интерполяции. В то же время сравнительно близкие станции Васисс и Тюкалинск (расстояние около 200 км) отличаются по погрешностям интерполяции в полтора раза.

Не меньший интерес представляет сравнение отношений погрешностей интерполяции к средней высоте снежного покрова, или так называемых относительных погрешностей интерполяции. Последние были вычислены для периода нарастания при интервалах τ , равных 5, 10, 15 и 20 дням (табл. 5).

При вычислениях использованы погрешности интерполяции и высоты снежного покрова — средние за весь ряд наблюдений, взятый для анализа на данной станции.

Оказалось, что малая величина абсолютной погрешности еще не говорит о точности интерполяции. Например, для ст. Тюкалинск, где абсолютная величина погрешности получилась в полтора раза меньше, чем на ст. Васисс, относительная погрешность оказалась почти во столько же раз больше. На станциях Забайкальского УГМС, где погрешности ин-



терполяции сами по себе невелики, относительные погрешности достигают 22%. На станциях УГМС Украинской ССР они достигают 73%.

Известно, что при высоте снежного покрова порядка 4—5 см относительная ошибка измерения составляет около 10% [5]. С увеличением высоты снежного покрова роль ошибки измерения уменьшается. Соответственно возрастает роль погрешности интерполяции. Поэтому погрешность интерполяции в районах с неустойчивым снежным покровом велика и применять интерполяцию для сколько-нибудь значительных интервалов вряд ли целесообразно. В то же время на станциях Забайкальского УГМС, где наблюдается устойчивый снежный покров, интерполяция вполне возможна даже при интервалах 20 дней.

Одна и та же относительная погрешность интерполяции получается на станциях Омского УГМС при

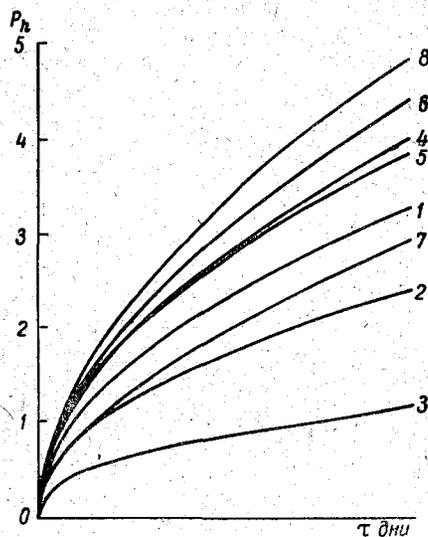


Рис. 1. Средние погрешности интерполяции высоты снежного покрова (P_h см) в период нарастания.

Открытые участки. УГМС: 1—Центральных областей, 2—Омское, 3—Забайкальское, 4—Северо-Западное, 5—УССР. Защищенные участки. УГМС: 6—Центральных областей, 7—Омское, 8—Северо-Западное.

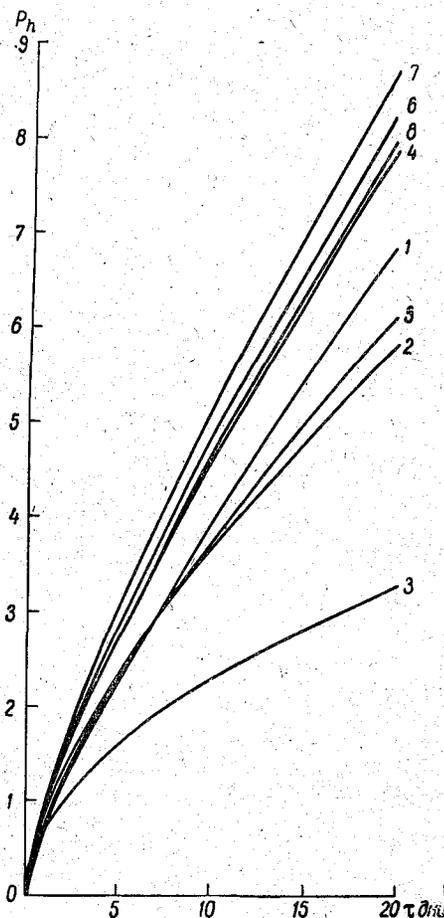


Рис. 2. Средние погрешности интерполяции высоты снежного покрова (P_h см) в период схода.

Открытые участки. УГМС: 1—Центральных областей, 2—Омское, 3—Забайкальское, 4—Северо-Западное, 5—УССР. Защищенные участки. УГМС: 6—Центральных областей, 7—Омское, 8—Северо-Западное.

больших интервалах, чем на станциях УГМС Центральных областей и Северо-Западного УГМС. При этом на станциях с различной защищенностью относительные погрешности получаются тоже различными. Этого нельзя не учитывать в дальнейшем при проведении районирования территории по частоте снегосъемок.

Данные, приведенные в табл. 3, показывают, что погрешности интерполяции высоты снежного покрова в период нарастания меньше, чем в период схода. На защищенных участках они также больше, чем на

открытых. Однако различия между открытыми и защищенными участками примерно того же порядка, что и между разными станциями с однотипными участками. Объясняется это, по-видимому, неодинаковой степенью защищенности и открытости участков.

Приведенные выше результаты были получены путем обработки наблюдений за период в 9—10 лет.

Представляется интересным выяснить, какой минимальный ряд наблюдений необходим для получения надежной величины структурной функции.

Для этого по трем станциям — Гороховец, Немчиновка и Леуши — были определены средние квадратические отклонения σ структурных функций для периодов различной длительности (табл. 6). Одновременно были рассчитаны также и коэффициенты изменчивости C_v .

Как и следовало ожидать, структурные функции тем больше отличаются от своего среднего значения (за 9—10 зим), чем короче период наблюдений взят для их вычислений. При переходе от одного к двум годам наблюдений происходит очень быстрое изменение σ и C_v . Дальнейшее изменение замедляется и при ряде наблюдений за 5 лет коэффициент изменчивости колеблется от 17 до 11% при $\tau = 1$ дню и от 22 до 14% при $\tau = 20$ дням. Это говорит о том, что в условиях, сходных в физико-географическом отношении с рассматриваемыми, для получения действительно надежных структурных функций необходим ряд наблюдений в 9—10 лет.

Значения погрешностей интерполяции зависят не только от абсолютной величины структурной функции, но и от характера ее изменения при увеличении интервала между сроками наблюдений, определяемого показателем степени n [в формулах (1) и (2); табл. 2].

Можно ожидать, что изменение погрешности интерполяции в связи с изменением периода наблюдений будет несколько иным, чем это имело место для структурной функции. Проверка данного предположения на материале станций Гороховец и Леуши показала, что относительные ошибки определения погрешностей интерполяции значительно меньше ошибок структурных функций, вычисленных за тот же период наблюдений (табл. 6 и 7).

Таблица 7
Точность определения погрешностей интерполяции высоты снежного покрова (период нарастания)

Станция	Величина	τ							
		1	2	3	4	5	10	15	20
Гороховец	σ см	0,14	0,17	0,21	0,24	0,26	0,40	0,52	0,62
	C_v %	33,3	27,0	26,2	25,3	23,9	24,4	24,9	24,9
Леуши	σ см	0,19	0,11	0,14	0,20	0,24	0,45	0,61	0,76
	C_v %	28,0	13,8	15,1	18,9	20,9	25,4	26,4	27,2

В табл. 7 помещены средние квадратические погрешности и коэффициенты изменчивости погрешностей интерполяции, вычисленные за отдельные годы наблюдений относительно среднего значения погрешностей, полученных по десятилетнему ряду наблюдений.

Сравнение данных в табл. 6 и 7 свидетельствует о том, что разброс структурных функций велик. Но оказывается, что он не так сильно влияет на разброс погрешности интерполяции. В частности, по рассмот-

ренным станциям погрешности изменяются от года к году почти в два раза меньше, чем величины структурных функций. Поэтому можно ожидать, что погрешности интерполяции, определенные по структурной функции, вычисленной за ряд наблюдений в 5 лет, также будут давать существенно меньший разброс, чем сами структурные функции. В этом случае вопрос о выборе интервала времени на станциях, находящихся в аналогичных условиях, может быть решен в первом приближении на основании изучения даже пятилетнего ряда наблюдений. В районах с не-

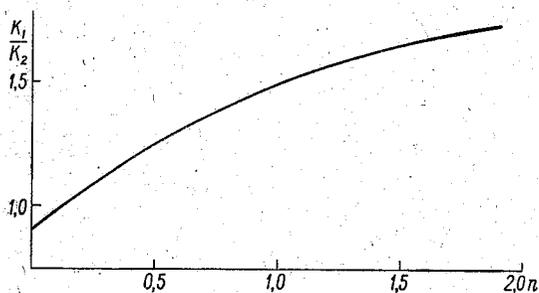


Рис. 3. Отношение максимальной погрешности интерполяции к средней по интервалу $\left(\frac{K_1}{K_2}\right)$.

Представляет интерес сравнение полученных средних величин с максимальной величиной погрешности, возможной на том же интервале.

Как показали О. А. Дроздов и А. А. Шепелевский [2], максимальные погрешности интерполяции имеют место при интерполяции на середину интервала.

В случае степенной структурной функции (1) погрешность интерполяции на середину интервала будет вычисляться по формуле

$$P_h^2(\tau)_{\max} = b_h(\tau) [0,5^n - 0,25] = K_1 b_h(\tau). \quad (3)$$

Средняя же погрешность, согласно формуле (2), будет иметь вид

$$P_h^2(\tau) = b_h(\tau) \left[\frac{2}{(n+1)(n+2)} - \frac{1}{6} \right] = K_2 b_h(\tau). \quad (4)$$

Здесь K_1 и K_2 — постоянные для данной станции коэффициенты.

Формулы (3) и (4) дают погрешности интерполяции, получающиеся без учета возможных ошибок измерения, т. е. при $B = 0$. Из них видно, что отношение $\frac{P_h^2(\tau)_{\max}}{P_h^2(\tau)}$ или, что то же самое, $\frac{K_1}{K_2}$ определяется только показателем степени n .

Наглядное представление об отношении K_1 и K_2 дает рис. 3, где эта величина приведена при различных значениях показателя степени n .

Пользуясь графиком (рис. 3), можно для любой станции, где известен показатель степени n , определить отношение максимальной ошибки к средней. Так, например, для ст. Гороховец, где показатель степени $n = 1,19$, отношение $\frac{K_1}{K_2}$ составляет 1,58.

Интересно сравнить погрешности интерполяции, полученные по формуле, с использованием степенной структурной функции с погрешностями, вычисленными эмпирически.

Такое сравнение проводилось на материале ст. Гороховец. Для этого было произведено вычисление погрешности интерполяции на середину интервала по формуле

$$\Delta h_1 - \frac{\Delta h_2}{2} = \delta h, \quad (5)$$

где Δh_1 — действительное изменение высоты снежного покрова за интервал времени $\frac{\tau}{2}$, Δh_2 — изменение высоты снежного покрова за выбранный интервал времени τ , δh — погрешность интерполяции.

На основании проведенных вычислений была получена средняя квадратическая погрешность интерполяции на середину интервала. Величина ее в зависимости от величины интервала приводится в табл. 8.

Таблица 8

Эмпирические и расчетные погрешности интерполяции на середину интервала

Погрешность	τ			
	2	4	10	20
Эмпирическая	0,80	1,21	2,09	3,10
Расчетная	0,79	1,19	2,06	3,13

В этой же таблице приведены значения погрешности интерполяции, рассчитанные по формуле (3). Сравнение погрешностей с полученными эмпирически показывает, что они очень близки между собой. Различия лежат в пределах погрешностей вычисления.

Таким образом, оба способа вычисления погрешностей дают почти одинаковые результаты. Однако следует иметь в виду, что вычисление средней квадратической погрешности эмпирическим способом столь же трудоемко, как и вычисление структурной функции. В то же время эмпирический способ дает ответ только на один частный вопрос. Между тем, пользуясь вычисленными значениями структурной функции, можно решить наряду с точностью измерений и другие важные для практики вопросы [3].

Как уже отмечалось, полученные величины погрешностей являются осредненными по большому ряду наблюдений. В каждом конкретном случае они могут быть больше или меньше. Возникает вопрос, какова обеспеченность приведенных выше средних значений. Ее можно определить, если будет известен характер распределения всех возможных ошибок интерполяции.

Нами были рассмотрены кривые распределения эмпирических ошибок интерполяции на середину интервала по ст. Гороховец для $\tau = 2, 4, 10$ и 20 дням (рис. 4).

В результате оказалось, что средняя арифметическая погрешность интерполяции для всех рассмотренных τ практически равна нулю. В отдельных случаях она колебалась от 0,002 до 0,08 см.

Распределение погрешностей является симметричным относительно среднего значения. Однако оно не совпадает с кривыми нормального распределения (сплошные линии на рис. 4). Отклонение от нормальной кривой происходит в основном за счет большей повторяемости малых значений погрешности, т. е. кривые имеют положительный эксцесс.

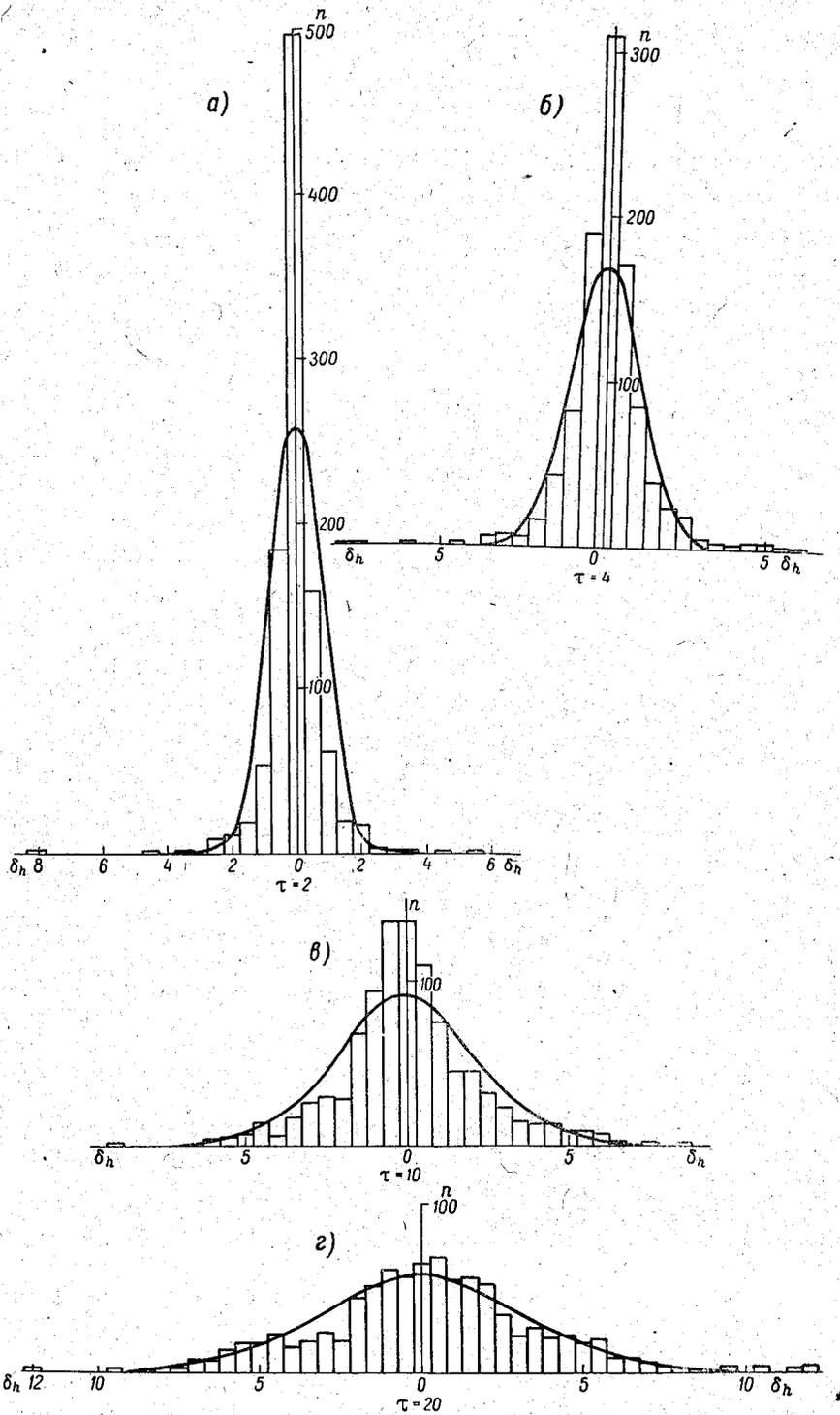


Рис. 4. Распределение экспериментальных погрешностей интерполяции на середину интервала τ .

Процент погрешностей, лежащих в пределах $\pm \sigma$, составляет для интегралов τ , равных последовательно 2, 4, 10 и 20 дням, соответственно: 80, 81, 78 и 74%.

Применение критерия согласия Колмогорова [6] показало, что отклонение от нормального распределения не является случайным.

Таким образом, заведомо ухудшая результаты (сравнительно с действительно имеющимися) для оценки обеспеченности различных величин погрешности при интерполяции на середину интервала можно пользоваться законом нормального распределения.

Результаты, полученные для максимальной ошибки, позволяют ожидать, что и для средних по интервалу ошибок использование для оценки обеспеченности закона нормального распределения тоже не уменьшит процент возможных больших ошибок.

Исследование изменчивости плотности снежного покрова проводилось на материале наблюдений тех же станций, которые рассматривались и при изучении высоты снежного покрова, за исключением станций Забайкальского УГМС и УГМС УССР, воспользоваться данными которых не удалось из-за недостаточного числа наблюдений.

Структурные функции плотности снежного покрова всегда описывались уравнением

$$b_d(\tau) = A + B\tau. \quad (6)$$

Параметры A , B и величины структурных функций для различных τ приведены в табл. 9.

Как показывают данные табл. 9, изменчивость плотности снежного покрова значительно меняется даже в пределах одного УГМС. Особенно заметно это по данным станций Омского УГМС. Однако погрешности интерполяции плотности снежного покрова, вычисленные по формуле

$$P_d^2(\tau) = \frac{1}{6} [A + b_d(\tau)], \quad (7)$$

имеют большее сходство в своих величинах (табл. 10). Даже в Омском УГМС станции Яр-Сале и Васисс, различающиеся по величине структурных функций в 5 раз, дают величины погрешностей, которые различаются примерно в 2 раза. Различия в погрешностях других станций этого УГМС значительно меньше. Невелики и их абсолютные величины.

Значительные отличия станции Яр-Сале от других станций того же УГМС по величине структурных функций и погрешностей интерполяции плотности снежного покрова можно объяснить, по-видимому, положением станции (кочковатая тундра в районе Обской губы) и наблюдающимися здесь ветрами, которые вызывают сильный перенос снега и приводят к изменению его плотности.

Погрешности интерполяции на станциях Северо-Западного УГМС отличаются друг от друга меньше, но величины их почти всегда больше, чем на станциях Омского УГМС. Станции УГМС Центральных областей практически все дают одинаковые величины погрешностей интерполяции.

Особенности районов, замеченные при рассмотрении погрешностей интерполяции на отдельных станциях, проявляются еще резче по осредненным данным (табл. 11).

Табличный материал дает основание утверждать, что в разных районах частота измерения плотности должна быть различной. На станциях Омского УГМС, судя по полученным данным, наблюдения над плотностью снежного покрова без большой потери точности можно, по-видимому, проводить реже (один раз в 30—40 дней). На станциях УГМС Центральных областей и особенно Северо-Западного УГМС может

Таблица 9

Значения структурных функций плотности снежного покрова
для различных τ ($\text{г/см}^3 \cdot 10^{-4}$)

Участки	УГМС	Станция	А	В	τ					
					5	10	20	30	40	
Период нарастания										
Открытые	Центральных областей	Гороховец	11,31	0,73	15	19	26	33	40	
		Немчиновка	15,30	0,41	17	19	24	28	32	
		Павлов-Посад	5,89	0,75	10	13	21	29	36	
	Омское	Тюкалинск	3,86	0,44	6	8	13	17	22	
		Васисс	3,44	0,18	4	5	7	9	11	
		Леуши	9,14	0,32	11	12	16	19	22	
		Яр-Сале	21,13	0,84	25	30	38	46	55	
	Северо-Западное	Ефимовская	7,86	0,61	11	14	20	26	32	
		Белогорка	14,36	0,66	18	21	28	34	41	
		Будогощь	19,93	1,21	26	32	44	57	68	
		Шугозеро	24,43	0,83	29	33	41	49	58	
			Вознесенье	14,68	0,90	19	24	33	42	51
	Защищенные	Центральных областей	Павлов-Посад	5,23	0,67	9	12	19	25	32
			Селиваново	8,71	0,44	11	13	18	22	26
		Омское	Тюкалинск	5,00	0,20	6	7	9	11	13
Васисс			2,75	0,13	3	4	5	7	8	
Леуши			7,89	0,15	9	9	11	13	14	
Северо-Западное		Лисий Нос	7,87	0,66	11	14	21	28	34	
		Шугозеро	9,32	0,55	12	15	20	26	31	
		Белогорка	18,39	0,74	22	26	33	40	48	
Период схода										
Открытые		Центральных областей	Гороховец	0,00	2,03	10	20	41		
			Немчиновка	3,15	3,38	20	37	71		
			Павлов-Посад	11,05	0,73	15	18	26		
	Омское	Тюкалинск	51,00	2,00	61	71	91			
		Васисс	1,50	4,11	22	43	84			
		Леуши	39,50	0,42	42	44	48			
		Яр-Сале	184,60	11,43	242	299	414			
	Северо-Западное	Ефимовская	26,40	1,36	33	40	54			
		Будогощь	70,70	3,80	90	109	147			
		Шугозеро	47,90	9,14	94	139	231			
		Вознесенье	10,10	9,02	55	100	190			
			Белогорка	54,40	1,76	63	72	90		
	Защищенные	Центральных областей	Павлов-Посад	28,15	0,00	28	28	28		
			Селиваново	9,52	5,94	39	69	128		
		Омское	Тюкалинск	3,40	3,80	22	41	79		
Васисс			14,50	3,55	32	50	86			
Леуши			15,30	1,42	22	30	44			
Северо-Западное		Лисий Нос	7,00	8,85	51	95	183			
		Шугозеро	5,10	11,98	65	125	245			
		Белогорка	76,87	1,53	84	92	108			

Таблица 10

Погрешности интерполяции плотности снежного покрова для различных τ
(г/см³ · 10⁻³)

Участки	УГМС	Станция	τ									
			0	5	10	15	20	25	30	35	40	
Период нарастания												
Откры- тые	Централь- ных областей	Гороховец	19	21	22	24	25	26	27	28	29	
		Немчиновка	23	23	24	25	25	26	27	27	28	
		Павлов-Посад	14	16	18	20	21	23	24	25	26	
	Омское	Тюкалинск	11	13	14	16	17	18	19	20	21	
		Васисс	11	11	12	13	13	14	14	15	15	
		Леуши	18	18	19	20	20	21	22	22	23	
		Яр-Сале	26	28	29	30	31	32	34	34	36	
	Северо- Западное	Ефимовская	16	18	19	20	22	23	24	25	26	
		Белогорка	21	23	24	25	26	28	28	29	30	
		Будогошь	26	28	29	31	33	34	36	37	38	
		Шугозеро	28	30	31	32	33	34	35	36	37	
			Вознесенье	22	24	25	27	28	29	31	32	33
Защи- щенные	Централь- ных областей	Селиваново	17	18	19	20	21	22	23	23	24	
		Павлов-Посад	13	15	17	18	20	21	22	24	25	
	Омское	Тюкалинск	13	13	14	15	15	16	16	17	17	
		Васисс	10	10	11	11	12	12	13	13	13	
		Леуши	16	17	17	17	18	18	19	19	19	
	Северо- Западное	Лисий Нос	16	18	19	21	22	23	24	26	27	
		Шугозеро	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
		Белогорка	25	26	27	28	29	31	31	32	33	

Период схода

Откры- тые	Централь- ных областей	Гороховец	4	12	18	22	26			
		Немчиновка	10	20	26	31	35			
		Павлов-Посад	19	21	22	24	25			
	Омское	Тюкалинск	41	43	45	47	49			
		Васисс	3	20	27	33	38			
		Леуши	36	37	37	38	38			
		Яр-Сале	78	84	90	95	100			
	Северо- Западное	Ефимовская	30	32	33	35	36			
		Белогорка	42	44	46	47	49			
		Будогошь	49	52	55	58	60			
		Шугозеро	40	49	56	62	68			
			Вознесенье	18	33	43	51	58		
Защи- щенные	Централь- ных областей	Селиваново	18	28	36	42	48			
		Павлов-Посад	31	31	31	31	31			
	Омское	Тюкалинск	11	21	28	33	37			
		Васисс	22	28	33	39	41			
		Леуши	23	25	27	29	31			
	Северо- Западное	Лисий Нос	25	31	41	50	56			
		Шугозеро	13	34	47	56	64			
		Белогорка	51	52	53	54	55			

Таблица 11

Средние погрешности интерполяции плотности снежного покрова ($\text{г/см}^3 \cdot 10^{-3}$)

Участки	УГМС	τ								τ				
		0	5	10	15	20	25	30	35	0	5	10	15	20
		Период нарастания								Период схода				
Открытые	Центральных областей	19	20	21	23	24	25	26	27	11	17	22	26	29
	Омское	16	17	18	20	21	21	22	23	40	46	50	53	56
	Северо-Западное	22	25	26	27	28	30	31	32	36	42	47	51	54
Защищенные	Центральных областей	15	16	18	19	20	22	23	24	24	30	34	37	40
	Омское	13	13	14	14	15	15	16	16	19	25	29	34	36
	Северо-Западное	20	21	22	23	24	25	26	27	26	39	47	53	58

потребуется меньший интервал времени между наблюдениями. К такому же выводу можно прийти, рассматривая средние относительные погрешности интерполяции (табл. 12).

