Государственный комитет СССР по гидрометеорологии
и контролю природной среды

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГГИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по оценке запасов воды на поверхности водосборов в период весеннего снеготаяния на основе авиационных гамма-съемок

Ленинград-1986 г.

gost.e-ecolog.ru

Методические рекомендации рассмотрены на Методической комиссии ГГИ, протокол № I от 3 января I986 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	5
I. Основа метода гамма-съемки снежного покрова и влажности почв	6
I.I. Техника измерений	7
I.2. Сеть снегомерных маршрутов	8
I.3. Погрешности измерений	9
2. Уровни гамма-поля земной поверхности и их изменчивость	I2
2.I. Пространственная изменчивость	I2
2.2. Временная изменчивость	I3
2.3. Рекомендации по оценке уровней гамма-поля земли в период максимальных снегозапасов и весеннего снеготаяния	I8
3. Методы оценки запасов воды на поверхности водосборов в период снеготаяния	22
3.I. Расчет запасов воды на поверхности водосборов по данным съемок на сети контрольных маршрутов	22
3.2. Расчет запасов воды на поверхности водосборов на основе использования уровня гамма-поля переувлажненных почв	26
3.3. Расчет запасов воды на поверхности водосборов по температурным коэффициентам стаивания	26
3.4. Пространственные кривые распределения снежного покрова	3I
Заключение	33
Список использованных источников	37

ВВЕДЕНИЕ

Современная информационная сеть метеорологических станций и постов Северного Края в основном расположена вблизи рек, так что большие приводораздельные площади не освещены наблюдениями. Поэтому поступающая информация о снежном покрове часто не позволяет надежно обслуживать различные отрасли народного хозяйства. Кроме того постоянно наблюдается тенденция к сокращению сети в "глухих" районах из-за отсутствия наблюдателей, что ставит под угрозу обслуживание потребителей информацией о снежном покрове. Материалы наблюдения за снежным покровом охватывают периоды снегонакопления и снеготаяния до момента схода снега с 80% площади полей (видимой окрестности в районе станции). В это время в лесах снеготаяние, как правило, только начинает развиваться, а запасы воды в снеге и значительные скопления ее под снегом не фиксируются наземными снегосъемками. Таким образом, информация о снежном покрове в районах со значительной залесенностью в период бурного снеготаяния по-существу отсутствует. Необходимость же в ее получении наиболее остро ощущается в годы с перебойным снеготаянием (I раз в 3-5 лет), когда формируются двух-трехпиковые половодья.

Авиационные гамма-съемки снежного покрова позволяют давать суммарную характеристику запасов воды в снежном покрове и под снегом, а также свободной воды на поверхности водосборов в течение всего периода формирования половодья. Результаты этих съемок в северных районах ЕТС должны являться основной информацией для уточнения развития стока половодья в речных системах, в том числе и притока воды к будущим гидроузлам.

Результаты гамма-съемок максимальных снегозапасов в бассейнах рек Северного Края были использованы в разработках методов долгосрочного прогноза объема и максимума стока половодья [I]. В период весеннего снеготаяния начальные уровни гамма-поля (P_{To}), измеренные поздней осенью перед установлением снега, претерпевают значительные изменения. Поэтому для определения запасов воды только на поверхности водосборов необходимо уточнять меняющийся в процессе снеготаяния фон земной поверхности под снегом.

Разработка Рекомендаций выполнена на основе обобщения многолетних материалов авиационных гамма-съемок в бассейнах рек Сухоны, Юга и Вычегды, проведения специальных полевых работ в ле-

сах Ленинградской и Вологодской областей, а также с учетом исследований ГГИ в области изучения условий формирования потерь талых вод [2].

Настоящие Методические рекомендации содержат основные сведения о сущности метода гамма-съемок, пространственно-временной изменчивости уровней гамма-поля и методах оценки запасов воды на поверхности водосборов в период весеннего снеготаяния. Они составлены для использования в лесных районах ЕТС с близким залеганием грунтовых вод (менее 5 м) и с достаточным увлажнением почвогрунтов в осенне-зимний период.

Рекомендации предназначены для специалистов, занимающихся обработкой и анализом результатов гамма-съемок и их использованием в методах краткосрочных и долгосрочных прогнозов характеристик стока половодья применительно к бассейнам рек Северного Края.

Рекомендации подготовлены старшим научным сотрудником, к.т.н. Вершининой Л.К. и младшим научным сотрудником, к.г.н. Леоновой Н.Е.