Большие отличия станции Яр-Сале от других станций несколько сглаживаются при рассмотрении относительных погрешностей интерполяции. Объясняется это, очевидно, наблюдающейся здесь большой плотностью снежного покрова, которая является также следствием ветровой деятельности.

Более значительные абсолютные и относительные величины погрешностей на станциях Северо-Западного УГМС можно объяснить, по-видимому, частыми оттепелями.

Полученные выводы [1], [4] о том, что средние по интервалу погрешности интерполяции в период нарастания значительно меньше, чем в период схода, подтверждаются данными всех станций. Вывод же о том, что погрешности интерполяции на защищенном участке меньше, чем на открытом, подтверждается только в период нарастания, и то если рассматривать осредненные по УГМС погрешности. По отдельным станциям эта закономерность сохраняется только в УГМС Центральных областей и Омском УГМС.

Приведенные выше погрешности интерполяции плотности снежного покрова определяются двумя различными факторами. Первым из них является отклонение изменчивости плотности снежного покрова от линейного закона и вторым, не менее важным — влияние ошибок измерения плотности. Вследствие наличия последних ошибки интерполяции отличны от нуля даже при очень малых интервалах τ .

При $\tau = 0$ погрешность за счет первого фактора отсутствует и погрешность интерполяции полностью определяется ошибками измерения. С увеличением интервала между измерениями τ погрешность за счет ошибок измерения не возрастает по абсолютной величине, в то время как погрешность из-за нелинейности возрастает. Вследствие этого существенно увеличивается роль первого фактора. Тем не менее даже для интервала $\tau = 20$ дням ошибки измерения определяют в среднем 70% общей величины погрешности интерполяции (табл. 12).

Следует иметь в виду, что ошибки измерений, полученные нами при $\tau = 0$, являются результатом трехкратного определения плотности на постоянном участке.

Таблица 12

Относительные погрешности интерполяции плотности снежного покрова (%)

Участки	УГМС	Станция	$\sigma_{0.1 \cdot 2}$	τ				
				0	10	20	30	
Период нарастания								
Открытые	Центральных областей	Гороховец	20,8	9,3	10,7	12,0	13,1	
		Немчиновка	24,4	9,3	9,9	10,4	11,0	
		Павлов-Посад	24,6	5,7	7,3	8,6	9,7	
	Омское	Яр-Сале	28,3	9,2	10,2	11,0	12,0	
		Тюкалинск	23,4	4,7	6,0	7,2	8,2	
		Васисс	18,1	6,1	6,6	7,2	7,7	
		Леуши	20,4	8,8	9,4	9,8	10,8	
	Северо-Западное	Ефимовская	21,8	7,4	8,7	10,1	11,0	
		Белогорка	20,2	10,4	11,9	12,8	13,8	
		Шугозеро	20,0	14,0	15,5	16,6	17,5	
		Вознесенье	20,5	10,7	12,2	13,6	15,1	
		Будогощь	22,2	11,7	13,1	14,8	16,2	
	Защищенные	Центральных областей	Селиваново	18,9	9,0	10,0	11,0	12,1
			Павлов-Посад	23,9	5,5	7,1	8,3	9,4
		Омское	Тюкалинск	20,4	6,4	6,9	7,4	7,9
Васисс			17,2	5,8	6,4	7,0	7,6	
Леуши			17,8	9,0	9,6	10,1	10,6	
Северо-Западное		Лисий нос	19,7	8,1	9,6	11,2	12,2	
		Шугозеро	19,8	9,1	10,1	11,1	12,1	
		Белогорка	20,7	12,1	13,0	14,0	14,9	

При увеличении числа измерений [5] на незамкнутом маршруте или при площадной снегосъемке [7], [8] можно добиться значительно большей точности в определении плотности снежного покрова и тем самым уменьшить ошибку измерения.

Таким образом, уменьшение погрешностей интерполяции и увеличение интервалов времени между измерениями плотности при снегосъемках может идти по пути усовершенствования метода определения плотности снежного покрова при снегосъемках.

Выводы

1. Погрешности интерполяции высоты снежного покрова в различных районах сравнительно близки по абсолютной величине и значительно различаются по средним относительным величинам.

Величины относительных погрешностей интерполяции позволяют утверждать, что интервалы времени между наблюдениями над высотой снежного покрова не могут быть везде одинаковыми.

2. Как в период нарастания снежного покрова, так и на защищенных участках частота измерений может быть меньше, чем в период схода и на открытых участках.

3. Для получения надежных величин структурных функций высоты снежного покрова требуется период наблюдений не менее 10 лет. Погрешности интерполяции, вычисленные в районах с устойчивым залеганием снежного покрова по пятилетнему ряду наблюдений, позволяют в первом приближении решить вопрос о выборе интервалов между наблюдениями.

4. Вероятность получения различных величин погрешности интерполяции может быть оценена по закону нормального распределения.

5. Погрешности интерполяции плотности снежного покрова в различных районах неодинаковы, и, следовательно, частота измерений плотности всюду должна быть различной.

6. В период нарастания снежного покрова частота измерений его плотности должна быть меньше, чем в период схода.

7. Значительная часть погрешности интерполяции плотности снежного покрова обусловлена ошибками измерений. Погрешность собственно интерполяции сравнительно невелика (особенно в период нарастания снежного покрова). Поэтому для увеличения интервала между наблюдениями над плотностью снежного покрова требуется в первую очередь уточнение метода измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гущина М. В. и Трифонова Т. С. Об изменчивости характеристик снежного покрова во времени и о выборе интервалов между снегосъёмками. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
2. Дроздов О. А. и Шепелевский А. А. Теория интерполяции в стохастическом поле метеорологических элементов и ее применение к вопросам метеорологических карт и рационализации сети. Труды НИУ ГУГМС, сер. I, вып. 13, 1946.
3. Каган Р. Л. О точности экстраполяции высоты снежного покрова во времени. (См. настоящий сборник).
4. Лайхтман Д. Л. и Каган Р. Л. Некоторые вопросы рационализации снегосъёмок. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
5. Кузьмин П. П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. Гидрометеиздат, Л., 1960.
6. Романовский В. И. Математическая статистика. ГОНТИ НКТП СССР, М.—Л., 1938.
7. Трифонова Т. С. О пространственной характеристике снежного покрова. (См. настоящий сборник).
8. Трифонова Т. С. К вопросу об изменчивости плотности снежного покрова. Труды ГГО, вып. 96, 1959.

О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА

В статье приводятся сведения об изменчивости высоты и плотности снежного покрова, а также о точности определения их в различных физико-географических районах.

При выборе снегомерного маршрута следует исходить из требования возможно большей точности определения высоты и плотности снежного покрова. При этом важно уметь оценить точность определения этих средних характеристик.

В ранее опубликованных работах [1], [2] было показано, что для характеристики изменчивости высоты и плотности снежного покрова на изучаемой территории и нахождения погрешности определения их средних величин наиболее целесообразно использовать пространственную структурную функцию.

В работе А. В. Дунаевой, А. М. Цыгановой и М. С. Заниной [1] приведены лишь значения пространственной структурной функции высоты снежного покрова, полученные по материалам снегоъемок Дубовской НИГЛ.

На основании этих данных авторами были рассчитаны погрешности определения средней высоты снежного покрова для маршрутов различной протяженности. По-видимому, полученные результаты нельзя механически распространять на другие районы. Для того чтобы судить о точности снегоъемок в том или ином районе, необходимо получить количественное представление об изменчивости характеристик снежного покрова по площади.

Настоящая статья посвящена вопросу изменчивости и точности определения высоты и плотности снежного покрова в различных физико-географических условиях.

Для этой цели нами были обработаны материалы следующих снегоъемок, проведенных в различных районах СССР.

1. Экспедиционные снегоъемки Государственного гидрологического института, которые были проведены в Казахстане (Целиноградская область) в конце марта 1956 г.:

а) маршрутная снегоъемка по треугольнику общей протяженностью около 30 км в пределах водосбора р. Кзылсу. Измерения высоты снежного покрова производились через 25 м (всего 1200 измерений); плотность измерялась через каждые 250 м;

б) снегоъемки по двум маршрутам протяженностью 10 и 13 км вдоль долины р. Каракол (первый маршрут проходил по правому берегу реки, а второй — по левому). Измерения высоты снежного покрова про-

изводились также через 25 м (всего 900 измерений), а плотности — через 250 м;

в) снегосъемки по тринадцати параллельным маршрутам, пересекающим русло р. Каракол. Маршруты были расположены на расстоянии 100 м друг от друга. На каждом маршруте протяженностью 500 м произведено по 20 измерений высоты снежного покрова (всего 260 измерений);

г) снегосъемки по десяти маршрутам, расположенным в районе ст. Колутон. Общая протяженность маршрутов составляла 10 км. Измерения высоты снежного покрова производились через 10 м, а плотности — через 50 м. В течение зимы 1954-55 г. было проведено 5 снегосъемок.

2. Материалы снегосъемок Валдайской НИГЛ, проведенных в бассейне р. Полометь в феврале 1953 г. Всего было произведено более 6000 измерений высоты снежного покрова и свыше 600 измерений плотности.

3. Маршрутные снегомерные съемки ст. Оксочи (Северо-Западного УГМС) на водосборах притоков р. Гриденки (р. Смолечанка и р. Оксочи). Снегосъемки проводились по двум маршрутам общей протяженностью 5100 м в течение двух зим (1955-56 и 1956-57 гг.). Высота измерялась через 20 м, а плотность — через 100 м (с двухкратной повторностью).

4. Маршрутная снегосъемка в районе пос. Колтуши. Ленинградской области, состоящая из двух параллельных маршрутов длиной около 500 м каждый. Измерения высоты снежного покрова на маршрутах производились через 1 м, а плотности — через 10 м.

Для практики наиболее важным является знание средних характеристик изменчивости снежного покрова в каждом районе. Как уже указывалось, пространственная изменчивость высоты снежного покрова характеризуется нами пространственной структурной функцией, определяемой по формуле

$$b_n(\lambda) = \overline{[h(x + \lambda) - h(x)]^2}, \quad (1)$$

где $h(x)$ — высота снежного покрова в точке x ; $h(x + \lambda)$ — высота снежного покрова в точке $(x + \lambda)$; λ — длина интервала, для которого вычисляется изменчивость высоты снежного покрова. Черта сверху означает осреднение по всем интервалам длины λ .

Средние значения структурных функций высоты снежного покрова для рассматриваемых районов приведены в табл. 1. Там же дана средняя высота \bar{h} и значения дисперсии σ_h^2 . Для большей наглядности структурные функции по всем маршрутам представлены в виде графиков на рис. 1.

Из анализа графиков и данных табл. 1 следует, что изменчивость высоты снежного покрова в различных районах является существенно различной. Величина дисперсии высоты снежного покрова изменяется от 22,4 в районе ст. Колутон до 462,7 по маршрутам в бассейне р. Каракол. Характерно, что наименьшие величины дисперсии получены по съемкам, проводившимся в районе ст. Колутон (Казахстан) и в районе пос. Колтуши (Ленинградская область).

Участок снегосъемки в районе пос. Колтуши представляет собой ровное поле.

Участок для снегосъемок на ст. Колутон расположен в условиях однородной подстилающей поверхности (степь с преобладающей травяной растительностью).

Один из продольных маршрутов р. Каракол проходит по изрезанной оврагами местности. Изменчивость высоты снежного покрова здесь значительно больше, чем на других рассмотренных участках.

В районе Валдая рельеф характеризуется большой изрезанностью. На ст. Оксочи снегосъемки проводились на ровных, низменных, слегка заболоченных участках.

Таким образом, изменчивость высоты снежного покрова на территории определяется в первую очередь рельефом и характером подстилающей поверхности.

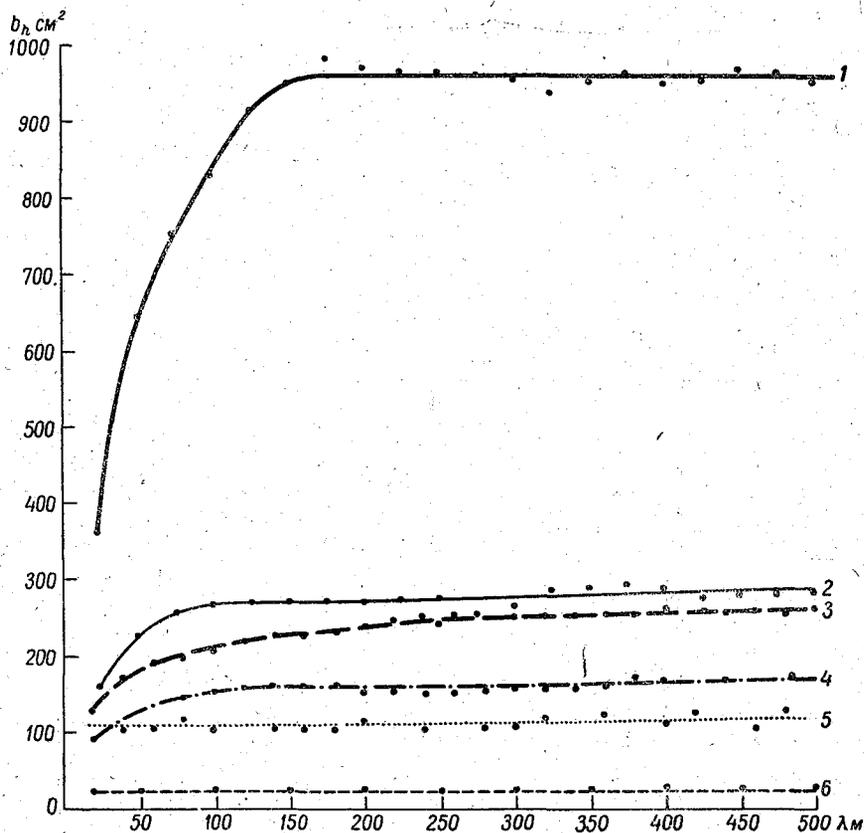


Рис. 1. Пространственные структурные функции высоты снежного покрова.
1 — Каракол, 2 — Кзылсу, 3 — Валдай, 4 — Оксочи, 5 — Колтуши, 6 — Колутон.

Как следует из приведенных в табл. 1 и на рис. 1 данных, с увеличением расстояния между промерными точками прослеживается рост структурной функции. Это указывает на ослабление связи между значениями высоты снежного покрова по мере удаления точек друг от друга. Тем не менее в большинстве районов эта связь прослеживается до значительных расстояний.

В качестве примера в табл. 2 приведены коэффициенты корреляции высоты снежного покрова в зависимости от расстояния между пунктами измерения, рассчитанные по данным снегосъемок Валдайской НИГЛ. Из табл. 2 следует, что связь в этих условиях прослеживается даже на расстоянии 1 км. Соответственно по материалам съемок Валдайской НИГЛ имеет место закономерный рост структурной функции до расстояний свыше 1 км.

Таблица 1

Значения структурных функций высоты снежного покрова b_h см²
при различных интервалах

Район проведения снегосъемки	n	\bar{h} см	σ_h^2 см ²	Интервал λ^m				
				20	40	60	80	100
р. Каракол	910	33,5	462,7	250,0	550,0	700,0	758,0	856,0
р. Кзылсу	1,197	28,0	196,6	125,0	206,0	243,0	260,5	267,0
ст. Колутон	5,000	9,7	22,4	26,0	25,5	28,1	27,9	27,5
пос. Колтуши	1,050	33,4	55,4	107,4	105,3	108,5	114,3	109,6
ст. Оксочи	35,700	74,9	93,7	99,0	123,0	137,0	147,0	156,0
ст. Валдай	6,228	53,6	214,2	133,3	170,0	188,0	198,5	207,5

Район проведения снегосъемки	n	\bar{h} см	σ_h^2 см ²	Интервал λ^m				
				200	300	500	700	1000
р. Каракол	910	33,5	462,7	967,0	974,0	985,0	991,0	1004,0
р. Кзылсу	1,197	28,0	196,6	264,0	265,0	283,1	303,0	321,0
ст. Колутон	5,000	9,7	22,4	27,8	28,3	32,6	32,4	—
пос. Колтуши	1,050	33,4	55,4	114,2	105,6	124,2	—	—
ст. Оксочи	35,700	74,9	93,7	160,0	157,0	180,0	185,0	187,0
ст. Валдай	6,228	53,6	214,2	243,2	253,0	265,2	293,0	337,0

Таблица 2

Корреляционные функции высоты снежного покрова по материалам
снегосъемок Валдайской НИГЛ в бассейне р. Полометь 25/II 1953 г.

Маршрут	Интервал (м)							
	20	60	100	200	300	500	700	1000
Варница—Овинчище	0,54	0,23	0,20	0,17	0,16	0,12	-0,04	-0,01
Варница—Былочино	0,45	0,20	0,11	0,10	0,15	0,07	-0,03	-0,10
Бор—Середя	0,79	0,72	0,69	0,60	0,54	0,43	0,45	0,35
Дворец—Середя	0,63	0,49	0,51	0,43	0,31	0,29	0,30	0,10
Дворец—Городно	0,42	0,36	0,38	0,24	0,21	0,22	0,10	-0,02
Городно—Крестовая	0,77	0,63	0,54	0,42	0,41	0,40	0,34	0,25
Крестовая—Рябиновка	0,82	0,76	0,70	0,63	0,56	0,41	0,18	-0,16
Городно—Ивантеево	0,48	0,29	0,16	0,17	0,15	0,35	0,32	0,30
Киты—Рыжоха	0,49	0,25	0,22	0,10	0,09	0,12	0,07	-0,10
Рыжоха—Лобаново	0,56	0,34	0,34	0,40	0,26	0,16	0,17	0,15
Бор—Городно	0,71	0,61	0,60	0,45	0,30	0,20	0,16	0,21
Средняя корреляционная функция	0,60	0,44	0,40	0,34	0,28	0,24	0,18	0,09

Для учета наличия этой связи при оценке определения средней высоты снежного покрова нами использовалась формула

$$P_h^2(l, n) = \sigma_h^2 - \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) b_h(i\Delta l), \quad (2)$$

где $P_h(l, n)$ означает среднюю квадратическую погрешность определения средней высоты снежного покрова на территории по данным измерений в n точках, расположенных на прямолинейном маршруте длиной l ; i — индекс, по которому производится суммирование; Δl — длина интервала между промерными точками на маршруте.

В тех случаях, когда длина интервала Δl так велика, что связь уже не обнаруживается, можно использовать упрощенную формулу

$$P_h^2 = \frac{\sigma_h^2}{n}. \quad (3)$$

Известно, что указанная формула справедлива лишь в случае статистической независимости измеряемых величин.

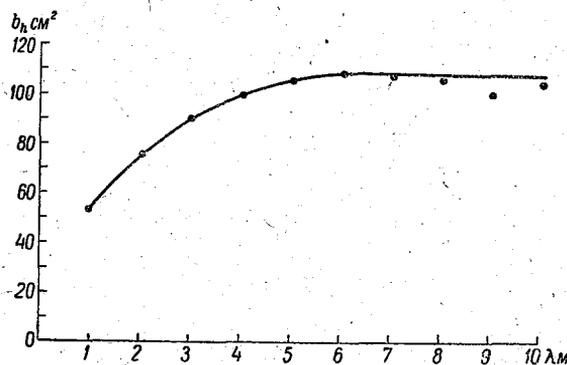


Рис. 2. Структурная функция высоты снежного покрова в районе пос. Колтуши.

При равномерном залегании снежного покрова связь прослеживается до небольших расстояний. Так, по снегосъемкам в районе пос. Колтуши (рис. 2), рост структурной функции прослеживается лишь до расстояний 5—6 м. В этих условиях уже при интервале порядка 10 мин. между измерениями высоты снежного покрова можно считать независимыми. Поэтому в данном случае для оценки точности снегосъемок вполне можно воспользоваться формулой (3). По данным ст. Колутон, насыщающее расстояние несколько больше, чем в районе пос. Колтуши, однако оно все же значительно меньше обычно наблюдаемого в большинстве районов. В табл. 3 приведены значения погрешности определения средней высоты снежного покрова на различных участках по измерениям на маршрутах различной протяженности и с различным числом промерных точек.

Полученные нами данные об изменчивости плотности снежного покрова подтверждают вывод И. С. Шпака [3] о том, что значения плотности снега, измеряемые на расстояниях порядка 100 м и более, можно считать независимыми друг от друга. Ввиду этого точность определения средней плотности по данным снегосъемок оказалось возможным оценить с помощью формулы (3).

Таблица 3

Погрешности определения средней высоты снежного покрова (см)

Длина маршрута (м)	Число измерений						
	1	2	5	10	20	50	100
	р. Кзылсу						
1000	14,0	11,3	9,2	8,4	8,2	8,1	8,1
2000	14,0	10,8	8,6	7,8	7,3	7,2	7,2
3000	14,0	10,6	8,2	7,4	6,8	6,6	6,5
	Оксочи						
1000	9,7	6,9	5,0	4,3	3,9	3,7	3,6
2000	9,7	6,9	4,6	3,6	3,0	2,8	2,7
	Валдай						
1000	14,6	12,2	10,4	10,0	9,8	9,7	9,7
2000	14,6	11,4	9,6	8,38	8,7	8,6	8,5
	Колтуши						
Произвольная	7,4	5,3	3,3	2,3	1,7	1,0	0,7
	Колутон						
500	4,7	3,9	3,3	3,1	3,0	2,9	2,8
1000	4,7	3,8	3,2	3,0	2,9	2,8	2,7

Полученные значения средних квадратических погрешностей определения плотности P_d в зависимости от числа измерений ее m приведены в табл. 4. Там же даны значения средней плотности снега \bar{d} и дисперсии σ^2 .

Представляет интерес рассмотреть величины, из которых могут складываться средние значения.

Таблица 4

Погрешности определения средней плотности снежного покрова ($10^2 P_d$ г/см³)

Район проведения снегосъемки	m	\bar{d} г/см ³	$10^4 \sigma_d^2$ г/см ³	Число измерений m						
				100	50	20	10	5	2	1
р. Каракол	91	0,23	28	0,53	0,75	1,2	1,7	2,4	3,7	5,3
р. Кзылсу	125	0,30	16	0,40	0,56	0,89	1,3	1,8	2,8	4,0
ст. Колутон	1050	0,14	14	0,37	0,53	0,83	1,2	1,7	2,6	3,7
пос. Колтуши	92	0,32	16	0,39	0,56	0,88	1,2	1,8	2,8	3,9
ст. Оксочи	350	0,19	12	0,34	0,44	0,75	1,1	1,5	2,4	3,4
ст. Валдай	636	0,23	5	0,22	0,36	0,57	0,7	1,0	1,6	2,2

При подборе материалов мы обратили внимание на такие районы, где можно было бы ожидать больших расхождений в характере изменчивости снежного покрова на разных участках территории и в различных направлениях снегомерных маршрутов.

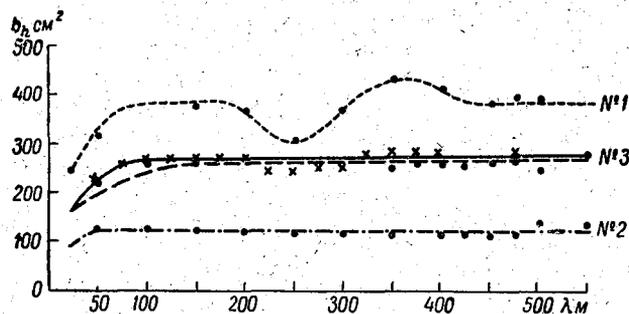


Рис. 3. Структурные функции высоты снежного покрова по трем маршрутам в водосборе р. Кзылсу.

На рис. 3 приведены значения структурной функции отдельно для каждой из десятикилометровых сторон большого треугольника (Целиноградская область). Хотя средние высоты снежного покрова по каж-

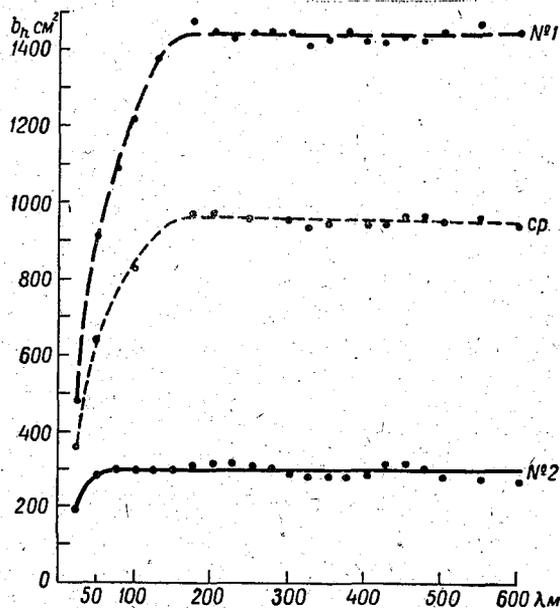


Рис. 4. Структурные функции высоты снежного покрова по двум маршрутам в водосборе р. Каракол.

дому из этих трех маршрутов мало отличаются друг от друга, однако различия в характере распределения довольно заметны.

На маршруте № 1 структурная функция принимает наибольшие значения, на маршруте № 3 — наименьшие, а на маршруте № 2 структурная функция близка к средней структурной функции, полученной по данным

всех трех маршрутов. Такое различие в характере изменчивости высоты снежного покрова объясняется особенностями рельефа местности, по которой проходили маршруты. Маршрут № 1 пересекал холм, и поэтому высота снежного покрова на нем изменялась от 13 до 130 см. Маршрут № 3 проходил по ровной местности.

Еще большее различие в характере изменчивости высоты снежного покрова наблюдается на маршрутах, проходящих вдоль русла р. Каракол.

Значения структурных функций, рассчитанные по каждому из этих маршрутов, приведены на рис. 4.

Левый берег р. Каракол сильно изрезан оврагами и балками, и на маршруте, проходящем по этому берегу (маршрут № 1), изменчивость достигает больших значений, чем на маршруте, проходящем по правому берегу. Средняя же высота снежного покрова как на одном, так и на другом маршруте одинакова и составляет 34 см.

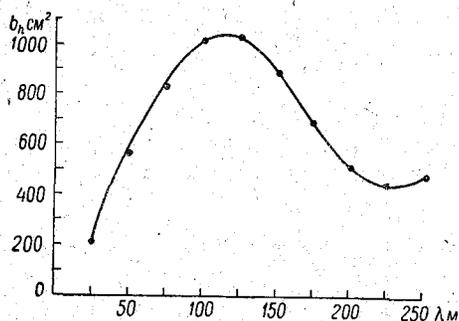


Рис. 5. Структурная функция высоты снежного покрова по маршрутам, пересекающим р. Каракол.

На рис. 5 представлена структурная функция, полученная по снего-съемкам, проведенным по тринадцати поперечникам, пересекающим русло той же реки Каракол. По этим поперечникам структурная функция достигает больших значений — порядка 11 000 см², что примерно в 10 раз больше, чем на маршрутах, проходящих вдоль реки.

Этот результат является естественным, так как поперечники проходят по руслу реки, где на сравнительно малых расстояниях имеются большие различия в условиях залегания снежного покрова. Характерным для таких условий является и волнообразный ход структурной функции с ростом расстояния между промерами.

Приведенные данные показывают, что в районах с пересеченной местностью при изучении изменчивости характеристик снежного покрова нельзя ограничиваться проведением снего-съемки по одной случайно проведенной линии. В таких районах при организации снего-съемок следует учитывать имеющиеся место ландшафтные различия.

В равной мере нельзя ограничиваться данными лишь одной снего-съемки. Характер залегания снежного покрова, высота его, дисперсия и структурные функции высоты снежного покрова могут меняться в течение зимы. В качестве примера на рис. 6 и 7 приводятся характеристики изменчивости высоты снежного покрова в течение зимы на станциях Оксочи и Колутон. Из приведенных данных следует, что один и тот же маршрут в течение зимы может обеспечивать различную точ-

ность определения средней высоты снежного покрова на территории. Это обстоятельство должно учитываться при выборе маршрута снегосъемки.

Приведенные выше результаты показывают, что пространственная изменчивость характеристик снежного покрова в разных физико-геогра-

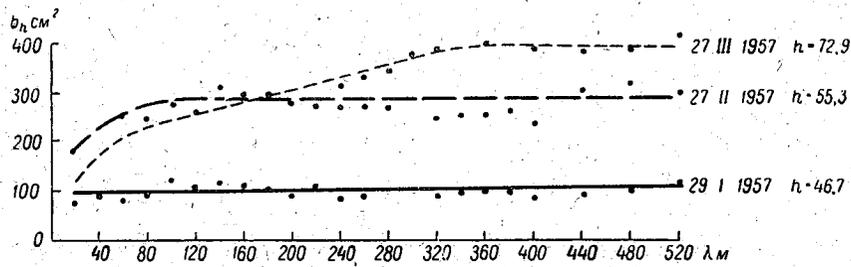


Рис. 6. Структурные функции высоты снежного покрова в различные периоды зимы для ст. Оксочи.

фических районах может быть существенно различной. Это вынуждает производить изучение данных характеристик отдельно для каждого большого района.

При исследовании пространственной изменчивости нужно использовать материалы снегосъемок, полученных в течение нескольких сезонов.

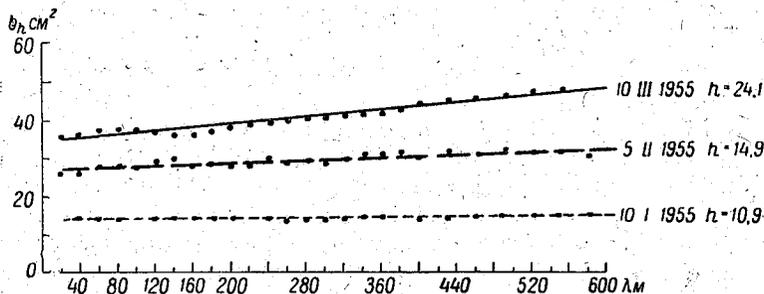


Рис. 7. Структурные функции высоты снежного покрова в различные периоды зимы для ст. Колутон.

Учитывая различия в характере залегания снежного покрова, имеющие место в разных физико-географических районах, можно прийти к выводу о невозможности выработки единой методики проведения снегосъемок для всей территории СССР. Целесообразно на основании изучения характеристик залегания снежного покрова в каждом районе установить наиболее рациональную методику проведения снегосъемок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунаева А. В., Цыганова А. М., Занина М. С. Изучение пространственной изменчивости характеристик снежного покрова. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
2. Лайхтман Д. Л., Каган Р. Л. Некоторые вопросы рационализации снегосъемок. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
3. Шпак И. С. О точности наблюдений за снежным покровом при снегосъемках. Труды ГГИ, вып. 45, 1954

О ТОЧНОСТИ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВО ВРЕМЕНИ

В статье рассматривается вопрос о точности разных способов экстраполяции метеорологических элементов во времени применительно к высоте снежного покрова.

Для практических целей часто бывает необходимо производить экстраполяцию, т. е. определять неизвестные последующие значения метеорологического элемента по известным предыдущим значениям его. Существуют различные способы экстраполяции, и наиболее пригодны те из них, которые обеспечивают наибольшую точность при возможно более простых расчетах. Поэтому очень важен вопрос о точности экстраполяции.

Теория экстраполяции и интерполяции случайных функций в настоящее время хорошо разработана, и подробное изложение ее можно найти в работе А. М. Яглома [6]. Ряд вопросов, особенно важных для метеорологии, рассмотрен в работах О. А. Дроздова и А. А. Шепелевского [5], а также Л. С. Гандина [1], [2]. Полученные результаты могут быть с успехом использованы при решении практических задач.

Из всех возможных способов экстраполяции ограничимся рассмотрением следующих: 1) формальной экстраполяции данных последнего наблюдения, 2) линейной экстраполяции по данным двух наблюдений, 3) оптимальной экстраполяции метеорологического элемента, 4) оптимальной экстраполяции отклонений от нормы.

При рассмотрении вопроса о точности экстраполяции оказывается необходимым знать статистические характеристики изменчивости изучаемого метеорологического элемента во времени. Будем считать известной временную структурную функцию его, определяемую по формуле

$$b_f(\tau) = \overline{[f(t+\tau) - f(t)]^2}, \quad (1)$$

где t — время, τ — некоторый интервал времени, f — изучаемый метеорологический элемент, $b_f(\tau)$ — структурная функция этого времени для интервала времени τ (средний квадрат изменчивости метеорологического элемента за время τ). Черта сверху означает осреднение по некоторому ряду лет.

Предполагается, что выполняется условие однородности величины f во времени, т. е. структурная функция b_f не зависит от исходного момента времени t , а лишь от интервала времени τ .

Для ряда метеорологических элементов это условие выполняется. В частности, как показали М. В. Гущина и Т. С. Трифонова [3], оно выполняется и для высоты снежного покрова, если ограничиться периодами схода или нарастания его.

Структурная функция высоты снежного покрова для интервала времени τ до 30—40 суток хорошо аппроксимируется степенной формулой

$$b_n(\tau) = A\tau^n, \quad (2)$$

где A и n — некоторые параметры, получаемые из эмпирических данных. При этом величина A является существенно положительной, а n лежит в пределах $0 \leq n \leq 2$.

Для значений $\tau > 30$ —40 суток наблюдаются систематические отклонения структурной функции от степенного закона. Это вызвано тем, что структурная функция не может неограниченно возрастать с ростом τ , как следует из (2), а имеет определенные физические пределы. В дальнейшем мы будем ограничиваться интервалом применимости формулы (2).

При экстраполяции метеорологических элементов можно в зависимости от требований задачи использовать данные за один, два, три и т. д. предыдущих срока наблюдений.

Пусть τ — интервал времени между измерениями метеорологического элемента f , произведенными в моменты времени t и $t + \tau$, а $t + \xi$ — некоторый момент времени, для которого необходимо определить значение f (имеется в виду, что $\tau \leq \xi$).

Обозначим через $f_s(t + \xi)$ значение, полученное путем экстраполяции. Точность экстраполяции будем характеризовать величиной

$$E = [f_s(t + \xi) - f(t + \xi)]^2. \quad (3)$$

Наиболее простым способом экстраполяции является формальная экстраполяция результатов последнего измерения. При этом величине f в момент времени $t + \xi$ приписывается значение $f(t + \tau)$, которое она имела при последнем измерении.

Очевидно, что погрешность экстраполяции в этом случае описывается формулой

$$E_1 = b_f(\xi - \tau). \quad (4)$$

Для уточнения экстраполяции естественно привлекать сведения о предыдущей истории случайной функции $f(t)$, т. е. значения ее при предыдущих измерениях. Для простоты ограничимся заданием лишь двух ее значений $f(t)$ и $f(t + \tau)$.

Может показаться, что линейная экстраполяция по данным двух измерений должна быть всегда точнее, чем использование лишь последнего измерения. Однако более подробное рассмотрение показывает, что дело обстоит не так просто.

Погрешность линейной экстраполяции определяется выведенной О. А. Дроздовым и А. А. Шепелевским [5] формулой

$$E_2 = \frac{\xi}{\tau} \left(\frac{\xi}{\tau} - 1 \right) b_f(\tau) + \frac{\xi}{\tau} b_f(\xi - \tau) - \left(\frac{\xi}{\tau} - 1 \right) b_f(\xi). \quad (5)$$

Из (5) видно, что при $\xi = \tau$ погрешность равна нулю, при дальнейшем увеличении ξ она также увеличивается и неограниченно возрастает при $\xi \rightarrow \infty$. Это обстоятельство наглядно иллюстрируется рис. 1. Экстраполированные величины лежат на продолжении хорды, соединяющей $f(t)$ и $f(t + \tau)$, и при достаточном удалении могут стать сколь угодно большими. Величина же f является ограниченной. (например, высота

снежного покрова h не может быть меньше нуля или превышать несколько метров).

При больших интервалах экстраполяции оказывается более выгодным использовать просто значение f за последний срок измерения, так как, согласно (4), в этом случае погрешность экстраполяции оказывается ограниченной вследствие ограниченности структурной функции. При $\xi = \tau$ экстраполяция обоими способами дает одинаковый результат, поскольку в обоих способах используется только значение f в момент $t + \tau$.

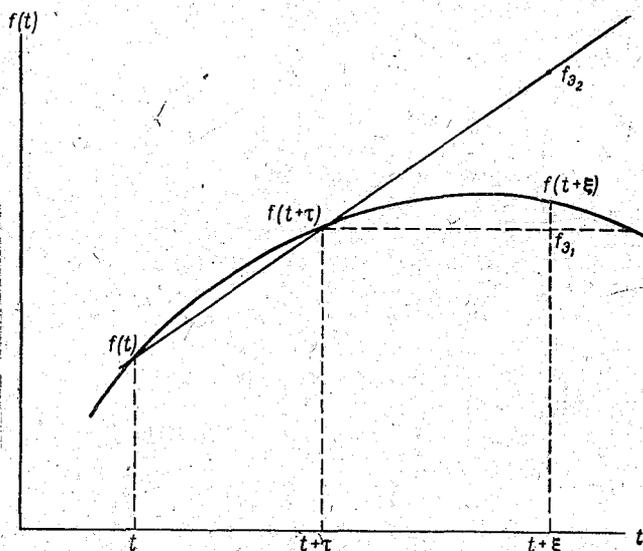


Рис. 1. К определению погрешности экстраполяции.

Интересно сравнить погрешности экстраполяции для промежуточных значений ξ . Для этого составим разность

$$E_1 - E_2 = \left(1 - \frac{\xi}{\tau}\right) \left[b_f(\xi - \tau) + \frac{\xi}{\tau} b_f(\tau) - b_f(\xi) \right]. \quad (6)$$

Ограничимся случаем степенной структурной функции. Подстановка (2) в (6) дает

$$E_1 - E_2 = \left(1 - \frac{\xi}{\tau}\right) b_f(\tau) \left[\frac{\xi}{\tau} + \left(\frac{\xi}{\tau} - 1\right)^n - \left(\frac{\xi}{\tau}\right)^n \right]. \quad (7)$$

Поскольку $b_f(\tau) > 0$, а $1 - \frac{\xi}{\tau} < 0$, то знак разности определяется знаком квадратной скобки.

При $n=2$

$$E_1 - E_2 = \left(1 - \frac{\xi}{\tau}\right)^2 b_f(\tau) > 0.$$

Таким образом, в этом случае линейная экстраполяция по двум измерениям всегда точнее экстраполяции по одному измерению. Это естественно, поскольку $n=2$ соответствует чисто линейному изменению величины f , так что линейная экстраполяция совершенно точно описывает последующий ход ее.

При $n=1$

$$E_1 - E_2 = - \left(1 - \frac{\xi}{\tau}\right)^2 b_f(\tau) < 0.$$

Таким образом, при $n=1$ линейная экстраполяция на любые интервалы времени всегда менее точна, чем экстраполяция по данным последнего измерения. Еще в большей степени это относится к случаям, когда показатель степени $n < 1$.

В результате приходим к выводу, что использование линейной экстраполяции целесообразно при показателе степени n , близком к 2. Показатель степени $n=1$ ограничивает область, где линейная экстраполяция может оказаться выгодной, от области, где использование ее только ухудшает результат.

Назовем критическим $\xi_{кр}$ такой интервал, для которого $E_1 = E_2$.

Этот интервал может быть определен путем решения трансцендентного уравнения

$$\frac{\xi_{кр}}{\tau} + \left(\frac{\xi_{кр}}{\tau} - 1\right)^n - \left(\frac{\xi_{кр}}{\tau}\right)^n = 0. \quad (8)$$

Обозначим $\frac{\xi_{кр}}{\tau} - 1 = x$, тогда уравнение (8) примет вид

$$x_{кр}^n + x_{кр} + 1 - (x_{кр} + 1)^n = 0, \quad -2^{\prime\prime} \quad (9)$$

где $x_{кр}$ означает промежуток времени (в интервалах τ), для которого более выгодна линейная экстраполяция.

Большой интерес представляет определение показателя степени, с которого целесообразно производить линейную экстраполяцию на один интервал времени τ вперед. В этом случае $x_{кр} = 1$ и из (9) следует

$$2^n - 3 = 0, \text{ т. е. } n \frac{\lg 3}{\lg 2} = 1,58.$$

В табл. 1 приведены полученные путем решения уравнения (9) значения критического интервала x для различных показателей степени n .

Таблица 1

Зависимость критического интервала x от показателя степени n

n	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$x_{кр}$	0	10^{-10}	$3 \cdot 10^{-4}$	0,03	0,12	0,42	1,2	3,4	16	610	∞

Таким образом, практически целесообразно пользоваться линейной экстраполяцией лишь при $n > 1,5$.

Ошибки экстраполяции при прочих равных условиях (заданном интервале и показателе степени структурной функции n) определяются значением структурной функции и при большой изменчивости изучаемой величины они могут быть велики даже при $n > 1,5$.

Можно было бы для уточнения попытаться использовать дополнительные данные, т. е. произвести параболическую экстраполяцию. Но такая экстраполяция является довольно громоздкой.

До сих пор при экстраполяции по данным двух измерений использовалась линейная экстраполяция по формуле

$$f_0(t + \xi) = p_1 f(t) + p_2 f(t + \tau); \quad (10)$$

где

$$p_1 = 1 - \frac{\xi}{\tau}, \quad p_2 = \frac{\xi}{\tau}; \quad (11)$$

независимо от характера изменчивости величины f во времени. Между тем мы уже видели, что такая экстраполяция не всегда является самой выгодной. Можно поставить вопрос о том, как надо экстраполировать ту или иную величину, чтобы ошибки экстраполяции были минимальными. Вопрос о наиболее выгодной в этом смысле экстраполяции, которая обычно называется оптимальной, подробно разбирается в работах Л. С. Гандина [1], [2].

Оказывается, что при оптимальной экстраполяции «веса» p_1 и p_2 в формуле (10) для данных τ и ξ не являются постоянными, а однозначно определяются временной структурной функцией экстраполируемого элемента.

В случае оптимальной экстраполяции по двум измерениям получается

$$p_1 = 0,5 - \frac{b_f(\xi) - b_f(\xi - \tau)}{2b_f(\tau)}, \quad p_2 = 0,5 + \frac{b_f(\xi) - b_f(\xi - \tau)}{2b_f(\tau)}. \quad (12)$$

Погрешность оптимальной экстраполяции E_3 определяется формулой

$$E_3 = \frac{1}{4b_f(\tau)} \{ 2 [b_f(\xi) b_f(\tau) + b_f(\xi) b_f(\xi - \tau) + b_f(\tau) b_f(\xi - \tau)] - [b_f(\xi)^2 + b_f(\xi - \tau)^2 + b_f(\tau)^2] \}. \quad (13)$$

В случае степенной структурной функции можно получить

$$p_1 = 0,5 [1 + x^n - (x + 1)^n], \quad p_2 = 0,5 [1 - x^n + (x + 1)^n],$$

$$E_3 = \frac{b_f(\tau)}{4} \{ 2 [(1 + x)^n + x^n + (1 + x)^n x^n] - [1 + x^{2n} + (1 + x)^{2n}] \}. \quad (14)$$

Для сравнения укажем, что

$$E_1 = b_f(\tau) x^n,$$

$$E_2 = b_f(\tau) [x(x + 1) + x^n(x + 1) - x(x + 1)^n]. \quad (15)$$

Нетрудно видеть, что при $n=2$

$$p_1 = -x, \quad p_2 = 1 + x,$$

что соответствует линейной экстраполяции. При $n=1$

$$p_1 = 0, \quad p_2 = 1,$$

что соответствует формальной экстраполяции результата последнего измерения.

Рассмотрим в качестве примера точность экстраполяции на один интервал τ вперед. В этом случае $\xi = 2\tau$, $x = 1$.

$$E_1 = b_f(\tau),$$

$$E_2 = 4b_f(\tau) - b_f(2\tau),$$

$$E_3 = \frac{b_f(2\tau)}{4b_f(\tau)} [4b_f(\tau) - b_f(2\tau)]. \quad (16)$$

Для степенной структурной функции

$$E_1 = b_f(\tau),$$

$$E_2 = b_f(\tau) [4 - 2^n] = k_2 b_f(\tau),$$

$$E_3 = b_f(\tau) \frac{2^n}{4} [4 - 2^n] = k_3 b_f(\tau). \quad (17)$$

Таким образом, средний квадрат погрешности экстраполяции оказывается пропорциональным величине структурной функции. Коэффициент пропорциональности k зависит от выбора способа экстраполяции.

Из табл. 2 следует, что оптимальная экстраполяция при $0 \leq n \leq 1,5$ существенно точнее линейной. По сравнению с формальной экстраполяцией последнего измерения оптимальная экстраполяция также дает некоторое уточнение ($k_3 < 1$). Однако уточнение это сравнительно невелико. При $n > 1,5$ погрешность оптимальной экстраполяции значительно меньше погрешности экстраполяции одного измерения, однако она немалого меньше погрешности линейной экстраполяции.

Поэтому практически целесообразно пользоваться при $n \leq 1,5$ простой экстраполяцией данных последнего измерения, а при $n > 1,5$ — линейной экстраполяцией двух последних измерений.

Таблица 2

Значения коэффициента пропорциональности k при различных показателях степени n

n	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
k_2	3,00	2,93	2,85	2,77	2,68	2,59	2,48	2,38	2,26	2,13	2,00
k_3	0,75	0,78	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00

n	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
k_2	1,86	1,70	1,54	1,36	1,17	0,97	0,75	0,52	0,27	0
k_3	0,99	0,98	0,95	0,90	0,83	0,73	0,61	0,42	0,25	0

В табл. 3 и 4 приведены рассчитанные таким образом величины средней квадратической погрешности экстраполяции высоты снежного покрова $P_h = \sqrt{E}$. При расчетах использовались временные структурные функции высоты снежного покрова, полученные М. В. Гушиной [4].

В таблицах приведены соответствующие показатели степени n .