I. ОСНОВА МЕТОДА ГАММА-СЪЕМКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ

Метод авиационной гамма-съемки снежного покрова основан на измерении эффекта ослабления снежным покровом гамма-излучения естественных радиоактивных элементов почв и горных пород [3].

В настоящее время метод авиационной гамма-съемки широко используется в районах с устойчивым залеганием снежного покрова.

Основными источниками гамма-излучения почвы являются радиоактивные элементы семейств урана-238, тория-232 и изотоп калий-40. Пространственная изменчивость концентраций указанных элементов определяется генетическим типом почв, их механическим составом, климатическими условиями и колебаниями влажности почвы.

Степень концентрации радиоактивных элементов в почвах предопределяет объективную оценку пригодности той или иной территории для гамма-съемки запасов воды в снежном покрове.

Интенсивность гамма-излучения в приземном слое атмосферы (J) на высоте (h) над поверхностью почвы однозначно зависит от весовой влажности почвы (W) и запаса воды на поверхности поч-

вы (S). Эта зависимость описывается выражением [4]

$$J = \frac{J_0}{1+\kappa W} \exp\left[-\alpha\left(S + \frac{h}{\kappa_1}\right)\right], \qquad (I.I)$$

где $J = J_0$ при $W = 0$; $h = 0$ и $S = 0$, т.е. величина, определяемая концентрацией радиоактивных элементов в абсолютно сухой почве;

S и h выражаются в г/см^2;

κ_1 и κ – коэффициенты, отражающие различие поглощающих свойств почвы, воды и воздуха;

$\alpha = 0{,}0062$ – коэффициент, зависящий от спектрально-угловых характеристик гамма-излучения.

Для авиационных съемок на высоте 20-100 м $\kappa_1 = \kappa = 1{,}11$ [4].

Выражение (I.I) справедливо при условии равномерного и однородного распределения как увлажнения верхних (0-30 см) горизонтов почвы, так и концентраций в ней радиоактивных элементов.

I.I. Техника измерений

Способы определения снегозапасов путем авиационных гамма-съемок условно подразделяются на две группы: на прямые методы и методы приращений [4]. В прямых методах снегозапасы определяются непосредственно при производстве измерений параметров гамма-поля. В способах приращений определяется изменение снегозапасов за время между двумя измерениями. В практике производства авиационных гамма-съемок способ приращений является основным. Этот метод базируется на двукратном измерении гамма-излучения: при отсутствии снежного покрова – J_1 (при $S = 0$ и W_1) осенью и при наличии снежного покрова – J_2 (S и W_2). При условии $W_1 \approx W_2$ соотношение J_1/J_2 позволяет рассчитывать запасы воды в снежном покрове – S.

Гамма-съемка проводится на равнинной территории с самолетов, в горных условиях – с вертолетов.

Регистрация гамма-излучения осуществляется двумя сцинтилляционными детекторами с кристаллами йодистого натрия размером каждый 150x100 мм и с фотоэлектронными умножителями ФЭЦ-49 [4]. Оба детектора имеют различные характеристики чувствительности к полезному и мешающему излучениям, что достигается различными диаграммами направленности, создаваемой стальными экранами.

При гамма-съемке регистрируются следующие величины:

- средняя скорость счета гамма-квантов для всего маршрута и отдельных его составляющих (лес, поле, кустарник);
- средняя скорость счета за трехсекундный интерва- времени;
- средний по маршруту экспериментальный спектр гамма-квантов с целью контроля состава гамма-излучающих изотопов;
- высота полета, записываемая на ленту по радиовысотомеру;
- виды ландшафтов (поле, лес, болото, кустарник).

I.2. Сеть снегомерных маршрутов

Самолетная сеть снегомерных маршрутов в рассматриваемых бассейнах представлена тремя съемочными кольцами - 7, 8 и I0. Каждое из колец включает 40-50 маршрутов протяженностью от I5 до 40 км. В таблице I.I дана характеристика сети. Построение сети выполнено таким образом, чтобы каждое кольцо могло быть отснято в течение одного летного дня. Сеть авиамаршрутов обеспечивает получение средних для бассейнов снегозапасов с погрешностью не более I0%.

Таблица I.I.

Характеристика сети самолетных и наземных измерений на водосборах северной части ЕТС

Водосбор	Площадь, км^2	Количество авиационных снегомерных маршрутов	Количество пунктов ГМС	
			по снегу	по влажности почвы
р.Сухона-г.В.Устюг	50300	54	28	8
р.Сухона-г.Тотьма	34800	3I	II	6
р.Юг - с.Гаврино	35900	33	II	4
р.Юг-р.п.Подосиновец	I4200	I7	6	2
р.Вычегда - -г.Сыктывкар	67800	4I	I4	4
р.Вычегда - - с.Усть-Кулом	26500	20	5	I

В соответствии с рекомендациями относительно прокладки авиационных снегомерных маршрутов [5] был проведен анализ сети по крупномасштабным картам, что позволило отбраковать ряд маршрутов.