Оказывается, что для периода нарастания снежного покрова показатель степени на всех станциях близок к единице. Для периода схода он несколько больше, что соответствует более правильному изменению высоты снежного покрова. Однако и для периода схода только на нескольких станциях показатель степени больше 1,58. Следовательно, лишь для этих станций целесообразно применять линейную экстраполяцию в период схода. Для периода нарастания таких исключений нет.

Сравнение с приведенными в работе [4] погрешностями интерполяции показывает, что погрешности экстраполяции значительно превышают их. Особенно велики погрешности в период схода. Поэтому для данного периода вряд ли имеет смысл производить экстраполяцию на интервал больше 10 суток, а для многих станций — даже на интервал больше 5 суток.

Приведенные в табл. 3 и 4 величины представляют собой средние квадратические значения погрешности экстраполяции. Можно ожидать, что распределение погрешностей не слишком отличается от нормального, и обеспеченность приведенных величин составляет около 68% (для

погрешностей интерполяции пригодность такой оценки показана в работе [4].

Можно, однако, показать, что существуют более точные способы экстраполяции по сравнению с уже рассмотренными. При такой более точной экстраполяции погрешности существенно меньше, следовательно, приведенные выше величины имеют большую обеспеченность.

Таблица 3

Погрешность экстраполяции высоты снежного покрова (см) на один интервал вперед (период нарастания)

Участки	УГМС	Станция	n	τ суток				
				5	10	15	20	
Открытые	Центральных областей	Гороховец	1,19	3,13	4,76	6,12	7,26	
		Немчиновка	0,84	4,39	5,89	6,97	7,90	
		Павлов-Посад	1,00	4,63	6,55	8,03	9,26	
	Омское	Тюкалинск	0,84	2,38	3,18	3,76	4,25	
		Васисс	1,06	3,61	5,22	6,47	7,53	
		Леуши	1,09	3,38	5,09	6,35	7,43	
		Яр-Сале	0,82	2,29	3,04	3,60	4,06	
	Забайкальское	Менза	1,11	1,32	1,94	2,43	2,86	
		Илька	0,76	1,27	1,65	1,92	2,15	
		Петровский Завод	1,00	1,62	2,30	2,81	3,33	
	Северо-Западное	Ефимовская	1,21	4,84	7,38	9,06	11,21	
		Белогорка	1,02	5,38	7,66	9,42	10,91	
		Будогощь	1,15	4,73	7,02	8,88	10,48	
		Шугозеро	1,04	5,33	7,64	9,40	10,93	
	УССР	Вознесенье	0,98	4,83	6,78	8,26	9,51	
		Амвросиевка	1,07	4,97	7,20	8,95	10,44	
		Джанкой	0,95	5,06	7,05	8,54	9,74	
		Жашков	1,10	4,52	6,65	8,66	9,81	
	Защищенные	Центральных областей	Беловодск	0,84	4,34	5,81	6,90	8,10
			Павлов-Посад	1,02	5,46	7,77	9,56	11,06
Омское		Селиваново	1,16	5,43	8,11	10,29	12,14	
		Тюкалинск	1,08	3,04	4,42	5,49	6,41	
		Васисс	1,20	4,62	7,01	8,93	10,62	
Северо-Западное		Леуши	1,41	3,71	6,05	8,04	9,85	
		Лисий Нос	1,02	5,11	7,27	8,92	10,34	
		Шугозеро	1,07	7,16	10,52	13,18	15,47	
		Белогорка	1,12	5,77	8,35	10,39	12,21	

В рассмотренном нами варианте оптимальной экстраполяции для расчета используются лишь данные двух измерений в моменты времени t и $t+\tau$. При этом не используются климатологические данные о нормальном ходе изучаемого элемента. В принципе можно ожидать лучшего результата, если при расчетах будет учитываться с некоторым весом нормальное значение $\bar{f}(t+\xi)$. Практически удобнее производить экстраполяцию не самой величины $f(t)$, а отклонения ее от нормы.

В этом случае для определения оптимального способа экстраполяции и оценки его удобнее использовать значения структурных функций не самой величины f , а отклонения ее от нормы $f' = f - \bar{f}$.

Рассмотрение структурных функций, построенных для отклонений высоты снежного покрова от нормальных высот, показывает, что эти функции существенно отклоняются от степенного закона уже при $\tau > 10$ дней.

Таблица 4

Погрешность экстраполяции высоты снежного покрова (см) на один интервал вперед (период схода)

Участки	УГМС	Станция	n	τ суток			
				5	10	15	20
Открытые	Централь- ных обла- стей	Гороховец	1,68	6,44	12,91	16,20	20,66
		Немчиновка	1,56	11,27	19,36	26,56	33,24
		Павлов-Посад	1,57	12,98	22,36	30,76	38,53
	Омское	Тюкалинск	1,44	7,21	11,84	15,85	19,49
		Васисс	1,43	11,05	18,11	24,19	29,70
		Леуши	1,16	7,25	10,85	13,72	16,21
		Яр-Сале	0,99	4,98	7,03	8,59	9,92
		Менза	0,90	5,77	7,90	9,45	10,76
	Забайкаль- ское	Илька	0,91	2,22	3,05	3,68	4,18
		Петровский Завод	1,22	5,19	7,93	10,16	12,11
		Ефимовская	1,72	12,85	23,20	33,04	42,32
	Северо- Западное	Белогорка	1,38	9,72	15,94	21,08	25,71
		Будогощь	1,62	11,34	19,88	27,61	34,86
		Щугозеро	1,49	11,73	19,65	26,58	32,94
		Вознесенье	1,59	11,23	19,52	26,96	33,90
	УССР	Амвросиевка	1,46	7,42	12,20	16,41	20,24
		Жашков	1,60	13,18	22,95	31,55	39,72
		Беловодск	1,15	5,81	8,67	10,95	12,92
Защищен- ные	Централь- ных обла- стей	Павлов-Посад	1,60	13,71	23,84	33,02	41,56
		Селиваново	1,57	11,79	20,31	27,92	34,99
	Омское	Тюкалинск	1,48	10,76	17,99	24,31	30,09
		Васисс	1,52	14,50	24,58	33,46	41,65
		Леуши	1,58	12,89	22,21	30,57	38,35
	Северо- Западное	Лисий Нос	1,58	12,14	21,01	28,97	36,39
		Щугозеро	1,68	12,23	21,85	30,69	38,59
		Белогорка	1,44	10,78	17,80	23,85	29,31

Для иллюстрации на рис. 2 приводятся в логарифмических координатах структурные функции для ст. Гороховец. Сплошная линия представляет собой структурную функцию самой высоты снежного покрова, а штриховая — структурную функцию отклонений от нормы (вместо норм практически использовались несколько отличающиеся от них средние высоты за 10 лет на данное число).

Отклонения структурной функции от степенного закона являются результатом того, что величины отклонений высоты от нормы менее связаны между собой, чем сами высоты снежного покрова.

Обозначим $B_f(\tau)$ значения структурной функции, определенные по отклонениям величины f от нормы, а σ_f^2 дисперсию метеоэлемента f от-

носительно среднего. Путем несложных преобразований формул Л. С. Гандина [1] можно получить формулы для определения «весов» p_1 и p_2 :

$$p_1 = \frac{2[B_f(\tau) + B_f(\xi - \tau) - B_f(\xi)]\sigma_f^2 - B_f(\tau)B_f(\xi - \tau)}{4\sigma_f^2 B_f(\tau) - B_f(\tau)^2},$$

$$p_2 = \frac{2[B_f(\tau) + B_f(\xi) - B_f(\xi - \tau)]\sigma_f^2 - B_f(\tau)B_f(\xi)}{4\sigma_f^2 B_f(\tau) - B_f(\tau)^2} \quad (18)$$

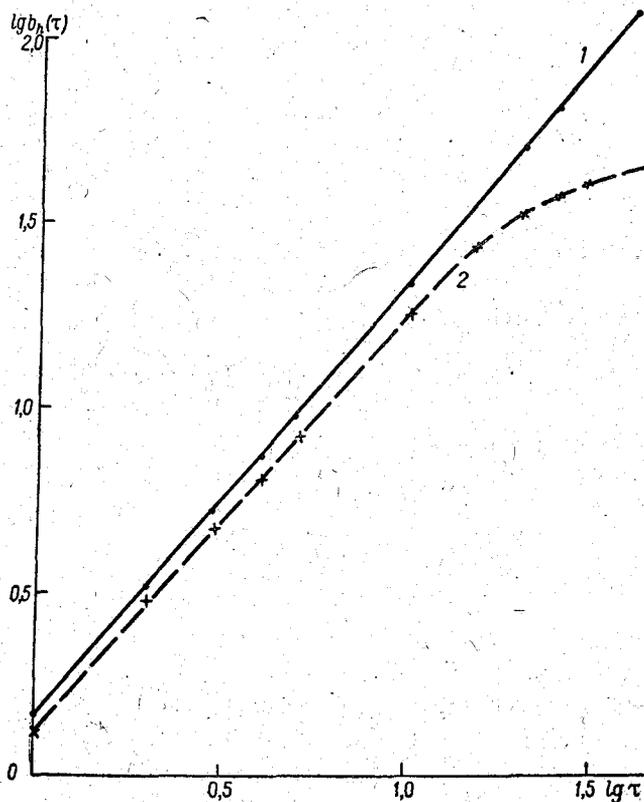


Рис. 2. Временная структурная функция высоты снежного покрова (ГМС Гороховец, период нарастания).
1 — по абсолютным значениям высоты снежного покрова, 2 — по отклонениям от нормы.

Для определения погрешности экстраполяции этим способом E_4 получается формула

$$E_4 = \frac{1}{4B_f(\tau) - \frac{B_f(\tau)^2}{\sigma_f^2}} \left\{ 2[B_f(\xi)B_f(\tau) + B_f(\xi)B_f(\xi - \tau) + B_f(\tau)B_f(\xi - \tau)] - [B_f(\xi)^2 + B_f(\tau)^2 + B_f(\xi - \tau)^2] - \frac{B_f(\tau)B_f(\xi)B_f(\xi - \tau)}{\sigma_f^2} \right\} \quad (19)$$

Расчеты показывают, что погрешности оптимальной экстраполяции отклонений от нормы E_4 сравнительно мало отличаются от погрешно-

стей обычной оптимальной экстраполяции E_3 при небольших интервалах экстраполяции. Однако при увеличении интервала преимущество этого способа выявляется очень наглядно (табл. 5).

Таблица 5

Погрешности различных способов экстраполяции высоты снежного покрова (см²) на интервал вперед на ст. Гороховец (период нарастания)

τ	E_1	E_2	E_3	E_4	β_3	β_4
5	9,79	16,60	9,56	7,56	2,50	0,79
10	22,57	37,60	21,79	14,70	2,56	0,50
15	37,47	62,55	36,44	20,26	2,64	0,25
20	52,67	82,44	50,18	23,01	2,75	0,11

При расчете данных табл. 5 принималось $\xi = 2\tau$:

$$E_4 = \frac{B_f(2\tau)}{4B_f(\tau)} \frac{4B_f(\tau) - B_f(2\tau) - \frac{B_f(\tau)^2}{\sigma_f^2}}{1 - \frac{B_f(\tau)}{4\sigma_f^2}} \quad (20)$$

Из табл. 5 видно, что при экстраполяции на небольшой интервал времени целесообразно пользоваться данными последнего измерения. При больших интервалах времени точность значительно увеличивается при использовании оптимальной экстраполяции отклонений от нормы. При этом получается величина $f_s(t+\xi) = p_1 f'(t) + p_2 f'(t+\tau)$. Значение величины f в момент времени $t+\xi$ определяется как $f_s(t+\xi) = f_s(t+\xi) + f(t+\xi)$.

Погрешность экстраполяции определялась нами в предположении, что известны точные значения величин $f(t)$ и $f(t+\tau)$. В действительности же экстраполяция производится по результатам измерений, полученных с некоторой ошибкой, что приводит к дополнительной погрешности экстраполяции.

Обозначим $\alpha(t)$ и $\alpha(t+\tau)$ ошибки измерений, произведенных в моменты времени t и $t+\tau$. Поэтому в результате измерений получим не точные значения величины f , а значения $f(t) + \alpha(t)$ и $f(t+\tau) + \alpha(t+\tau)$. Путем экстраполяции вместо $f_s(t+\xi) = p_1 f(t) + p_2 f(t+\tau)$ получим новую величину $f_s(t+\xi) + p_1 \alpha(t) + p_2 \alpha(t+\tau)$.¹ Вследствие этого погрешность экстраполяции примет вид

$$E' = \overline{[f(t+\xi) - f_s(t+\xi) - p_1 \alpha(t) - p_2 \alpha(t+\tau)]^2} \quad (21)$$

Ограничимся рассмотрением случайных ошибок измерения, не зависящих друг от друга и от значений величины f . Можно принять, что

$$\overline{\alpha(t)} = \overline{\alpha(t+\tau)} = 0; \quad \overline{\alpha^2(t)} = \overline{\alpha^2(t+\tau)} = \overline{\alpha^2} \quad (22)$$

(величина $\overline{\alpha^2}$ характеризует точность измерений на данной станции).

¹ Имеется в виду, что «веса» p_1 и p_2 получены без учета возможных ошибок измерения. Учитывая их при вычислении p_1 и p_2 , можно добиться дополнительного уточнения экстраполяции.

Тогда из (21) получаем

$$E' = [f(t + \xi) - f_0(t + \xi)]^2 + p_1^2 \overline{\alpha^2(t)} + p_2^2 \overline{\alpha(t + \tau)^2}$$

или

$$E' = E + \beta \overline{\alpha^2}, \quad (23)$$

где $\beta = p_1^2 + p_2^2 > 0$.

Таким образом, возможные ошибки измерений увеличивают погрешность экстраполяции. Степень этого увеличения определяется величиной β и различна при разных способах экстраполяции.

При формальной экстраполяции одного измерения $p_1=0$, $p_2=1$ и $\beta_1=1$ независимо от интервала и от характера изменчивости величины f .

При линейной экстраполяции $p_1=1 - \frac{\xi}{\tau}$, $p_2 = \frac{\xi}{\tau}$.

Поэтому

$$\beta_2 = 1 - 2 \frac{\xi}{\tau} + 2 \frac{\xi^2}{\tau^2}. \quad (24)$$

Величина β_2 не зависит от изменчивости величины f , но зависит от интервала экстраполяции. В частности, при $\xi=2\tau$ получаем $\beta_2=5$. Таким образом, при линейной экстраполяции на интервал вперед погрешности за счет ошибок измерения значительно больше, чем при формальной экстраполяции данных последнего измерения.

В случае оптимальной экстраполяции «веса» p_1 и p_2 , а следовательно, и величина β , согласно формулам (14) и (18), определяются не только интервалом времени, на который производится экстраполяция, но и характером изменчивости величины f , т. е. структурной функцией.

В качестве примера в табл. 5 приведены, кроме погрешностей экстраполяции, высоты снежного покрова E_3 и E_4 , величины β_3 и β_4 , характеризующие соответствующие погрешности оптимальной экстраполяции на интервал вперед за счет ошибок измерения. Оказывается, что наименьшее влияние ошибки измерения оказывают при оптимальной экстраполяции отклонений от нормы, которая и в этом отношении является наиболее выгодной.

Задаваясь конкретными значениями величины $\overline{\alpha^2}$, можно получить более определенное представление о вкладе ошибок измерения в общую погрешность экстраполяции. Полагая, например, для высоты снежного покрова $\overline{\alpha^2}_h = 1 \text{ см}^2$, имеем при $\tau=5$ суток следующие погрешности:

$$E_1' = 9,79 + 1,00 = 10,79 \text{ см}^2,$$

$$E_2' = 16,60 + 5,00 = 21,60 \text{ см}^2,$$

$$E_3' = 9,56 + 2,50 = 12,06 \text{ см}^2,$$

$$E_4' = 7,56 + 0,79 = 8,35 \text{ см}^2.$$

Таким образом, вследствие наличия ошибок измерения оптимальная экстраполяция значений высоты снежного покрова вместо некоторого уточнения по сравнению с экстраполяцией данных последнего измерения дает менее точный результат.

Оптимальная экстраполяция отклонений от нормы сохраняет свою эффективность. Еще более заметно преимущество этого способа при экстраполяции на большие интервалы.

Нами рассмотрен вопрос об экстраполяции с использованием статистических данных об изменчивости экстраполируемого элемента во вре-

мени. Очевидно, что такого рода экстраполяция имеет ограниченную прогностическую ценность. Более точных результатов можно ожидать при использовании для прогноза физических закономерностей, определяющих изменение изучаемой величины во времени. Например, изменение высоты снежного покрова за какой-то период определяется количеством осадков, температурой воздуха и скоростью ветра в течение этого периода. В принципе возможно построить формулы, которые связывали бы приращение высоты снежного покрова с прогностическими значениями этих метеорологических элементов. Однако это не означает, что использование статистических закономерностей и построенных на их основе экстраполяционных формул не может уточнить прогноз.

Возможны различные варианты использования экстраполяционных формул для уточнения прогноза. Рассмотрим исходные положения одного из таких вариантов.

Пусть путем экстраполяции получено для момента $t + \xi$ некоторое значение f_s . Применение прогностической формулы дало некоторое другое значение f_n . В качестве уточненного значения может быть принята некоторая величина

$$f_y = p_s f_s + p_n f_n \quad (25)$$

«Весы» p_s и p_n , с которыми входят величины f_s и f_n , подбираются с учетом требования минимальности ошибки

$$E_y = (f - p_s f_s - p_n f_n)^2 \quad (26)$$

Такая постановка задачи эквивалентна постановке известной статистической задачи об оценке некоторой величины по двум разноточным измерениям ее. Для решения необходимо знать статистические данные об изменчивости величины f во времени, а также характеристики точности прогностической формулы. Последние могут быть найдены при предварительном испытании формулы.

Следует отметить, что формулами (18) и (19) можно пользоваться и для оптимальной интерполяции значений метеорологического элемента f между сроками измерений (при этом $\xi < \tau$). Сравнение точности оптимальной интерполяции с точностью линейной интерполяции показывает, что уточнение заметно лишь при значительных интервалах τ . Например, для ст. Гороховец имеем при $\tau = 20$ суток уточнение на 15%. Это уточнение сравнительно невелико и вряд ли оправдывает применение довольно громоздкой оптимальной интерполяции. Существенно все же, что в случае необходимости интерполяцию можно выполнять с точностью большей, чем точность линейной интерполяции. Более того, дальнейшее уточнение может быть достигнуто, если использовать данные не двух, а большего числа измерений. Поэтому приведенные в работе [4] значения погрешностей интерполяции практически имеют большую обеспеченность, чем можно ожидать исходя лишь из линейной интерполяции.

Таким образом, в результате анализа можно отметить следующее:

1. Точность того или иного способа экстраполяции определяется характером изменчивости экстраполируемого метеорологического элемента во времени.
2. Точность линейной экстраполяции высоты снежного покрова по данным двух последних снегомерных съемок обычно меньше, чем точность формальной экстраполяции данных последней съемки.
3. Обычная оптимальная экстраполяция высоты снежного покрова сравнительно мало уточняет экстраполируемую величину.

4. При значительных интервалах времени целесообразно использовать метод оптимальной экстраполяции отклонений от нормы. При меньших интервалах этот метод не столь эффективен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гандин Л. С. Задача об оптимальной интерполяции. Труды ГГО, вып. 99, 1959.
2. Гандин Л. С. Об оптимальной интерполяции и экстраполяции метеорологических полей. Труды ГГО, вып. 114, 1960.
3. Гущина М. В., Трифонова Т. С. Об изменчивости характеристик снежного покрова и о выборе интервалов между снегосъемками. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
4. Гущина М. В. Изменчивость характеристик снежного покрова во времени и погрешность интерполяции их в различных районах. Труды ГГО (см. наст. выпуск).
5. Дроздов О. А., Шепелевский А. А. Теория интерполяции в стохастическом поле метеорологических элементов и ее применение к вопросам метеорологических карт и рационализации сети. Труды НИУ ГУГМС, сер. 1, вып. 13, 1946.
6. Яглом А. М. Введение в теорию стационарных случайных функций. Успехи математических наук, т. 7, вып. 5 (31), 1952.

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ СНЕГОСЪЕМОК

В статье рассматривается вопрос о целесообразном использовании интегральных кривых распределения и номограмм при обработке материалов снегосъемок. Предложенные приемы обработки расширяют возможности практического применения данных снегосъемок.

В настоящее время накопился огромный материал по снегосъемкам, представляющий большую ценность как для практических, так и научных целей. Часть материалов обработана и опубликована в ежегодниках в виде сводных таблиц, в которых отдельно по годам даны средние декадные значения высот снежного покрова, его плотность и запасы воды в нем, даты устойчивого установления и разрушения снежного покрова.

Как известно, среднее значение любого исследуемого элемента может быть выражено только одной характеристикой. Знание лишь средних величин не всегда будет достаточным. Еще в 1912 г. Е. Е. Слущкий писал: «Может считаться почти общим достоянием та мысль, что арифметическая средняя еще слишком мало говорит нам о характере всей статистической группы и что задача статистики сводится к тому, чтобы по возможности просто описать весь состав подлежащей рассмотрению совокупности» [2].

Для практических целей важно знать не только среднее значение величины, но и составляющие, из которых эта средняя получена. Чтобы расширить возможности применения данных в практике, необходимо наряду со средними величинами давать вероятностные характеристики изучаемого элемента.

Приводимые в Климатологических справочниках СССР таблицы: «Повторяемость зим с различной максимальной высотой снежного покрова (%)» и «Повторяемость различных высот снежного покрова (см) по декадам (%)» не раскрывают полностью внутренней структуры средней величины, поскольку повторяемость различных высот дана по укрупненным градациям (0,1—5, 6—10, 11—20, 21—30, 31—50, 51—75 и т. д.). Например, для гидропрогнозов и сельскохозяйственного производства вовсе безразлично, какие конкретные значения чаще всего принимает высота снежного покрова в тех или иных условиях. В зависимости от преобладания высоты снежного покрова 35 или 50 см условия для перезимовки сельскохозяйственных культур будут неоднозначными. Это справедливо и при различного рода гидрологических расчетах, связанных с проектированием водохранилищ, расходом воды и т. д.

На наш взгляд, для полной характеристики средней величины целесообразно пользоваться интегральными кривыми распределения, кото-

рые позволяют получить возможные значения изучаемого элемента с различной обеспеченностью. Сам метод построения интегральных кривых распределения довольно прост.

Для иллюстрации метода обработки воспользуемся материалами снегосъемки, проведенной 10 января 1948 г. на ст. Коростынь (Ленинградская область), и на ее примере рассмотрим все этапы, связанные с построением кривых распределения.

Выпишем из книжки КМ-5 значения высот снежного покрова, зафиксированные во время снегосъемки.

Данные в том виде, в каком они записаны, имеют самые различные отметки, в расположении которых невозможно выделить какую-либо последовательность. Чтобы уловить в этом множестве измерений характерные особенности в распределении величин, следует прежде всего, не изменяя существа полученных данных, внести в них некоторый порядок и придать им форму, удобную для обозрения.

Таблица 1

Высота снежного покрова на участке снегосъемки

Обеспеченность (%)	Высота (см)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
00	21	19	20	18	25	10	20	21	18	22
10	30	14	26	21	19	18	18	24	18	20
20	22	21	23	26	24	21	14	13	16	14
30	7	14	13	10	10	11	16	16	15	17
40	13	14	11	10	11	10	11	9	11	10
50	8	7	14	17	17	19	25	24	26	25
60	27	25	27	27	17	21	18	20	24	21
70	19	21	14	17	18	18	20	19	21	16
80	23	23	25	15	11	17	18	15	18	18
90	20	25	15	20	19	18	12	21	18	19

Обстоятельный анализ достигается путем составления точечных диаграмм и сводных таблиц.

Прежде чем построить точечную диаграмму, нужно найти экстремальные значения высоты снежного покрова. В нашем примере (табл. 1) наибольшая высота снежного покрова равна 30 см, а наименьшая — 7 см. Следовательно, толщина снега, покрывающего данный участок, будет характеризоваться различными значениями высот, заключенными между этими двумя градациями.

Принимая во внимание, что значения высот записывались с точностью до 1 см, будем иметь 23 различных отсчета. Проведем теперь вертикальную прямую и разобьем ее на 23 одинаковых отрезка. Слева от прямой в соответствии с данными табл. 1 выпишем значения высот в убывающем порядке (от большего к меньшему).

Каждый отрезок на прямой линии будет соответствовать вполне определенной высоте снежного покрова. Далее, начиная с первого измерения и до последнего, будем в зависимости от высоты покрова рядом с каждым отрезком вертикальной прямой линии ставить точку. Каждая следующая для данного значения высоты точка ставится рядом с предыдущей на некотором расстоянии от нее. Полученный указанным способом график известен под названием точечной диаграммы.

На рис. 1 показано, что величины высот снежного покрова располагаются вдоль прямой с неодинаковой плотностью. Число точек, отнесен-

ное к тому или иному делению вертикальной линии, свидетельствует о частоте повторения данных высот на участке снегосъемки и тем самым указывает на общий характер распределения снежного покрова по территории. Реже точки отмечаются на краях прямой и чаще — в ее центральной части. Это служит указанием на то, что основная масса измерений группируется около средней величины.

Точечные диаграммы, как мы видим, дают наглядное представление о характере распределения снежного покрова на участке снегосъемки.

Количественная же оценка полученных результатов может быть выявлена путем вычисления вероятностей. Для этого данные, изображенные на рис. 1, представляют в виде таблицы, где в графе 1 помещают значения высот снежного покрова в убывающем порядке, а в графе 2 указывают, сколько раз была зарегистрирована та или иная высота снежного покрова (табл. 2). Затем для каждой отдельно взятой высоты вычисляют ее вероятность и полученные результаты записывают в графу 3. В графе 4 помещают значения процентной обеспеченности наблюдаемых величин. Под процентной обеспеченностью понимают суммированную вероятность. Пример расчета дан в табл. 2.

Знание крайних значений высоты снежного покрова, так же как и средней высоты снега, не дает еще такого материала, на основании которого можно было бы делать практически необходимые оценки. Для этого важно знать, какие значения высот чаще всего отмечаются на данном участке снегосъемки. Иными словами, какова вероятность появления тех или иных высот. Частота повторений каких-либо значений дает более полное представление о характере распределения высот на данном участке снегосъемки.

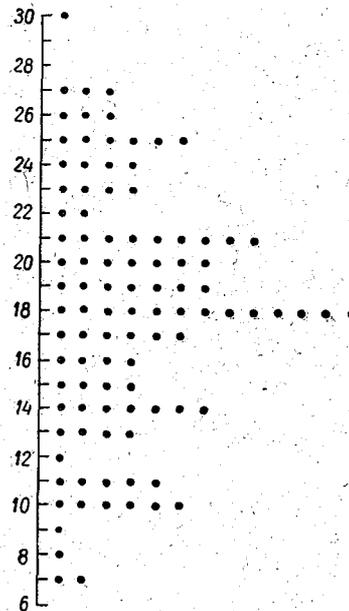


Рис. 1. Точечная диаграмма.

Вычисление вероятности

Таблица 2

Высота снежного покрова h см	Число случаев m	Вероят- ность $P_h\%$	Обеспечен- ность $P\%$	Высота снежного покрова h см	Число слу- чаев m	Вероят- ность $P_h\%$	Обеспечен- ность $P\%$
1	2	3	4	5	6	7	8
30	1	1	1	17	6	6	65
27	3	3	4	16	4	4	69
26	3	3	7	15	4	4	73
25	6	6	13	14	7	7	80
24	4	4	17	13	4	4	84
23	4	4	21	12	1	1	85
22	2	2	23	11	5	5	90
21	9	9	32	10	6	6	96
20	7	7	39	9	1	1	97
19	7	7	46	8	1	1	98
18	13	13	59	7	2	2	100

Как известно, вероятность любого измерения может быть представлена как отношение отдельных измерений к общему числу измерений $\left(\frac{m_1}{n}, \frac{m_2}{n}, \frac{m_3}{n}, \dots, \frac{m_n}{n}\right)$. Математически это выразится формулой

$$P_h = \frac{m}{n} \cdot 100\%,$$

где P_h — вероятность появления высот снежного покрова, m — число случаев с данной высотой снежного покрова, n — общее число измерений.

Чем больше P_h , тем чаще наблюдается данная высота покрова; чем меньше P_h , тем реже отмечаются данные высоты. В нашем примере чаще всего встречается высота снежного покрова, равная 18 см. На ее долю, как показывает табл. 2, приходится 13% всех измерений. Высота с отметкой 7 см составляет 2% от общего числа измерений, а высота, равная 30 см, — только 1%.

Для полной характеристики залегания снежного покрова необходимо знать, с одной стороны, перечень всех возможных значений высоты снежного покрова, а с другой — вероятность появления каждой отдельно взятой высоты.

Например, пользуясь данными табл. 2, будем откладывать по оси ординат значения высот снежного покрова, а по оси абсцисс — значения их процентной обеспеченности. Обычно такие графики строят на миллиметровой бумаге, где вертикальный масштаб берется произвольным, а горизонтальный — желательно 2 мм = 1%.

В результате нанесения данных каждая пара значений будет изображена на графике в виде точки. Эти точки легко соединяются между собой плавной кривой линией. Полученная кривая носит название интегральной кривой распределения. Пример ее построения представлен на рис. 2.

С увеличением изменчивости крутизна интегральной кривой значительно возрастает, особенно на краях. В этих случаях интегральная кривая в верхней своей части будет бесконечно приближаться к оси ординат, но никогда не сольется с ней. Здесь малым приращениям абсцисс будут соответствовать большие приращения ординат. Аналогичная картина в распределении высот может наблюдаться и в нижней части плавной кривой.

Для большей наглядности поместим на рис. 2 интегральную кривую распределения, полученную по материалам снегосъемки, проведенной на той же станции Коростынь 20 января 1956 г.

Нетрудно видеть, что эта интегральная кривая распределения резко отлична от кривой, полученной по материалам снегосъемки за 10 января 1948 г.; это обусловлено различными метеорологическими условиями формирования снежного покрова.

Подробный анализ таких кривых распределения позволит вскрыть влияние погодных факторов на характер залегания снежного покрова по территории. Характер интегральных кривых распределения в зависимости от изменчивости высоты снежного покрова на участке снегосъемки будет различным.

Для открытых участков, где снежный покров залегает весьма неравномерно, интегральные кривые будут характеризоваться большей крутизной, чем для защищенных участков.

Крутые подъемы создают известные затруднения для снятия с интегральных кривых распределения значений высоты снежного покрова, имеющих малую обеспеченность.

Для устранения этих недостатков применяют специальную клетчатку Хазена или любую другую клетчатку вероятностей, которая позволяет уменьшить кривизну вплоть до спрямления кривой распределения.

Основное свойство клетчатки вероятностей состоит в том, что нормальная кривая Гаусса получается на ней в виде прямой линии. С таких кривых распределения легко снимаются любые значения величин, имеющие малую обеспеченность.

Чтобы снять значения высоты снежного покрова различной обеспеченности, нужно иметь интегральные кривые распределения.

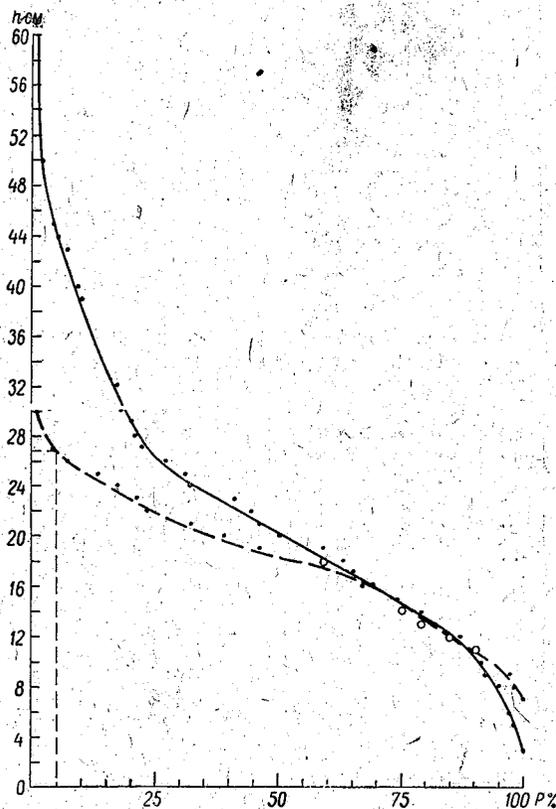


Рис. 2. Интегральные кривые распределения высот снежного покрова.

Пользуясь интегральными кривыми распределения на оси абсцисс соответственно обеспеченностям 5, 10, 20% и т. д., восстанавливают перпендикуляры и продолжают их до пересечения с интегральной кривой распределения. Из точек пересечения проводят прямые линии на ось ординат.

Пересечение прямых с осью ординат даст искомые значения высот с соответствующей обеспеченностью (рис. 2).

Снятые с графиков данные помещают в таблицу.

Данные, помещенные в табл. 3, содержат обработанный материал по 177 снегосъёмкам, проведенным на ст. Коростынь. Обработка каждой снегосъёмки производилась указанным выше способом. Снегосъёмки, при которых средняя высота снежного покрова была менее 5 см, не обрабатывались.

Таблица 3

Высота снежного покрова различной обеспеченности, по материалам
снегосъемок на ст. Коростынь

Зима	Дата снего- съемки	Средняя вы- сота (см)	Максимальная высота (см)	Обеспеченность (%)											Минимальная высота (см)
				5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	
1945-46	30/XI	7	20	16	12	10	9	8	7	6	6	5	3	2	1
	10/XII	7	22	17	15	11	9	8	7	6	6	4	3	1	0
	20/XII	7	27	18	15	11	9	8	7	6	6	4	3	2	1
	31/XII	16	33	28	26	23	19	17	16	14	12	10	8	6	4
	20/I	6	20	16	13	10	9	6	5	3	2	0	—	—	—
	31/I	5	23	16	12	9	8	6	4	3	2	0	—	—	—
	10/II	8	20	18	16	13	11	10	8	7	5	4	3	2	0
	20/II	11	27	20	17	15	13	11	10	9	9	7	6	5	4
	28/II	10	24	18	15	13	11	11	10	9	8	7	5	4	3
	10/III	16	36	27	24	21	19	17	16	15	13	12	9	8	4
	20/III	18	32	29	27	23	21	20	18	16	15	14	12	11	6
	31/III	8	67	26	19	14	11	9	7	5	2	1	0	лед	—
	1946-47	10/XI	5	11	8	7	7	6	6	5	5	4	4	2	2
20/XI		14	30	21	19	17	15	15	13	13	12	11	10	9	5
30/XI		20	29	28	26	23	21	20	19	19	18	18	16	15	14
31/I		9	21	16	14	12	11	10	10	9	8	7	5	5	1
10/II		12	29	20	16	15	14	13	12	11	11	9	7	5	1
20/II		16	28	22	21	19	18	17	17	16	15	13	12	10	7
28/II		19	32	30	28	24	22	20	19	17	16	15	13	11	6
5/III		26	45	40	35	31	29	28	27	24	22	20	16	13	10
10/III		23	40	36	33	29	27	25	24	23	20	18	15	12	9
15/III		24	40	36	33	30	28	26	23	23	22	20	15	11	8
20/III		25	45	36	35	32	30	28	26	24	21	18	16	15	13
25/III		25	53	38	35	32	29	27	25	24	23	20	16	12	5
31/III		10	26	21	18	16	14	12	10	8	6	4	1	1	0
1947-48	20/XII	14	28	23	20	18	16	15	14	13	12	11	10	8	6
	31/XII	13	31	21	20	17	17	15	14	12	10	7	6	4	2
	10/I	18	30	27	25	23	21	20	18	17	16	14	11	10	7
	20/I	22	43	33	30	26	24	23	21	20	19	18	16	14	10
	31/I	27	55	38	36	32	30	28	26	24	23	21	20	18	14
	10/II	13	26	22	20	17	15	14	12	11	10	9	8	6	3
	20/II	14	27	22	21	19	17	16	15	13	12	10	9	6	2
	29/II	14	39	29	24	20	17	15	14	12	10	9	6	4	1
	5/III	11	36	23	19	15	14	13	11	10	8	7	6	5	0
	10/III	8	28	20	16	12	10	9	7	6	5	3	2	1	0
	15/III	11	32	25	19	15	13	11	10	9	8	6	5	4	2
	20/III	12	28	24	21	18	15	12	11	10	9	8	6	5	4
	25/III	10	22	20	18	14	12	11	10	9	7	6	6	5	0
31/III	6	28	20	16	12	9	7	5	3	2	1	0	лед	лед	
1948-49	20/I	8	20	14	12	10	10	9	9	8	8	7	6	4	2
	31/I	6	19	12	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1
	10/II	5	15	11	9	8	7	6	6	5	4	3	1	0	лед
	20/III	5	14	9	8	7	6	5	5	5	5	4	3	1	1
1949-50	31/XII	11	21	19	16	14	13	11	11	10	10	9	6	4	3
	10/I	7	15	11	10	10	9	9	8	7	6	5	4	4	3
	20/I	13	29	23	20	16	15	14	13	12	11	10	8	6	4
	25/I	14	26	22	20	17	16	15	14	13	12	11	10	9	6
	31/I	14	29	25	22	18	16	15	14	13	12	11	9	8	6
	5/II	8	18	13	11	10	10	9	8	8	7	7	6	5	3
	10/II	12	19	16	15	15	14	13	12	11	11	10	8	6	5

Зима	Дата снего- съемки	Средняя вы- сота (см)	Максимальная высота (см)	Обеспеченность (%)											Минимальная высота (см)
				5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	
1950-51	15/II	10	15	14	14	12	12	11	11	10	10	9	7	6	4
	20/II	23	32	30	28	26	25	25	24	23	22	19	16	14	12
	25/II	26	39	37	34	31	29	27	25	24	23	21	19	17	14
	28/II	20	33	29	26	23	20	20	19	19	18	17	15	14	11
	5/III	20	30	28	26	24	21	20	20	19	19	19	18	17	15
	10/III	18	29	26	23	20	19	18	18	17	16	15	15	14	11
	15/III	18	33	29	26	23	21	19	18	17	16	14	12	11	10
	20/III	12	25	22	18	15	12	11	10	10	10	9	8	8	4
	31/XII	7	10	10	10	9	8	8	8	7	6	6	5	4	3
	10/I	13	18	18	17	16	15	15	14	13	13	12	10	9	5
	15/I	12	23	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	4
	20/I	21	30	27	26	24	23	22	21	20	19	18	17	15	12
	25/I	18	31	28	25	23	21	20	18	17	15	14	13	11	9
	31/I	20	29	26	25	23	22	21	20	20	19	18	17	16	11
	5/II	21	32	29	27	25	23	22	21	20	19	18	16	15	10
	10/II	19	34	29	26	24	22	20	18	17	17	16	14	13	11
	15/II	19	32	26	25	22	21	20	19	18	18	17	15	14	11
	20/II	19	29	27	25	23	21	20	19	18	17	16	14	12	8
	25/II	22	30	29	27	26	24	23	22	21	20	18	16	15	13
	28/II	24	35	32	31	29	27	25	25	23	21	20	19	18	12
5/III	20	32	29	27	25	23	22	21	20	18	17	15	13	11	
10/III	24	36	34	31	29	28	26	25	23	21	20	18	16	15	
15/III	24	39	35	31	29	27	26	24	24	21	20	17	15	10	
20/III	25	47	37	32	30	28	27	25	24	22	21	18	16	10	
25/III	22	33	32	29	27	25	24	23	21	20	18	17	15	11	
31/III	6	28	18	15	12	10	8	6	4	лед	лед	лед	лед	лед	
1951-52	20/I	6	14	12	11	9	8	6	6	5	5	4	4	3	2
	31/I	10	26	18	17	14	12	10	9	8	6	6	5	4	1
	5/II	10	27	22	17	14	11	10	9	8	7	7	5	5	3
	10/II	12	29	20	17	16	15	14	12	11	11	9	7	5	2
	15/II	13	27	26	23	18	15	13	12	11	10	9	7	5	4
	20/II	12	30	23	20	17	15	13	11	10	9	8	7	6	5
	25/II	9	23	21	19	14	10	9	8	7	6	5	4	4	2
	29/II	9	24	19	16	13	11	10	9	7	6	4	3	2	1
	5/III	14	33	27	24	20	18	16	14	12	10	8	7	6	4
	10/III	12	26	23	20	17	15	13	11	10	10	8	6	5	2
	15/III	10	21	20	18	15	13	11	9	8	7	6	5	4	3
	20/III	14	31	25	23	20	18	16	14	12	10	9	7	6	4
	25/III	16	32	28	24	21	19	18	16	15	13	11	9	9	6
	31/III	16	36	29	25	21	19	17	16	15	14	12	9	8	6
	5/IV	19	37	32	28	23	21	19	19	18	17	15	13	11	6
1952-53	30/XI	10	19	16	14	13	13	12	11	11	10	9	6	5	2
	5/XII	12	25	20	18	16	15	14	13	11	10	9	7	5	3
	10/XII	10	21	17	17	14	13	12	11	10	9	7	4	2	1
	15/XII	14	26	25	23	21	19	17	15	13	11	9	6	4	1
	20/XII	6	21	17	13	10	9	7	6	5	4	3	2	1	1
	31/XII	10	25	23	21	17	15	14	11	8	4	4	3	2	1
	5/I	6	13	11	10	9	9	8	7	6	5	4	3	2	лед
	10/I	25	49	41	36	31	30	28	26	24	21	19	16	14	7
	15/I	24	46	43	39	33	29	26	23	21	19	16	12	9	6
	20/I	22	51	39	33	27	24	22	21	20	19	17	14	12	9
	25/I	30	55	49	45	41	39	35	30	27	23	20	17	15	5
	31/I	28	58	50	47	41	37	32	27	22	21	20	19	16	6
	5/II	22	40	32	31	29	27	24	22	21	20	20	15	11	6

Зима	Дата снего- съемки	Средняя вы- сота (см)	Максимальная высота (см)	Обеспеченность (%)											Минимальная высота (см)
				5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	
	10/II	25	46	40	37	32	29	29	26	23	21	19	16	14	8
	15/II	37	65	60	55	49	45	41	38	34	30	26	22	19	12
	20/II	48	81	72	64	59	54	49	47	45	42	39	35	31	20
	25/II	38	61	52	49	45	42	41	40	38	36	32	27	23	18
	28/II	34	50	48	46	43	40	39	38	33	28	24	19	18	10
	5/III	39	69	62	56	50	45	43	41	39	35	25	20	18	15
	10/III	38	62	55	51	46	42	40	37	35	33	32	20	28	17
	15/III	39	65	53	48	43	41	40	39	38	37	35	32	28	16
	20/III	42	65	57	54	49	47	45	42	40	38	36	32	28	15
	25/III	19	35	31	29	25	21	20	19	18	16	15	12	7	2
1953-54	15/I	5	12	11	9	7	6	5	4	4	3	3	2	2	1
	20/I	5	10	9	9	8	7	6	6	5	5	4	3	3	2
	25/I	8	19	14	12	11	9	8	7	7	6	5	5	4	2
	31/I	8	17	15	13	11	10	10	9	8	6	6	5	5	5
	5/II	11	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	8	7	5
	10/II	9	18	16	14	12	11	10	9	8	7	6	5	5	4
	15/II	14	26	23	20	17	16	15	14	13	12	11	10	9	7
	20/II	14	22	20	18	16	16	15	14	13	12	11	10	9	4
	25/II	13	22	20	18	16	15	14	13	11	11	10	9	8	5
	28/II	14	26	22	20	18	17	16	15	14	12	11	10	8	4
	5/III	5	18	15	14	11	8	7	5	0	—	—	—	—	—
1954-55	30/XI	10	21	18	16	13	11	11	10	10	10	9	7	6	2
	10/XII	9	17	15	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	4
	20/XII	18	33	31	27	24	22	20	18	16	13	11	9	7	3
	31/XII	9	20	29	17	14	12	10	9	8	5	4	3	2	1
	10/I	8	39	16	13	11	10	9	8	6	5	4	3	2	1
	15/I	7	22	16	14	11	10	9	8	6	5	3	2	2	1
	20/I	7	27	19	16	13	10	8	6	5	4	3	2	2	1
	25/I	7	31	19	12	10	9	7	6	5	5	4	3	2	1
	31/I	9	33	22	15	12	11	10	9	7	6	5	4	4	3
	20/II	13	35	24	20	18	16	15	13	12	10	9	7	5	4
	25/II	19	30	27	26	24	22	20	19	18	16	15	13	12	9
	28/II	18	34	28	26	23	21	19	18	16	15	14	12	10	7
	5/III	17	33	29	26	21	20	18	16	15	14	13	11	9	8
	10/III	18	37	29	26	23	21	19	18	17	16	15	12	11	8
	15/III	16	33	27	24	21	19	18	17	15	14	13	10	7	3
	20/III	11	28	21	18	15	13	12	11	10	9	8	6	5	3
	25/III	12	35	32	31	27	26	24	23	21	20	18	16	15	10
	31/III	20	40	29	27	23	21	20	20	19	18	17	14	12	10
	5/IV	23	38	31	30	28	25	25	23	22	20	19	16	14	8
	10/IV	24	36	34	32	30	28	26	25	23	21	18	16	15	14
	15/IV	12	27	23	20	17	15	13	11	10	9	7	5	4	3
1955-56	1/XII	10	16	15	14	13	12	11	10	10	9	8	7	6	5
	10/XII	9	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	4
	20/XII	18	40	31	27	24	22	20	18	16	13	11	9	7	3
	31/XII	9	24	19	17	14	12	10	9	8	5	4	3	2	1
	10/I	20	37	33	31	27	24	21	19	17	16	14	11	9	1
	15/I	17	34	28	25	22	19	17	16	15	14	13	11	9	4
	20/I	21	60	44	39	29	25	22	20	18	16	14	10	8	3
	25/I	21	58	44	35	30	25	21	19	18	16	14	11	8	4
	31/I	27	63	46	42	36	32	30	28	26	20	17	14	12	8
	5/II	26	61	42	37	34	31	28	26	24	22	18	15	13	8
	10/II	27	58	41	38	34	31	29	28	26	22	19	17	16	4
	15/II	27	60	42	37	33	31	29	27	26	24	21	17	15	8

Зима	Дата снего- съемки	Средняя вы- сота (см)	Максимальная высота (см)	Обеспеченность (%)										Минимальная высота (см)		
				5	10	20	30	40	50	60	70	80	90		95	
	20/II	24	32	30	28	26	25	25	24	23	22	19	16	14	12	
	25/II	32	56	48	46	41	37	34	32	30	27	24	19	17	10	
	29/II	32	58	53	49	42	37	33	29	26	25	23	21	20	15	
	5/III	20	56	47	38	30	25	20	17	14	12	10	8	7	3	
	10/III	31	56	48	47	41	37	34	32	30	27	24	19	17	10	
	15/III	30	59	50	45	39	35	32	29	26	24	21	19	18	11	
	20/III	22	50	39	35	34	27	25	22	18	16	14	12	10	8	
	25/III	30	52	45	41	37	34	32	30	27	24	22	19	18	16	
	31/III	30	57	48	44	39	35	32	28	26	24	22	20	19	15	
	5/IV	26	52	45	41	35	31	28	27	26	22	16	13	10	7	
	10/IV	28	44	42	39	36	33	31	29	27	23	20	17	14	8	
	15/IV	17	35	28	25	22	20	18	17	16	14	12	10	9	6	
	1956-57	20/XI	9	17	16	14	11	11	10	9	9	8	7	6	5	3
		30/XI	14	25	23	20	18	17	15	14	13	12	11	9	8	6
		31/I	5	10	9	9	7	6	6	5	5	4	3	3	3	1
15/III		12	30	22	20	19	17	15	12	10	9	7	5	5	2	
20/III		14	29	24	22	19	17	16	15	13	12	11	9	8	4	
25/III		19	35	30	26	22	21	20	19	18	17	15	13	11	4	

Анализ табл. 3 показывает, что при одних и тех же средних значениях высоты характер залегания снежного покрова на участке снегосъемки мало меняется.