За период 1970-1985 гг. сеть маршрутов на водосборах рек бассейна Северной Двины менялась три раза, что нарушило однородность рядов наблюдений. Поэтому при обобщении результатов измерений были использованы ряды наблюдений с 1975 г.

Для разработки методов оценки запасов воды на поверхности водосборов в период весеннего снеготаяния и использования их в прогнозах стока половодья на авиационных маршрутах были выделены участки, в пределах которых отсутствуют болота, и они не затапливаются транзитными талыми водами. Для этой цели по лентам самописцев проанализирован ход интенсивности излучения по данным осенних съемок (до установления снежного покрова) и после схода снежного покрова весной.

При рассмотрении участков использованы рабочие кроки маршрутов и запись ландшафтов на лентах самописца, что позволило выделить участки, соответствующие определенному виду ландшафта (поле, лес - хвойный, лиственный, смешанный, кустарники и вырубки).

Протяженность участков, соответствующих определенному виду ландшафта, назначалась исходя из условия равномерности хода интенсивности излучения и отсутствия резкого его снижения за счет заболоченности или затопления весенними транзитными водами. Следует заметить, что длина участков при выделении их на лентах самописца от съемки к съемке может изменяться вследствие неточной штурманской привязки (неточный пролет маршрута). На рис.I.I показан пример выделения участков на авиационном маршруте.

Расчет средних интенсивностей излучения по участкам и уровней гамма-поля выполняется в соответствии с Наставлением [6].

I.3. Погрешности измерений

Суммарная погрешность определения запасов воды в снежном покрове на площади водосборов слагается из:

- инструментальной;
- методической, обусловленной погодными условиями или отступлениями от разработанного метода съемки;

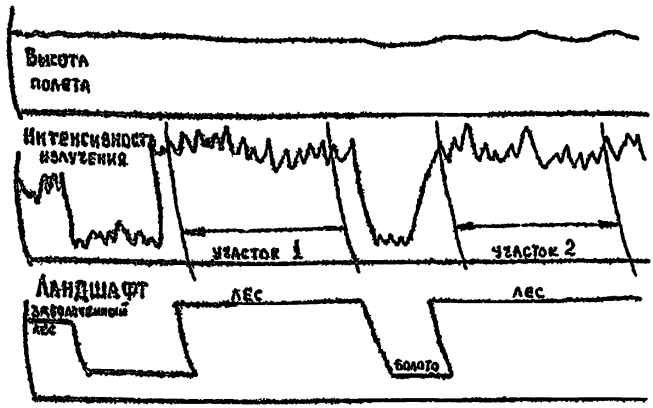

Рис. I.I Пример выделения участков авиационного маршрута (кольцо 7, маршрут 9, 22.I0.8Iг.)

- статистической погрешности определения средних значений на маршруте;
- статистической погрешности осреднения по площади водосбора.

Указанные погрешности могут быть случайными и систематическими. К инструментальным случайным погрешностям авиационного гамма-метода относятся прежде всего аппаратурные погрешности, связанные с регистрацией излучения и нестабильностью работы аппаратуры. При расчете погрешностей определения снегозапасов учитываются погрешности измерения скорости счета на маршруте без снега и со снегом, а также погрешности измерений мешающих излучений (космического и атмосферного). При измерении общей скорости счета импульсов от сцинтилляционного детектора больших размеров на маршрутах длиной более I5 км погрешности малы, а на коротких отрезках могут быть значительны.

Чувствительность используемой аппаратуры имеет весьма важное значение в оценках погрешностей, так как одна и та же интенсивность излучения различными детекторами (даже при одинаковых размерах кристалла) учитывается неодинаково. Следует отметить, что эти погрешности могут быть систематическими и в пересчете на воду достигать I5 мм.

Вариации космического излучения и вариации радиоактивности воздуха можно отнести к методическим погрешностям. В настоящее время при авиационной гамма-съемке мешающие излучения контролируются над водными акваториями один-три раза в день полета на рабочей высоте, либо на высоте около 1000 м над поверхностью почвы [4]. Наибольшие ошибки могут возникать из-за неконтролируемых изменений радиоактивности воздуха. Радон поступает в атмосферу из почв и горных пород и за время своего существования (более 3 суток) может переноситься на многие сотни километров. Это может обусловить погрешность в определении снегозапасов до 5 мм. Наиболее сильно радиоактивность воздуха проявляется в горных долинах, где резко возрастает уровень гамма-поля в холодные дни с температурной инверсией.