Для наглядности рассмотрим, как распределяются высоты снежного покрова при средней высоте 10 см. Для этой цели из табл. 3 выберем данные снегосъемок, при которых средняя высота снежного покрова была 10 см, и поместим эти данные в отдельную таблицу (табл. 4).

Таблица 4

Значения высот снежного покрова различной обеспеченности при средней высоте, равной 10 см

Дата снегосъемки	Максималь- ная высота (см)	Обеспеченность (%)										Минималь- ная высота (см)	
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90		95
28 II 1946	24	18	15	13	11	11	10	9	8	7	5	4	3
31 III 1947	26	21	18	16	14	12	10	8	6	4	1	1	0
25 III 1948	22	20	18	14	12	11	10	9	7	6	6	5	0
15 II 1950	15	14	14	12	12	11	11	10	10	9	7	6	4
31 I 1952	26	18	17	14	12	10	9	8	6	6	5	4	1
5 II 1952	27	22	17	14	11	10	9	8	7	7	5	5	3
15 III 1952	21	20	18	15	13	11	9	8	7	6	5	4	3
30 XI 1952	19	16	14	13	13	12	11	11	10	9	6	5	2
10 XII 1952	21	17	17	14	13	12	11	10	9	7	4	2	1
31 XII 1952	25	23	21	17	15	14	11	8	4	4	3	2	1
30 XI 1954	21	18	16	13	11	11	10	10	10	9	7	6	2
1 XII 1954	16	15	14	13	12	11	10	10	9	8	7	6	3
Средняя высота	22	18	17	14	12	11	10	9	8	7	5	4	2

Несмотря на то что снегосъемки произведены по времени в разные даты, характер распределения высот снежного покрова на участке практически остается одним и тем же. Аналогичные результаты получаются и при сопоставлении данных других снегосъемок, имеющих одинаковые средние значения высот.

Заметные изменения в показаниях высоты снежного покрова по различным грациям обеспеченности чаще всего обнаруживаются на крайних грациях (5 и 95% обеспеченности), где в отдельных случаях возможны большие расхождения, но число таких расхождений невелико.

Чтобы яснее представить себе характер этих расхождений, целесообразно вычислить для каждой грации отдельно среднюю высоту снежного покрова, а затем посмотреть, как будут отклоняться высоты снежного покрова за отдельные снегосъемки от полученных средних значений.

Вернемся к табл. 4 и на ее примере покажем, с какими расхождениями при этом приходится встречаться. Результаты расчета даны в табл. 5.

Таблица 5

Отклонения высот снежного покрова по различным грациям обеспеченности от средней интегральной кривой распределения

Дата снегосъемки	Максимальная высота (см)	Обеспеченность (%)										Минимальная высота (см)	
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90		95
28 II 1946	2	0	-2	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	1
31 III 1947	4	3	1	2	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-3	-2
25 III 1948	0	2	1	0	0	0	0	0	-1	-1	1	1	-2
15 II 1950	-7	-4	-3	-2	0	0	1	1	2	2	2	2	2
31 I 1952	4	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-1	0	0	-1
5 II 1952	5	4	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1
15 III 1952	-1	2	1	1	1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	1
30 XI 1952	-3	-2	-3	-1	1	1	1	2	2	2	1	1	0
10 XII 1952	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	-1	-2	-1
31 XII 1952	3	5	4	3	3	3	1	-1	-4	-3	-2	-2	-1
30 XI 1954	-1	0	-1	-1	-1	0	0	1	2	2	2	2	0
I XII 1955	-6	-3	-3	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	3

Из табл. 5 видно, что отклонения высот снежного покрова от средней интегральной кривой распределения, полученной по данным 12 снегосъемок, незначительны.

Представим эти отклонения в виде сводной таблицы (табл. 6).

В табл. 6 показано, что вероятность больших отклонений (6—7 см) мала; она составляет всего лишь 1% общего числа случаев. Основная масса отклонений лежит в пределах точности измерений. На ее долю приходится 93% всех случаев, что указывает на равномерность распределения снежного покрова на участке снегосъемки.

Подобные результаты были получены и при других снегосъемках, сгруппированных по средним высотам снежного покрова.

Выявленная нами устойчивость в распределении высот снежного покрова на участке снегосъемки (при одинаковых средних высотах покрова) позволяет применить к ним графический метод номограмм, впервые внедренный в практику метеорологического обслуживания А. Н. Лебедевым [1].

Сущность этого метода сводится к следующему: по оси ординат откладывают средние значения высот снежного покрова, а по оси абсцисс — возможные значения высот снежного покрова.

Таблица 6

Возможные отклонения высот снежного покрова от средней интегральной кривой распределения

Отклонения от средней Δh см	Число случаев m	Вероятность P_h %	Обеспеченность P %
7	1	0,6	0,6
6	1	0,6	1,2
5	2	1,3	2,5
4	7	4,5	7,0
3	14	9,0	16,0
2	29	18,6	34,6
1	61	39,1	73,7
0	41	26,3	100,0

Для всех снегосъемок соответственно их нормам на график наносят значения высот снежного покрова обеспеченностью 5%, затем 10, 20, 30, 40% и т. д. При этом каждому значению обеспеченности присваивается свой условный знак. Например, величины высот, соответствующие обеспеченности 5%, наносятся на график синими точками, 10% — зелеными точками, 20% — желтыми точками, 30% — черными точками, 40% — красными точками и т. д.

Исходным материалом для построения номограммы могут служить данные, помещенные в табл. 3. Возьмем снегосъемку, проведенную 30/XI 1945 г., и нанесем ее результаты на график. Для этого на оси ординат найдем точку, соответствующую среднему значению высоты снежного покрова, равному 7 см, и проведем от нее прямую линию параллельно оси абсцисс. Затем на оси абсцисс отложим значение высоты, равное 16 см, и из этой точки восстановим перпендикуляр, который продолжим до пересечения с прямой линией. На месте пересечения этих линий поставим синюю точку. Синяя точка на графике будет характеризовать возможное значение высоты снежного покрова с обеспеченностью 5% при средней высоте, равной 7 см. Точно так же наносятся и следующие точки, имеющие обеспеченность 10, 20, 30, 40% и т. д.

После того как будут нанесены данные всех снегосъемок, проводят прямые линии, соединяющие одинаковые значения обеспеченности.

Кривые обеспеченностей проведены на графике через 10% и только на краях, где изменчивость высот снежного покрова наибольшая, — через 5%. В качестве примера такой расчетный график-номограмма дан на рис. 3.

Точки, характеризующие очень большие и очень малые значения высоты снежного покрова, лежат за пределами крайних наклонных линий графика. Наибольшие значения высот расположены правее линии обеспеченности 5%, а наименьшие — левее линии обеспеченности 95%.

Чтобы снять с номограммы значения высот снежного покрова различной обеспеченности для той или иной средней высоты, поступают следующим образом. Отыскивают на графике по оси ординат нужную среднюю высоту и из этой засечки проводят прямую линию, параллельную оси абсцисс. Затем из мест пересечения прямой линии с наклонными ли-

ниями опускают перпендикуляры на ось абсцисс. Точки пересечения с осью абсцисс дадут искомые высоты с соответствующей обеспеченностью.

Градации обеспеченностей, не вошедшие в график, могут быть получены путем линейной интерполяции. Например, необходимо определить, какая будет высота снежного покрова обеспеченностью 75% при средней высоте 15 см. Для этого на оси ординат находят значение высоты, равное 15 см, и отсюда проводят прямую линию таким образом, чтобы она точно приходилась между обеспеченностью 70 и 80%, и из этой точки опускают перпендикуляр на ось абсцисс. Пересечение с осью

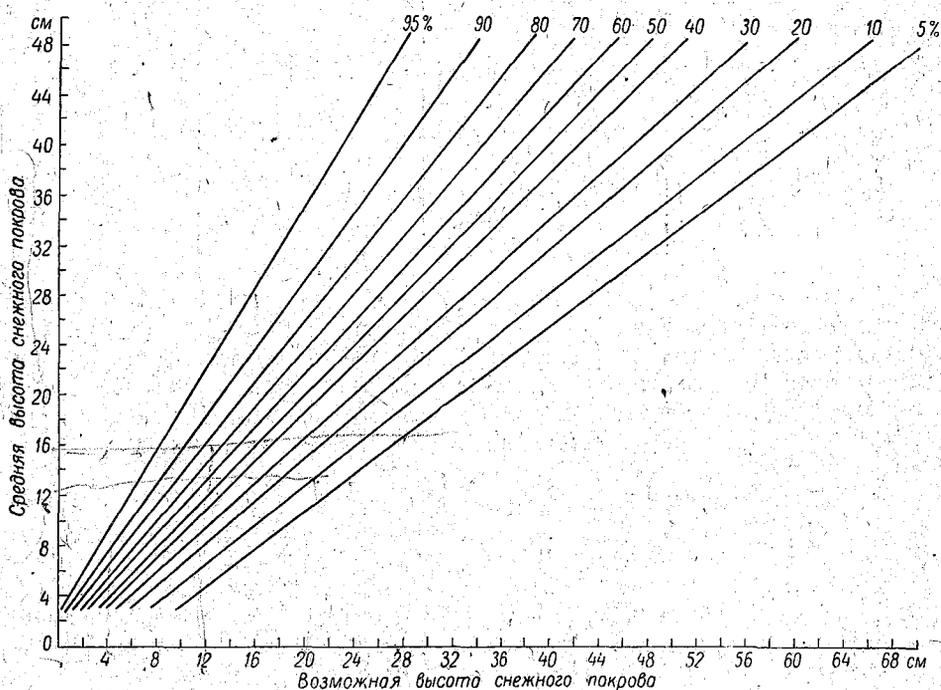


Рис. 3. Номограмма высот снежного покрова (см).

абсцисс даст искомую высоту снежного покрова. В нашем примере она равна примерно 12 см (рис. 3).

Возможные значения высот снежного покрова, снятые с графика-номограммы, приведены в табл. 7.

Точность данных, снятых с номограммы, примерно того же порядка, что и высот, непосредственно вычисленных по фактическим материалам. Расхождения между высотами, вычисленными непосредственно и снятыми с графика, не превышают 2 см.

Исходя из закона больших чисел, можно ожидать, что снегосъемки, проведенные в аналогичных условиях ландшафта (рельеф, подстилающая поверхность и степень защищенности), дадут сходную картину распределения снежного покрова по территории.

Принятая нами методика позволяет выявить характерные особенности залегания снежного покрова в зависимости от местных условий и дает возможность решать вопросы рационального размещения снегомерной сети наблюдений.

Таблица 7

Возможные значения высот снежного покрова,
снятые с графика - номограммы,
по ст. Коростынь

Средняя высота (см)	Обеспеченность (%)										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
5	12	10	8	7	6	5	4	4	3	2	1
6	14	11	9	8	7	6	5	5	4	3	2
7	15	13	11	9	8	7	6	5	4	4	3
8	16	14	12	10	9	8	7	6	5	4	3
9	18	15	13	11	10	9	8	7	6	5	4
10	19	17	14	13	11	10	9	8	7	6	4
11	20	18	15	14	12	11	10	9	8	7	5
12	22	19	16	15	13	12	11	10	9	7	6
13	23	20	18	16	14	13	12	11	9	8	6
14	24	22	19	17	15	14	13	12	10	9	7
15	25	23	20	18	16	15	14	12	11	9	8
16	26	24	21	19	17	16	15	13	12	10	8
17	27	25	22	21	18	17	16	14	13	11	9
18	28	27	24	22	19	18	17	15	13	12	10
19	30	28	25	23	20	19	17	16	14	12	10
20	32	29	26	24	22	20	18	17	15	13	11
21	34	31	27	25	22	21	19	18	16	14	11
22	35	32	28	26	24	22	20	19	17	15	12
23	36	33	29	27	25	23	21	20	18	15	13
24	38	34	31	26	24	24	22	20	18	16	13
25	39	36	32	30	27	25	23	21	19	17	14
26	40	37	33	31	28	26	24	22	20	18	14
27	42	38	34	32	29	27	25	23	21	18	15
28	43	40	35	33	30	28	26	24	22	19	16
29	44	41	37	34	31	29	27	25	22	20	16
30	46	42	38	35	32	30	28	26	23	21	17
31	47	44	39	36	33	31	29	26	24	21	17
32	48	45	40	37	34	32	30	27	25	22	18
33	50	46	41	39	35	33	31	28	26	23	19
34	51	47	42	40	36	34	32	29	26	24	19
35	53	49	44	41	37	36	33	30	27	24	20
36	54	50	45	42	38	36	33	31	28	25	21
37	55	51	46	43	39	37	34	32	29	26	21
38	56	53	47	44	40	38	35	33	30	26	22
39	58	54	48	45	41	39	36	33	30	27	22
40	59	55	50	46	42	40	37	34	31	28	23
41	61	56	51	48	43	41	38	35	32	29	24
42	62	58	52	49	44	42	39	36	33	29	24
43	63	59	53	50	45	43	40	37	34	30	25
44	65	60	54	51	46	44	41	38	35	31	26
45	66	62	56	52	47	44	42	39	35	32	26
46	67	63	57	53	48	46	43	40	36	32	27
47	69	64	58	54	49	46	44	40	37	33	27
48	70	65	59	56	50	48	47	41	38	34	28

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев А. Н. Графики и карты для расчета климатических характеристик различной обеспеченности на Европейской территории СССР. Гидрометеиздат, Л., 1960.
2. Слуцкий Е. Е. Теория корреляции и элементы учения о кривых распределения. Киев, 1912.
3. Дунаева А. В. Построение кривых обеспеченностей для асимметричного распределения. Методы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Под ред. О. А. Дроздова. Гидрометеиздат, Л., 1957.

Т. В. МЕЛЬНИКОВА
(Магаданская ГМО)

О МЕТОДИКЕ НАБЛЮДЕНИЙ НАД СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОКА СССР

В статье рассматриваются некоторые вопросы уточнения методики снегомерных съемок применительно к условиям Северо-Востока СССР. Полученные выводы следует считать предварительными, так как они основаны на сравнительно небольшом материале.

Существующие методы наблюдений над снежным покровом при большой трудоемкости их не дают достаточно правильного представления об интересующих нас характеристиках.

В связи с этим в 1959 г. нами было произведено сравнение различных методов наблюдений над снежным покровом. Для исследований использованы результаты снегомерных наблюдений станций, расположенных на территории Колымского УГМС.

Сравнивались величины снегозапасов, полученные в результате снегомерных съемок, с количеством твердых осадков, измеренных осадкомерами.

В тех районах, где показания осадкомера дают большую погрешность при измерении твердых осадков (в приморских и высокогорных районах Северо-Востока до 35%) и не могут служить критерием для оценки репрезентативности снегомерных участков, мы произвели специальные снегомерные съемки на больших площадях.

По крупномасштабным картам нами были выбраны маршруты с таким расчетом, чтобы промерные линии проходили по всем основным видам микроландшафта, характерным для района станции.

Такие снегомерные съемки с протяженностью маршрутов 25—40 км весной 1959 г. выполнены 25 станциями, расположенными в различных условиях Магаданской области.

Анализируя результаты снегомерных съемок на больших площадях, мы еще раз убеждаемся в том, что в различных видах микроландшафта приморских районов Северо-Востока величины снегозапасов резко отличаются друг от друга.

Сравнение данных специальных снегомерных съемок с данными наблюдений на участках декадных снегомерных съемок, ежедневных наблюдений по постоянным рейкам и с суммами твердых осадков, измеренных осадкомерами, дает следующие результаты.

1. Данные, полученные по действующим декадным снегомерным съемкам и постоянным рейкам, значительно занижают снегозапасы по сравнению с данными снегомерных съемок на больших площадях.

2. Величины снегозапасов, полученные по результатам снегомерных съемок на больших площадях, значительно лучше согласуются с количеством

выпавших твердых осадков, измеренных осадкомером, чем результаты измерений на декадных участках.

Последнее обстоятельство дает основание рекомендовать станциям, расположенным в горных и приморских районах Колымского УГМС, проведение снегоъемок на больших площадях.

Для получения правильного количественного представления о распределении снеготпасов необходимо, чтобы промерные линии размещались по всем основным видам микроландшафта, характерным для района станции. При этом желательно, чтобы длина участков промерных линий, проходящих через различные угодья, была пропорциональна занимаемой этими угодьями площади.

Выбор снегомерного маршрута и числа измерений на нем, а также рациональный интервал времени между снегоъемками выполнялся по методике, разработанной в ГГО [1, 2, 3].

Для этой цели изучалась пространственная и временная изменчивость характеристик снежного покрова в различных районах Колымского УГМС.

Изменчивость высоты снежного покрова характеризуется по территории пространственной структурной функцией, а во времени — временной структурной функцией [1].

Материалом для изучения пространственной изменчивости высоты и плотности снежного покрова послужили результаты экспериментальных снегоъемок, произведенных на 7 станциях Колымского УГМС. Кроме того, использованы данные сплошных снегоъемок, выполняемых Колымской стоковой станцией в бассейне р. Встреча.

Указанные снегоъемки проводились в период максимальных снеготпасов в 1960 г. по маршрутам протяженностью от 10 до 30 км.

В табл. 1 приводятся полученные в результате обработки экспериментальных снегоъемок характеристики пространственной изменчивости снежного покрова.

Таблица 1

Характеристики пространственной изменчивости снежного покрова на станциях Колымского УГМС

Станция	σ_d^2 г ² /см ⁶	σ_h^2 см ²	Структурная функция (σ^2) для интервала (м)					
			20	40	100	300	500	1000
Нижняя Стоковая	0,00176	1696	1060	1385	1780	2445	2890	3320
Среднякан	0,00023	44	61	68	79	84	—	—
Омолон	0,00071	72	62	81	115	144	—	—
Островное	0,00142	42	68	69	79	88	—	—
Марково	0,00160	255	258	314	425	532	—	—
Иульгин	0,00247	554	645	844	980	1090	1108	—
Чаун	0,00193	126	178	218	239	249	251	—
Нагаево	0,00263	606	580	661	772	944	1044	1210

Здесь σ_h^2 и σ_d^2 означает соответственно дисперсию высоты и плотности снежного покрова.

Для изучения временной изменчивости характеристик снежного покрова использованы материалы ежедневных наблюдений по постоянным рейкам и пентадные измерения плотности на этих участках за последние

10 лет тех же станций, где производились экспериментальные снего-съемки.

Временная изменчивость характеристик снежного покрова изучалась отдельно для периода схода снежного покрова и для периода нарастания.

Полученные значения временных структурных функций для различных интервалов времени τ приводятся в табл. 2 и 3.

В результате были вычислены: а) погрешности определения высоты и плотности снежного покрова в зависимости от длины маршрута и числа промерных точек на нем, б) ошибки интерполяции высоты и плотности

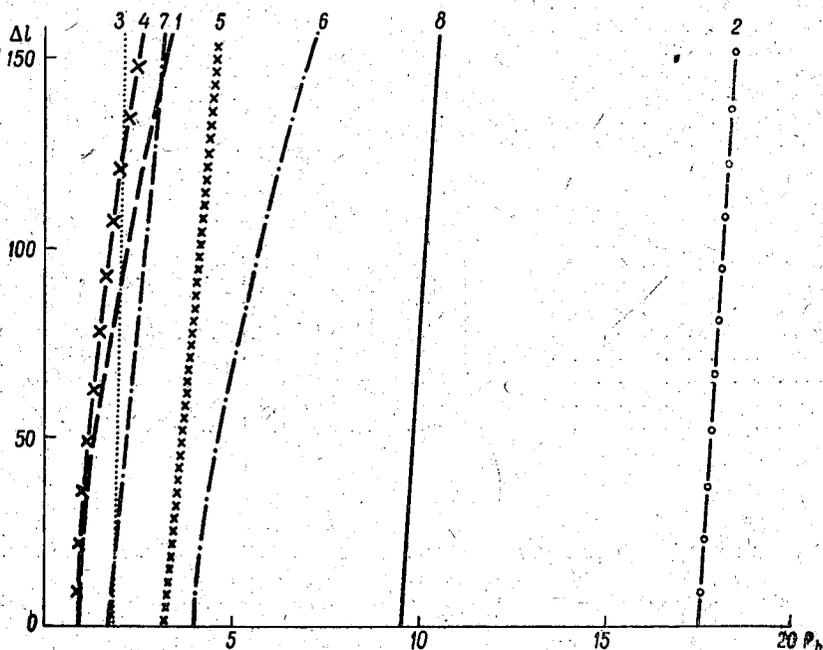


Рис. 1. Зависимость погрешности определения высоты снежного покрова (P_h см) от интервала (Δl м) между промерными точками при длине маршрута 2000 м.

1 — Средникан, 2 — Нижняя Стоковая, 3 — Омолон, 4 — Островное, 5 — Марково, 6 — Иультин, 7 — Чаун, 8 — Нагаево.

снежного покрова в зависимости от интервала времени между измерениями в периоды нарастания и схода.

Как показывают расчетные данные, точность определения высоты снежного покрова мало изменяется по мере увеличения интервала между промерными точками, особенно при длинах маршрута 500 м и более (рис. 1).

В приморских и горных районах изучаемой территории, где зимой наблюдаются сильные ветры, погрешности определения высоты снежного покрова имеют сравнительно большие значения.

Определяя высоту снежного покрова в указанных районах существующими методами, т. е. имея длину маршрута, равную 1000 м, а число промерных точек — 100, мы получаем среднюю высоту со средней квадратической погрешностью, равной на станциях: Стоковая — 22,8 см, что составляет 28% средней высоты; Нагаево — 12,4 см, или 24%; Иультин — 5,8 см, или 11%.

Таблица 2

**Временная структурная функция высоты снежного покрова (см²)
на станциях Колымского УГМС**

Станция	Интервал времени (сутки)							
	1	2	3	5	10	15	20	30
Период нарастания								
Нижняя Стоковая	3,5	7,1	10,8	18,2	35,4	51,7	70,0	120,8
Средникан	7,4	16,4	26,0	41,8	85,0	117,9	152,4	290,5
Омолон	1,7	3,5	5,7	9,8	21,2	35,1	49,4	83,1
Островное	1,4	3,1	4,6	7,3	12,9	20,0	26,7	45,9
Марково	6,0	12,4	18,5	30,9	59,7	86,8	115,0	185,2
Иульгин	13,6	28,9	39,0	55,3	89,1	119,0	132,7	159,6
Чаун	5,8	11,8	17,8	27,9	55,3	87,2	121,2	204,2
Период схода								
Нижняя Стоковая	6,5	19,5	35,7	85,9	232,3	405,6	—	—
Средникан	12,2	37,0	71,8	163,9	439,4	742,3	1046,0	1476,9
Омолон	3,8	12,8	25,9	56,2	119,9	156,2	—	—
Островное	4,8	12,9	24,9	52,3	117,1	160,0	169,1	263,0
Марково	8,1	23,0	40,3	82,1	220,1	336,9	458,3	—
Иульгин	12,8	35,7	59,0	123,7	317,9	606,0	883,2	—
Чаун	19,7	58,8	110,9	274,3	859,9	1428,3	2233,6	4443,8
Нагаево	8,0	17,2	25,9	49,6	127,0	207,5	364,3	612,0

Таблица 3

**Временная структурная функция плотности снежного покрова (г²/см⁶·10⁻⁴)
на станциях Колымского УГМС**

Станция	Интервал времени (сутки)						
	5	10	15	20	25	30	
Период нарастания							
Нижняя Стоковая	4,0	5,7	6,4	7,5	7,9	9,1	
Средникан	2,6	3,3	4,2	4,7	5,4	6,1	
Омолон	5,4	7,6	8,1	8,8	10,7	11,7	
Островное	16,9	13,6	21,2	16,7	23,6	30,9	
Марково	13,3	16,5	17,2	18,6	21,2	23,0	
Иульгин	11,6	17,8	16,1	17,7	17,2	17,4	
Чаун	30,7	29,3	34,6	37,6	36,5	43,4	
Нагаево	20,8	23,3	26,1	29,7	34,5	37,6	
Период схода							
Нижняя Стоковая	9,8	14,1	23,5	27,1	36,0	52,2	
Средникан	16,1	32,3	44,2	58,1	—	—	
Омолон	34,1	69,1	125,5	158,1	258,9	328,8	
Островное	16,1	21,7	—	—	—	—	
Марково	15,6	20,8	—	—	—	—	
Иульгин	22,0	32,8	37,0	36,6	41,5	—	
Чаун	35,5	47,3	55,2	68,3	127,5	—	
Нагаево	45,9	58,4	81,0	84,0	109,3	—	

Наименьшая величина погрешностей определения высоты снежного покрова отмечается в районах с относительно ровным рельефом и слабыми ветрами. Например, при длине промерных линий 1000 м и числе измерений 100 погрешности здесь составляют на станциях: Средникан 1,4 см, Островное 1,3 см, Омолон 2,6 см.

При увеличении длины маршрута погрешности заметно уменьшаются. Уже при длине промерной линии 2000 м на большей части территории Колымского УГМС величина погрешностей определения высоты снежного покрова не превышает 4 см, или 7% средней высоты.

Однако в районах с очень сильными ветрами и изрезанным горным рельефом величина погрешностей и при длине маршрута 2000 м довольно велика (рис. 1).

Погрешность определения плотности снежного покрова в районах Колымского УГМС зависит в основном от скорости ветра. Чем меньше

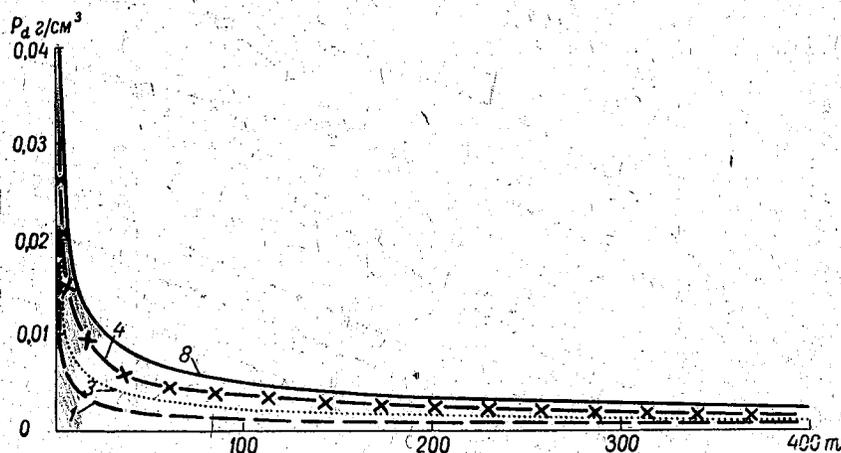


Рис. 2. Погрешность определения плотности снежного покрова (P_d $г/см^3$) в зависимости от числа измерений (m).

Усл. обозначения см. рис. 1.

скорость ветра, тем меньше изменчивость плотности по территории и тем меньшее число измерений дает достаточную точность наблюдений.

При числе измерений, равном 10, величина погрешностей изменяется от 0,005 на ст. Средникан до 0,016 на ст. Нагаево. При увеличении числа измерений до 30 величина погрешностей не превышает 0,01 во всех районах территории Северо-Востока (рис. 2).

Ошибка интерполяции высоты снежного покрова при производстве наблюдений через 10 дней в период нарастания в условиях равнинной местности со слабыми ветрами невелика (не более 2,0 см).

В горных и приморских районах, где изменчивость высоты снежного покрова во времени велика, ошибки интерполяции могут достигать 5 см и более.

Величина ошибок интерполяции высоты снежного покрова увеличивается незначительно, если производить снегосъемки в период нарастания через 30 дней; например, на ст. Омолон 13% средней высоты при установлении снежного покрова, 7% в середине зимы и 6% средней высоты в период максимума снеготпасов.

На ст. Иультин величина ошибки интерполяции высоты снежного покрова равна 6,9 см, что составляет 23% при установлении снежного покрова, 12% в середине зимы и 10% в период максимума снеготпасов (рис. 3).

В период схода снежного покрова ошибки интерполяции высоты его при производстве наблюдений 1 раз в 5 дней несколько больше, чем для периода нарастания, при интервале, равном 10 дням, но все же на всех станциях величина ошибки колеблется в пределах 2,0—3,5 см, что составляет 4—8% средней высоты в начале схода и 8—14% к концу таяния (рис. 4).

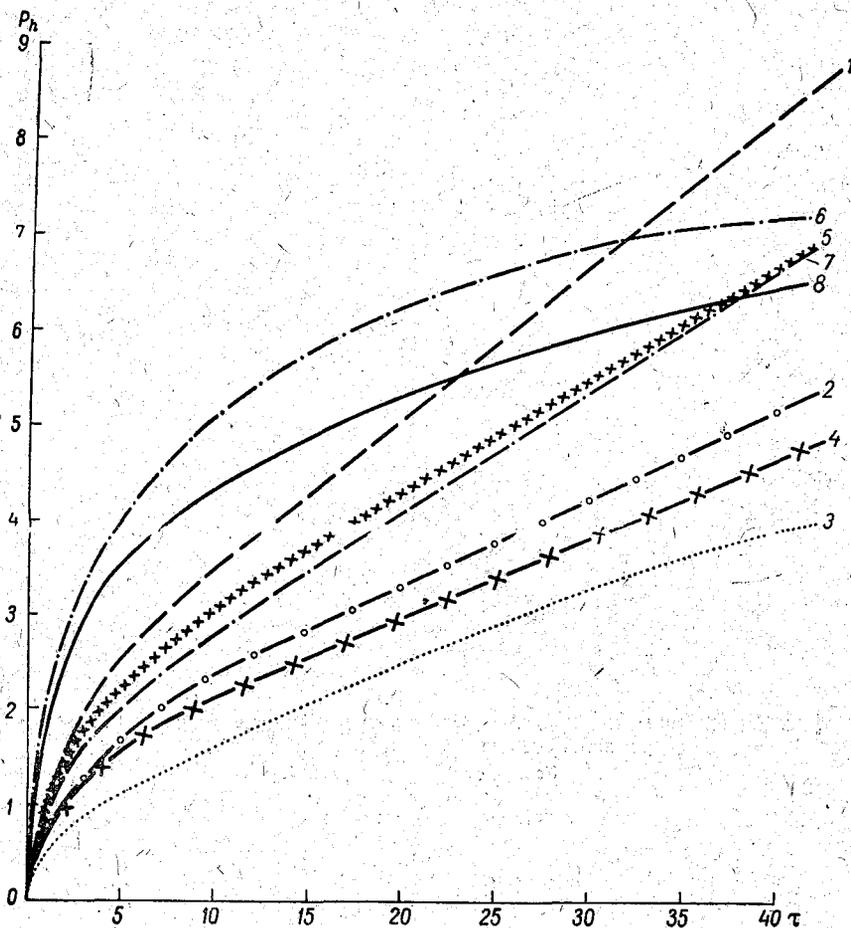


Рис. 3. Ошибка интерполяции высоты снежного покрова (P_h , см) в зависимости от интервала времени (τ дни) в период схода.

Усл. обозначения см. рис. 1.

Ошибки интерполяции плотности снежного покрова в период нарастания мало зависят от интервала времени между измерениями (рис. 5). В районах со слабыми ветрами зимой и устойчивыми низкими температурами величина погрешности интерполяции не превышает 0,014 при частоте наблюдений 1 раз в 10 дней. При увеличении интервала между измерениями до 30 дней величина погрешности в этих районах увеличится всего лишь до 0,016. В приморских районах, где зимой наблюдаются сильные ветры, а температура воздуха нередко достигает 0° , величина ошибок интерполяции велика, но и здесь она мало зависит от интервала между измерениями. Например, на ст. Иультин величина ошибки интерполяции при интервале времени между измерениями 10 дней равна 0,032, а при интервале 30 дней — 0,034 (рис. 5).

Интересно отметить, что и при ежедневном измерении плотности снежного покрова погрешность составляет около 0,03, что объясняется, по-видимому, несовершенством метода измерения плотности. Расчеты показывают, что относительная ошибка определения плотности за счет этого фактора составляет 10% средней плотности.



Рис. 4. Ошибка интерполяции высоты снежного покрова (P_h см) в зависимости от интервала времени (τ дни) в период схода.

Уел. обозначения см. рис. 1.

В период схода снежного покрова ошибки интерполяции плотности снежного покрова при увеличении интервала времени между измерениями увеличиваются больше, чем в период нарастания, особенно в районах с большой высотой снежного покрова, но и здесь решающую роль играют погрешности, возникающие вследствие несовершенства прибора (рис. 6).

Полученные результаты можно представить в следующей форме.

1. Погрешность определения средней высоты снежного покрова при одной и той же длине маршрута и одинаковом числе промерных точек наибольшие значения имеет в приморских и горных районах, а наименьшие — в условиях равнинной местности.

Соответственно наибольшая длина маршрута должна быть в горных и приморских районах. Если считать допустимой относительную погрешность определения средней высоты 10%, то длина промерной линии в этих районах должна быть увеличена до 3—5 км.

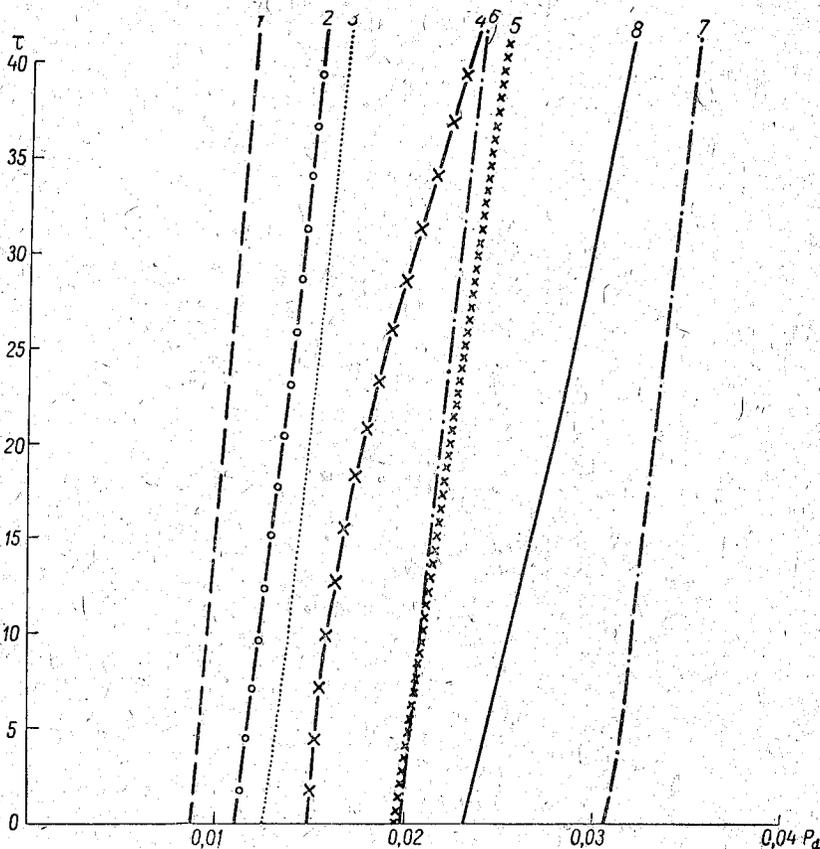


Рис. 5. Ошибка интерполяции плотности снежного покрова (P_d г/см^3) в зависимости от интервала времени (τ дни) в период нарастания.
Усл. обозначения см. рис. 1.

В условиях равнинного рельефа со слабыми скоростями ветра протяженность маршрута может составлять 1 км.

2. Погрешность определения высоты снежного покрова мало зависит от интервала между промерными точками. Поэтому в районах Северо-Востока СССР измерения высоты снежного покрова можно производить через 50 м, а на отдельных станциях — даже через 100 м.

3. Если принять допустимой ошибкой интерполяции высоты снежного покрова в зависимости от интервала времени между наблюдениями равной 10% средней высоты к моменту максимального снегонакопления, то в континентальных районах Северо-Востока в период нарастания снежного покрова снегосъемки можно производить 1 раз в 30 дней.

В период схода в этих же районах ошибка интерполяции не превы-

шает 10% средней высоты снежного покрова в начале года, если снегосъемки производить 1 раз в 10 дней.

4. Величина погрешности определения плотности снежного покрова при одинаковом количестве измерений наименьшие значения имеет в континентальных районах. Количество измерений здесь (в десяти точках), предусмотренное Наставлением, дает точность 0,005—0,012.

В приморских районах при измерениях в десяти точках средняя ошибка определения плотности составляет 0,014—0,016. Однако если увеличить количество измерений до 20, то погрешность определения ее в этих районах не будет превышать 0,012.

В приморских районах, где снежный покров характеризуется большой изменчивостью, интервал времени между снегосъемками целесообразно сохранить прежний, т. е. предусмотренный Наставлением.

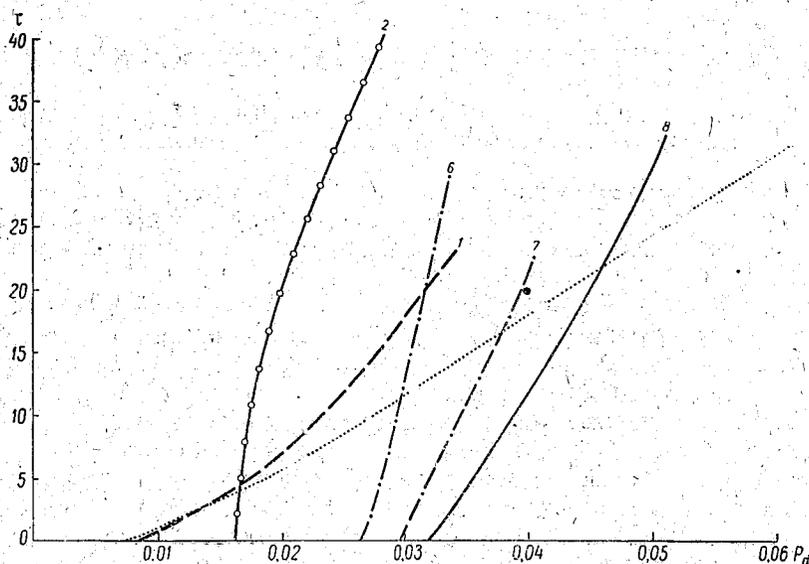


Рис. 6. Ошибка интерполяции плотности снежного покрова (P_d г/см³) в зависимости от интервала времени (τ дни) в период схода.

Усл. обозначения см. рис. 1.

5. Измерение плотности снежного покрова в период нарастания его можно производить, так же как и высоты, в континентальных районах 1 раз в 30 дней, а в приморских районах 1 раз в 10 дней.

В период схода снежного покрова величины ошибок его интерполяции, зависящие от изменчивости ее во времени, несколько больше, чем в период нарастания, поэтому измерение плотности снежного покрова целесообразно производить в континентальных районах 1 раз в 10 дней, а в приморских районах 1 раз в 5 дней.

Приведенные выводы являются предварительными, так как они получены на основе материалов небольшого числа станций Колымского УГМС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лайхтман Д. Л., Каган Р. Л. Некоторые вопросы рационализации снегосъемок. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
2. Гущина М. В., Трифонова Т. С. Об изменчивости характеристик снежного покрова во времени и о выборе интервалов между снегосъемками. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
3. Дунаева А. В., Цыганова А. М., Занина М. С. Изучение пространственной изменчивости характеристик снежного покрова. Труды ГГО, вып. 108, 1960.

Ц. Г. КАНОВИЧ
(Алма-Атинская ГМО)

О НАБЛЮДЕНИЯХ НАД СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ В КАЗАХСТАНЕ

В статье изложены результаты работ, проведенных в связи с усовершенствованием методики наблюдений над снежным покровом в Казахстане.

Данные наблюдений над снежным покровом имеют важное значение при решении ряда практических задач в области народного хозяйства, особенно в условиях Казахстана, в связи с освоением целинных и залежных земель.

Существующие методы наблюдений над снежным покровом не дают полного представления о характере распределения его на местности. Например, постоянные рейки в большинстве случаев устанавливаются вблизи населенных пунктов, и поэтому показания их не всегда являются характерными. Расхождения в данных, полученных по постоянным рейкам и снегомеркам по треугольнику, на отдельных станциях Казахского УГМС иногда достигают 20 см. В условиях пересеченной местности выбрать снегомерный участок в виде треугольника с периметром 1 км, чтобы он по рельефу и растительности был характерным для окружающей местности, не всегда представляется возможным. Известно также, что дождемеры и осадкомеры не обеспечивают достаточной точности измерения, особенно твердых осадков.

В настоящей статье на основе обработки и анализа материалов снегомерных наблюдений сделаны попытки уточнить существующую методику применительно к местным условиям Казахстана.

Для оценки надежности проводимых наблюдений над снежным покровом нами были организованы на ряде станций Казахского УГМС маршрутные снегомерные съемки в зимы 1958-59 и 1959-60 гг. Маршруты выбирались на расстоянии 2—3 км от населенных пунктов в виде прямых или ломаных линий протяженностью 2—5 км в зависимости от разнообразия характера подстилающей поверхности. Высота покрова измерялась через 10 м, а плотность — через 100 м. Снегомерные съемки производились в период устойчивого залегания снежного покрова на 120 станциях 2 раза, в том числе на 16 станциях 4 раза в зиму, а также после обильных снегопадов и метелей.

Наблюдения и обработка материалов производились в соответствии с требованиями Наставления.

В результате обработки обширного материала установлено, что снегомерные съемки по треугольникам дают заниженные высоту и запас воды в снеге по сравнению с данными по маршрутным линиям.

Величины разностей по территории Казахского УГМС колеблются в следующих пределах: а) на севере, в районах мелкосопочника средняя

высота снежного покрова, определенная на основании снегомерных съемок по маршруту за две зимы, и запас воды в снеге больше, чем соответствующие величины, полученные по треугольнику, на 20—30%; б) на западе, в степных районах, данные по маршрутам больше, чем по треугольнику, на 10—20%; в) на юге величина отклонения составляет 5—15%; г) в центральных районах по результатам экспедиционных исследований КазНИГМИ данные снегомерных съемок по треугольнику дают заниженную высоту снежного покрова, по сравнению с маршрутом на 30%, а запас воды в снеге ниже на 20%.

Результаты обработки показывают, что при неудачном выборе треугольника (вблизи поселка) отклонения могут быть значительно большими, например на ст. Новосухотино (Кокчетавская область), где треугольник располагается на целине, тогда как преобладающая площадь района была занята под стерню и пашню. Поэтому средняя высота снежного покрова, полученная по маршрутным линиям, была на 70% больше высоты по треугольнику. На станциях Каркаралинск, Кзыл-Казахская, Жана-Арка (Карагандинская область), где треугольники располагаются в 100—200 м от поселков, высоты по маршрутным линиям на 38—65% больше высот, полученных по треугольнику.

Для определения характерного маршрута, количества промерных точек и частоты снегомерных съемок нами были использованы научно-методические разработки ГГО [4]. Для характеристики изменчивости высоты и плотности снежного покрова как по территории, так и во времени наиболее целесообразно использовать структурную функцию. Зная значения структурной функции и величину дисперсии, можно вычислить погрешность определения средней высоты снежного покрова для маршрутов различной протяженности с разным числом промерных точек на них.

Для расчетов пространственной структурной функции высоты и плотности снежного покрова нами обработаны материалы площадных снегомерных съемок (зимы 1958-59 и 1959-60 гг.) трех станций, расположенных в различных районах Казахстана:

1) Щучинск (Кокчетавская область) — станция, расположенная на севере Казахского мелкосопочника. Участок представляет собой ровное целинное поле в виде квадрата, который разбивался на четыре равные части тремя поперечными линиями. Внутри квадрата вписан треугольник. Общая протяженность промерных линий 18 км. В зиму 1958-59 г. были произведены на этом участке 4 снегомерные съемки;

2) Кокпекты (Семипалатинская область) — станция, расположенная на северо-западном склоне широкой долины, окруженной горами. Снегомерные участки располагались: первый — на ровном поле, занятом стерней, а второй — у подножия гор;

3) Калмыково (Западно-Казахстанская область) — станция, расположенная почти в центральной части Прикаспийской низменности. Снегомерные участки располагались: первый — на ровном месте, покрытом редкой травой; второй — в условиях слегка пересеченного рельефа.

На станциях Кокпекты и Калмыково снегомерки проводились дважды в период устойчивого залегания снежного покрова. На участках выбирались две системы промерных линий общей протяженностью 10 км. Расстояние между промерными линиями составляло 200 м. Измерения высоты производились через 10 м, а плотности — через 100 м.

В результате обработки материала в соответствии с методикой, предложенной ГГО, установлено, что для определения высоты снежного покрова с погрешностью 3,5 см на ст. Щучинск следует выбрать маршрут длиной не менее 2 км с 25 промерными точками на нем. На ст. Кокпекты при заданной погрешности 3 см маршрут следует выбрать длиной 3 км и

60 промерных точек; на ст. Калмыково при погрешности 2 см — соответственно 1 км и 30 промерных точек. Очевидно, что для получения средней высоты снежного покрова с большей точностью необходимо выбирать маршруты большей протяженности и с большим количеством промерных точек.

Для расчетов временной структурной функции высоты снежного покрова были использованы материалы многолетних наблюдений (за 8—10 зим) по постоянным рейкам шести станций (табл. 1), расположенных в различных районах Казахстана.

Структурные функции и погрешности интерполяции высоты снежного покрова вычислялись отдельно для периода нарастания и периода схода снежного покрова (табл. 1).

Таблица 1

Погрешность интерполяции высоты снежного покрова

Станция	Интервал времени (сутки)							
	1	2	3	4	5	10	15	20

Период нарастания

Аксуат	0,79	0,96	1,12	1,25	1,37	1,86	2,25	2,58
Тансык	0,81	1,01	1,16	1,30	1,42	1,93	2,33	2,67
Бахты	1,48	2,07	2,51	2,89	3,20	4,27	5,0	5,54
Калмыково	0,50	0,72	0,89	1,05	1,18	1,66	2,03	2,34
Чапаево	0,68	0,94	1,1	1,25	1,38	1,83	2,17	2,38
Карак	0,63	0,81	0,96	1,09	1,20	1,58	1,88	2,13

Период схода

Аксуат	0,63	0,99	1,34	1,67	1,97	3,05	3,85	4,51
Тансык	—	0,74	1,33	1,89	2,37	3,96	5,02	5,80
Бахты	0,71	1,17	1,61	2,06	2,25	4,24	5,43	—
Калмыково	0,74	1,12	1,37	1,59	1,80	2,56	3,18	3,67
Чапаево	0,54	0,81	1,03	1,23	1,42	2,14	2,74	3,27
Карак	0,57	0,73	0,86	0,98	1,09	—	—	—

Из приведенных данных следует, что при заданной погрешности 2,6 см с обеспеченностью 70% можно производить снегосъемки в период нарастания высоты снежного покрова через 20 дней на станциях Аксуат, Тансык, Карак, Калмыково и Чапаево.

На ст. Бахты, расположенной в холмистой местности, погрешности интерполяции средней высоты снежного покрова получаются несколько большими.

В период схода, чтобы обеспечить ту же точность интерполяции средней высоты снежного покрова, необходимо производить снегомерные съемки через 5 дней.

В результате обработки и анализа материалов можно сделать следующие предварительные выводы.

1. В условиях Казахстана снегомерные съемки по треугольникам в большинстве случаев дают заниженные характеристики снежного покрова (до 30%).

2. Более или менее надежные средние характеристики снежного покрова можно получить путем проведения маршрутных снегосъемок на больших площадях. При этом следует учитывать многообразие элементов рельефа и растительного покрова.

3. Для выбора маршрута, числа промерных точек на нем и рациональной частоты снегосъемок во времени целесообразно использовать методику, разработанную в ГГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин П. П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. Гидрометеиздат, Л., 1960.
2. Шпак И. С. О точности наблюдений над снежным покровом при снегосъемках. Труды ГГИ, вып. 45 (99), 1954.
3. Паршин В. Н., Салов М. С. Методические и организационные вопросы изучения снежного покрова на равнинной территории. Метеорол. и гидрол., №11, 1952.
4. Лайхтман Д. Л., Каган Р. Л. Некоторые вопросы рационализации снегосъемок. Труды ГГО, вып. 108, 1960.

U
C
R

Р. К. ГОВШ
(Читинская ГМО)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ ЗАБАЙКАЛЬЯ

В статье излагаются результаты экспериментальной проверки в условиях Забайкалья теоретических разработок ГГО по рационализации снегомерных съемок.

Снегомерные наблюдения, проводимые в настоящее время на станциях и постах, являются весьма трудоемкими, особенно в условиях суровой зимы Забайкалья, причем существующая методика не обеспечивает достаточной точности определения характерных средних величин высоты и плотности снежного покрова на больших площадях.

Известно, что выбор маршрута и числа промерных точек для снего съемки в том или ином районе определяется изменчивостью высоты и плотности снежного покрова. Для характеристики изменчивости высоты и плотности снежного покрова наиболее целесообразно использовать структурную функцию [1]. Под структурной функцией некоторой величины для заданного интервала следует понимать средний квадрат разности значений ее на концах этого интервала. Зная величину дисперсии высоты снежного покрова и значения структурной функции, можно вычислить погрешность определения средней высоты снежного покрова для маршрутов различной протяженности с разным числом промерных точек.

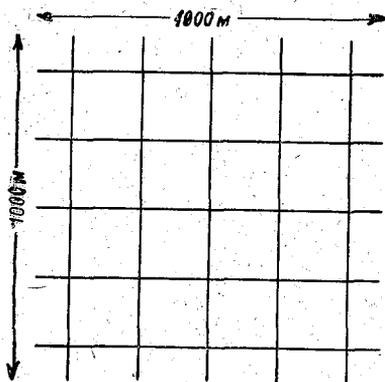


Рис. 1. Схема промерных линий специальных снегомерных съемок.

ности с разным числом промерных точек.

С целью изучения горизонтальной изменчивости высоты и плотности снежного покрова в Забайкальском УГМС в зиму 1959-60 г. на отдельных станциях были организованы специальные снегомерные съемки. Подбор станций осуществлялся таким образом, чтобы они отражали основные ландшафтные зоны Забайкалья (табл. 1).

По промерным линиям, указанным на рис. 1, высота снежного покрова измерялась через 10 м, а плотность — через 200 м.

Обработка материалов, расчеты дисперсии и структурной функции производились в соответствии с методикой, разработанной в ГГО.

В табл. 1 приводятся величины дисперсии для станций, где производились специальные снегомерные съемки.

Таблица 1

Дисперсия высоты снежного покрова в зиму 1959-60 г.

Станция	Дисперсия σ_h^2	Примечание
Баунт	9,68	Горная тайга
Калакан	9,54	" "
Красный Чикой	4,98	" "
Борзя	0,81	Степь
Чита	32,39	Лесостепь

Расчитанные значения структурной функции представлены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что с увеличением интервала между измерениями значения структурной функции возрастают. Рост этот, однако, не может продолжаться беспредельно, так как любая изучаемая величина всегда имеет некоторые пределы изменения.

Таблица 2

Значения структурной функции в зиму 1959-60 г.

Станция	Расстояние между точками (м)									
	10	20	50	60	70	100	200	300	400	500
Баунт	7,2	11,6	17,8	18,8	19,5	19,6	18,8	19,1	23,6	25,8
Калакан	16,2	17,5	18,9	19,0	19,3	19,1	19,3	18,0	20,1	21,0
Красный Чикой	8,6	9,7	9,8	10,0	9,9	10,4	10,6	10,8	11,0	10,7
Борзя	0,97	1,09	1,23	1,27	1,28	1,30	1,33	1,30	1,38	1,34
Чита	42,0	51,0	63,0	65,0	64,8	63,4	63,6	61,8	70,8	62,4

Насыщающее значение структурной функции (когда она остается почти неизменной) равно удвоенному значению дисперсии [1].

Прежде чем использовать структурную функцию для определения погрешностей, целесообразно произвести ее сглаживание. Сглаживание производится графическим способом [2]. С кривой, полученной в результате сглаживания, снимаются значения структурной функции, соответствующие различным значениям интервала. В табл. 3 помещены сглаженные значения структурной функции для станций Забайкалья.

Вычисление погрешностей определения средней высоты снежного покрова для различных длин маршрута и числа промерных точек производилось по формуле

$$\bar{\delta}^2(l, n) = \frac{b_\infty}{2} - \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) b(i\Delta l), \quad (1)$$

где $\bar{\delta}^2(l, n)$ — общая погрешность, зависящая от длины маршрута l и числа промерных точек на нем n , b_∞ — значение структурной функции на бесконечности, i — порядковый номер измерения точек на маршруте.

Δl — расстояние между промерными точками, $b(i\Delta l)$ — значение структурной функции для интервала $i\Delta l$.

Таблица 3

Сглаженные значения структурной функции

Станция	Расстояние между точками (м)									
	10	20	50	60	70	100	200	300	400	500
Баунт	7,2	11,6	17,8	19,0	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4
Калакан	16,5	17,2	18,8	19,0	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
Красный Чикой	8,6	9,7	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Брозя	0,97	1,09	1,25	1,27	1,28	1,30	1,33	1,35	1,38	1,41
Чита	42,0	48,5	64,0	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8

В табл. 4 показано, сколько промеров высоты снежного покрова следует произвести на маршруте длиной 1000 м, чтобы средняя квадратическая погрешность определения высоты не превышала 1,0 см.

Для практического использования результатов вычисления погрешностей определения средней высоты снежного покрова удобно пользоваться графиками.

Таблица 4

Число промеров высоты снежного покрова на маршруте длиной 1000 м при $P_h \leq 1,0$ см

Станция	Число промеров высоты
Баунт	10
Калакан	10
Красный Чикой	5
Чита	50
Брозя	2

Для построения графика по оси абсцисс откладывается длина маршрута l , а по оси ординат — число промеров n . Каждой паре значений l и n соответствует точка на графике, в которой указывается вычисленная погрешность P_h . Затем проводятся изолинии через точки, соответствующие равным значениям погрешности. На рис. 2 такой график представлен для ст. Баунт.

Пользуясь графиком, можно путем интерполяции найти погрешность определения высоты снежного покрова для любых значений l и n . По графику можно судить, какой следует выбрать маршрут, чтобы средняя погрешность высоты снежного покрова не превышала некоторой заранее заданной величины. Пусть в нашем примере для практических целей необходимо, чтобы эта погрешность не превышала 1,0 см. В этом случае для выбранного маршрута нужны такие l и n , чтобы соответствующая им точка на графике лежала выше изолинии $P_h = 1,0$ см. Требуемая точность будет достигнута, если выбрать $l=500$ м, $n=15$ или $l=1000$ м, $n=11$.

Плотность снежного покрова во время специальных снегоъемок измерялась, как указывалось выше, через 200 м. Связь между отдельными измерениями на таких расстояниях оказывается незначительной, в дан-

ном случае ею можно пренебречь. Поэтому для вычисления погрешности плотности снега была использована известная формула

$$\overline{\delta}_d^2(m) = \frac{\sigma_m^2}{m}, \quad (2)$$

где $\overline{\delta}_d^2(m)$ — погрешность плотности, σ_m^2 — дисперсия плотности, m — число измерений плотности.

В табл. 5 приведены величины средней квадратической погрешности плотности для станций Забайкалья.

Из приведенных данных следует, что с увеличением числа проб плотности погрешность заметно убывает.

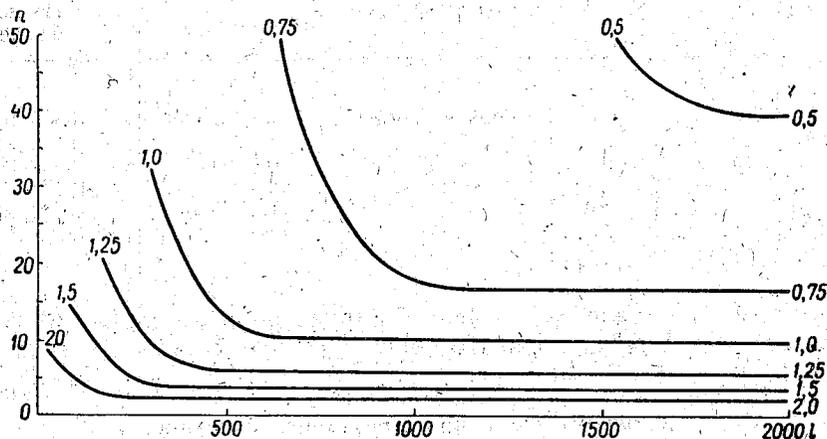


Рис. 2. Зависимость погрешности определения высоты снежного покрова от длины маршрута и числа промерных точек.

Таблица 5

Зависимость погрешности определения плотности от числа промерных точек

Станция	Число промеров				
	1	2	3	4	5
Баунт	0,0529	0,0374	0,0305	0,0265	0,0237
Калакан	0,0283	0,0200	0,0161	0,0141	0,0126
Красный Чикой	0,0141	0,0100	0,0081	0,0071	0,0063
Чита	0,0346	0,0245	0,0200	0,0173	0,0158

Станция	Число промеров			
	10	20	50	100
Баунт	0,0167	0,0118	0,0075	0,0053
Калакан	0,0089	0,0063	0,0040	0,0028
Красный Чикой	0,0045	0,0032	0,0020	0,0014
Чита	0,0110	0,0077	0,0049	0,0035

До сих пор мы касались вопросов изменчивости высоты и плотности снежного покрова и соответственно их средней погрешности по территории. Большой интерес представляет выбор наиболее целесообразных интервалов времени между снегомерными наблюдениями. Как известно, такой выбор определяется погрешностями интерполяции характеристик снежного покрова в период между наблюдениями [1], [3].

Для изучения временной изменчивости высоты снежного покрова нами использованы материалы наблюдений по постоянным рейкам шести станций Забайкалья (табл. 6).

Таблица 6

Краткая характеристика станций

Станция	Ландшафтная зона	Участок	Период наблюдений
Калакан	Горная тайга	Защищенный	1955—1959
Часовая	" "	" "	1952—1958
Петровский Завод	" "	Открытый	1950—1959
Чита	Лесостепь	Защищенный	1947—1956
Ямкун	" "	Открытый	1952—1956
Хоринск	Степь	" "	1950—1955

Рассчитанные значения временной структурной функции для периодов нарастания и схода снежного покрова [3] представлены в табл. 7.

Таблица 7

Величины временной структурной функции

Станция	Период	Длина интервала (дни)							
		1	2	3	4	5	10	15	20
Калакан	Нарастание	2,0	3,1	4,0	4,8	5,4	9,0	11,3	14,6
	Сход	2,5	7,6	14,0	21,2	29,3	89,5	163,5	252,0
Петровский Завод	Нарастание	0,6	1,5	2,2	2,8	3,4	6,4	9,4	12,0
	Сход	3,4	7,7	12,6	16,7	22,4	51,8	81,7	114,2
Часовая	Нарастание	0,9	2,0	3,0	3,7	4,5	8,1	11,2	15,5
	Сход	3,0	6,6	11,8	16,2	21,5	50,6	83,2	115,0
Чита	Нарастание	0,7	1,2	1,6	1,9	2,1	3,3	4,2	5,4
	Сход	1,8	3,0	4,1	4,9	5,8	9,6	12,9	16,0
Хоринск	Нарастание	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	2,0	2,6	3,1
	Сход	0,4	0,9	1,7	2,4	2,8	5,9	8,9	12,7
Ямкун	Нарастание	0,6	1,2	1,9	2,5	3,2	7,0	11,0	14,0
	Сход	2,2	5,0	8,0	11,2	14,1	34,2	51,3	72,5

Для использования структурной функции в дальнейших вычислениях необходимо установить характер связи между значениями функции, соответствующими различным интервалам времени. Как правило, временная структурная функция для высоты снежного покрова имеет характер степенной зависимости

$$b(\tau) = c\tau^k. \quad (3)$$

Если график структурной функции типа (3) построить в логарифмических координатах, то он будет иметь вид прямой, так как

$$\lg b(\tau) = \lg c + k \lg \tau. \quad (4)$$

Показатель степени k вычисляется по формуле

$$k = \frac{\Delta \lg b(\tau)}{\Delta \lg \tau}, \quad (5)$$

где $\Delta \lg \tau$ — разность логарифмов между двумя выбранными точками на графике, $\Delta \lg b(\tau)$ — разность логарифмов структурной функции в этих же точках. Зная показатель степени k и значения структурной функции, можно вычислить среднюю величину погрешности интерполяции высоты снежного покрова во времени [3].

В табл. 8 приводятся значения средней квадратической погрешности интерполяции высоты.

С помощью графиков зависимости ошибок интерполяции от величины выбранного интервала времени можно определить частоту измерений, необходимую для получения промежуточных значений характеристик снежного покрова с заранее выбранной точностью.

Таблица 8
Погрешности интерполяции высоты снежного покрова

Станция	Интервал времени (дни)								Показатель степени k	
	1	2	3	4	5	10	15	20		
Период нарастания										
Калакан	0,72	0,89	1,02	1,12	1,18	1,53	1,72	1,94	0,65	
Петровский Завод	0,32	0,50	0,60	0,68	0,75	1,03	1,25	1,41	1,00	
Часовая	0,43	0,64	0,78	0,87	0,96	1,28	1,51	1,77	0,88	
Чита	0,46	0,60	0,70	0,76	0,80	1,00	1,13	1,28	0,62	
Хоринск	0,36	0,37	0,46	0,51	0,54	0,72	0,82	0,90	0,72	
Ямкун	0,30	0,42	0,53	0,61	0,69	1,02	1,28	1,44	1,07	
Период схода										
Калакан	0,28	0,62	0,84	1,03	1,21	2,12	2,86	3,55	1,55	
Петровский Завод	0,64	0,97	1,24	1,43	1,65	2,51	3,15	3,73	1,18	
Часовая	0,58	0,86	1,15	1,35	1,55	2,38	3,05	3,59	1,22	
Чита	0,68	0,88	1,04	1,09	1,23	1,58	1,84	2,04	0,72	
Хоринск	0,26	0,39	0,53	0,63	0,68	0,99	1,22	1,46	1,00	
Ямкун	0,39	0,48	0,94	1,12	1,25	1,95	2,39	2,84	1,23	

Таким образом, выполненная нами экспериментальная проверка на материалах отдельных станций позволяет заключить, что научно-методические разработки ГГО по рационализации снегомерных съемок вполне применимы для сети станций Забайкальского УГМС. Результаты расчетов средних погрешностей, полученные нами для нескольких станций, по-видимому, нельзя распространить на всю территорию УГМС. Для рационализации снегомерных съемок на сети Забайкальского УГМС с применением методики ГГО нужно произвести расчеты для большого числа станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лайхтман Д. Л., Каган Р. Л. Некоторые вопросы рационализации снегомерных съемок. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
2. Дунаева А. В., Занина М. С., Цыганова А. М. Изучение пространственной изменчивости характеристик снежного покрова. Труды ГГО, вып. 108, 1960.
3. Гущина М. В., Трифонова Т. С. Об изменчивости характеристик снежного покрова во времени и о выборе интервалов между снегомерными съемками. Труды ГГО, вып. 108, 1960.

Н. М. ЦВЕТКОВА
(Курская ГМО)

К ВОПРОСУ ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДИКИ СНЕГОМЕРНЫХ СЪЕМОК

В статье рассматривается вопрос о точности определения средних значений характеристик снежного покрова на маршруте и об интерполяции их во времени.

Несмотря на то что снегомерные наблюдения в том объеме, в каком они проводятся в настоящее время на станциях и постах, являются весьма трудоемкими, существующая методика наблюдений не обеспечивает достаточной точности определения средних величин высоты и плотности снежного покрова для больших площадей и поэтому не вполне удовлетворяет запросы различных потребителей. Поэтому возникла необходимость проведения исследований по усовершенствованию методики снегомерных наблюдений.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных работ по изучению изменчивости высоты и плотности снежного покрова в условиях Средне-Русской возвышенности. Разработки выполнены по методике ГГО [1].

Изучение изменчивости характеристик снежного покрова по площади выполнялось по материалам специальных маршрутных снегомерных съемок в бассейне р. Оки (УГМС Центрально-Черноземных областей). Общая длина маршрута в период устойчивого залегания снежного покрова составляла 5,5 км. Маршрут пересекал все основные элементы рельефа, характерные для данной местности.

Для расчетов средней погрешности определения высоты снежного покрова нами использованы материалы семи снегомерных съемок по одному и тому же маршруту. Рассчитанные погрешности представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, уменьшение погрешности с увеличением длины маршрута происходит медленно, поэтому выбирать маршрут более 2 км в условиях Средне-Русской возвышенности для производства снегомерных съемок вряд ли целесообразно.

Вычисление средней погрешности плотности снежного покрова на маршруте показало, что погрешность интерполяции плотности колеблется незначительно (рис. 1).

Так, например, средняя погрешность интерполяции плотности снежного покрова в пределах от 10 до 30 измерений равна 0,01 г/см³, т. е. измерения плотности снежного покрова с достаточной точностью можно производить через 200 м.

Выбор рационального интервала времени между снегомерками оп-

ределяется, как известно, погрешностями интерполяции высоты и плотности снежного покрова в период между наблюдениями [1].

Для расчетов погрешностей интерполяции нами использовались наблюдения над снежным покровом по постоянным рейкам станций Курск и Старый Оскол за 10-летний период.

При расчетах были выделены периоды нарастания и схода снежного покрова.

Вычисленные значения погрешности интерполяции высоты снежного покрова представлены в табл. 2.

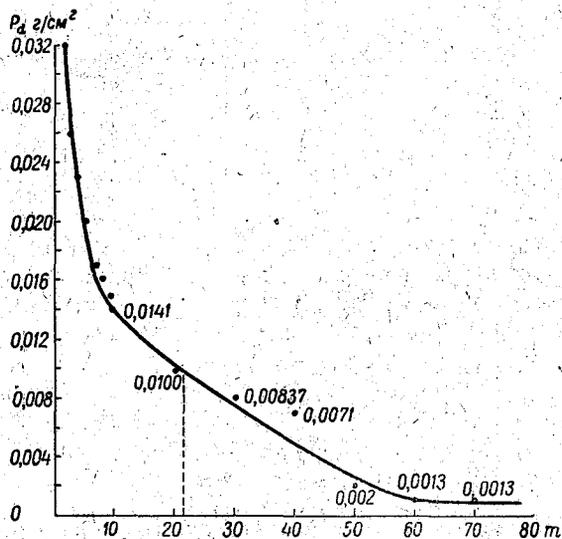


Рис. 1. Зависимость погрешности плотности от числа промерных точек.

Из приведенных данных следует, что для защищенного участка ст. Курск средняя погрешность интерполяции высоты снежного покрова в период нарастания в интервале от 1 до 20 дней колеблется от 1,1 до 4,8 см, а в период схода — соответственно от 1,3 до 6,7 см.

Таким образом, чтобы погрешность в период нарастания не превышала 1 см, измерения высоты покрова на защищенном участке по постоянным рейкам следует производить ежедневно.

Для открытого участка ст. Старый Оскол в период нарастания снежного покрова погрешность интерполяции колеблется от 0,51 до 2,34 см,

Таблица 1

Зависимость погрешности высоты снежного покрова от протяженности маршрута и числа промерных точек на нем

Погрешность измерения (см)	Длина маршрута (км)	Число измерений
5,64	0,5	50
4,83	1	100
4,51	1,5	150
4,30	2	200
4,12	3	300
4,01	4	400
3,96	5	350
3,94	5,5	350

Таблица 2

Погрешность интерполяции высоты снежного покрова для ст. Курск

Интервал времени (дни)	Участок			
	защищенный	открытый	защищенный	открытый
	Период нарастания		Период схода	
1	1,12	0,51	1,34	0,50
2	1,56	0,74	2,27	0,86
3	1,90	0,90	2,97	1,12
4	2,20	1,05	3,61	1,33
5	2,40	1,15	4,20	1,51
10	3,40	1,65	6,68	2,00
15	4,20	2,00	—	—
20	4,80	2,34	—	—

а в период схода — от 0,50 до 2,00 см. Поэтому при погрешности измерения в период нарастания в 1 см измерение снежного покрова следует производить 1 раз в 5 дней. Для периода схода на защищенном участке при той же погрешности целесообразно производить ежедневные наблюдения, а для открытого — через 4—5 дней.

Погрешность интерполяции плотности снежного покрова (защищенный участок) в промежутке времени от 5 до 40 дней в период нарастания колеблется от 0,0242 до 0,0342, а в период схода — от 0,0242 до 0,0700 (табл. 3).

Таблица 3

Погрешность интерполяции плотности снежного покрова для ст. Курск

Интервал времени (дни)	Участок			
	защищенный	открытый	защищенный	открытый
	Период нарастания		Период схода	
5	0,0242	0,0399	0,0242	0,0540
10	0,0260	0,0406	0,0370	0,0567
15	0,0272	0,0412	0,0480	0,0594
20	0,0290	0,0420	0,0569	0,0620
25	0,0310	0,0427	0,0632	0,0644
30	0,0319	0,0434	0,0700	0,0668
35	0,0330	0,0439	—	—
40	0,0342	0,0447	—	—

Из табл. 3 видно, что погрешность интерполяции плотности снежного покрова на открытом участке больше, чем на защищенном. Однако с увеличением интервала времени эта разность уменьшается. Последнее обстоятельство указывает на необходимость усовершенствования существующего метода определения плотности снежного покрова.

Проведенная автором обработка небольшого экспериментального материала снегосъемок позволяет прийти к выводу о целесообразности использования для рационализации снегомерных съемок на сети методики, предложенной ГГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лайхтман Д. Л., Каган Р. Л. Некоторые вопросы рационализации снегосъемок. Труды ГГО, вып. 108, 1960.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Л. С. Гандин и Р. Л. Каган. О точности определения средней высоты снежного покрова по дискретным данным	3
М. В. Гущина. Изменчивость характеристик снежного покрова во времени и погрешности интерполяции их в различных районах	11
✓ Т. С. Трифонова. О пространственной изменчивости характеристик снежного покрова	29 ✓
Р. Л. Каган. О точности экстраполяции высоты снежного покрова во времени	39 ✓
А. В. Дунаева. Рационализация методики обработки материалов снего-съемок	51
Т. В. Мельникова. О методике наблюдений над снежным покровом в условиях Северо-Востока СССР	65
Ц. Г. Канович. О наблюдениях над снежным покровом в Казахстане	74
Р. К. Говш. Изменчивость характеристик снежного покрова в условиях Забайкалья	78
Н. М. Цветкова. К вопросу об усовершенствовании методики снегомерных съемок	84

БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

Редактор *В. С. Протопопов* Техн; редактор *Н. В. Волков*
Корректоры: *З. А. Белкина* и *В. А. Минц*

Сдано в набор 19/X 1961 г. Подписано к печати 17/II 1962 г.
Бумага 70×108^{1/16}. Вум. л. 2,75. Печ. л. 7,54. Уч.-изд. л. 7,1.
Тираж 700 экз. М-06077 Индекс МЛ-135

Гидрометеорологическое издательство.
Ленинград, В-53, 2-я линия, д. № 23.
Заказ № 505 Цена 50 коп.

Типография № 8 УПП Ленсовнархоза.
Ленинград, Прачечный пер., № 6.