Увеличение радиоактивности воздуха происходит также в период выпадения осадков, особенно, сильных снегопадов. Поэтому гамма-съемка проводится лишь спустя некоторое время (через 3-4 часа) после прекращения осадков.

К методическим погрешностям авиационной гамма-съемки относятся также погрешности за счет штурманской привязки к маршрутам. Наибольшие величины этого рода погрешности (до 30 мм) могут иметь место в районах с большой неоднородностью механического состава и радиоактивности почв. В среднем величина погрешности за счет штурманской привязки составляет 3-4 мм.

Наибольшее затруднение в оценках запасов воды на поверхности водосборов по основному методу гамма-съемки, т.е. способу приращений, вызывают изменения в увлажнении верхних горизонтов почвы (0-30 см) за период между съемками начального уровня гамма-поля (без снега) и снегосъемок.

При равномерном распределении радиоактивных элементов относительное приращение интенсивности гамма-излучения (ΔJ) из-за приращения влагозапасов почвы (ΔW) на глубине z приблизительно равно [7]

$$\frac{\Delta J}{J} = \alpha \Delta W_z \exp\left(-\frac{\alpha z}{1{,}11} = \alpha \int_0^z W dz\right), \qquad (I.2)$$

где α - коэффициент ослабления скорости счета импульсов.

Как показали работы ГГИ [5,8,9], эти погрешности, как

правило, являются систематическими, а не случайными, и достигают 30 мм. Поэтому в районах с неустойчивым залеганием снежного покрова (при оттепелях) или в период весеннего снеготаяния использование результатов измерений снегозапасов гамма-методом вызывает большие затруднения.

Оценка статистических погрешностей осреднения по площади приводится ниже (см.раздел 2.I).

2. УРОВНИ ГАММА-ПОЛЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

2.I. Пространственная изменчивость

Пространственная изменчивость уровней гамма-поля в основном определяется степенью однородности почвенного покрова. В лесной зоне ЕТС на водосборах рек бассейна Северной Двины среднее квадратическое отклонение (σ) уровней гамма-поля составляет от 25 до 40 мм.

Ошибка определения средних уровней гамма-поля по площади (δ) может быть определена по формуле

$$\delta = \frac{t_\alpha \sigma}{\sqrt{n-1}} \qquad (2.I)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение;

n - число маршрутов;

t_α - нормированное отклонение средней от истинной величины;

α - уровень достоверности или обеспеченности.

При благополучных в методическом плане условиях определения начальных уровней гамма-поля ошибки вычисления средних их значений на изучаемых водосборах (80% обеспеченности непревышения) составляют: при n = I0 - I0-20 мл и при n = 30 - 5-I0 мм. Такие ошибки в определении начальных уровней гамма-поля P_{γ_0} обеспечивают получение максимальных снегозапасов с погрешностью, не превышающей I0%.

В районах с большой пестротой почвенного покрова, типов леса и изрезанным рельефом местности величина погрешности определения интенсивности гамма-излучения на контрольных маршрутах в большой степени зависит от качества штурманской привязки и может достигать 30%.

2.2. Временная изменчивость

Временная изменчивость начальных уровней гамма-поля P_{γ_0} (без снежного покрова) определяется степенью изменчивости увлажнения верхних горизонтов почвы и положения уровней грунтовых вод при близком их залегании. Наибольшие значения интенсивности излучения приходятся на летние бездождные периоды, наименьшие - на весенний период сразу после схода снежного покрова.

Для расчета запасов воды в снежном покрове используются измеренные осенью или принятые значения начальных уровней гамма-поля - единые для всех дат снегосъемок, т.е. без учета возможных их изменений в течение осенне-зимне-весеннего периода.

Показателем изменчивости начальных уровней гамма-поля в зимне-весенний период являются расхождения (ΔS) в результатах измерений снегозапасов наземной и гамма-съемкой.

На основе использования начальных уровней гамма-поля P_{γ_0}, отснятых при благоприятных условиях (при отсутствии снежного покрова и большого количества осадков, выпавших накануне), установлено, что для безоттепельных зим расхождения ΔS не превышают 10 мм. После начала весеннего снеготаяния они увеличиваются до 40-50 мм и, как правило, мало меняются в течение периода снеготаяния.

Исследование оттепелей и специфики увлажнения почв [9] показали, что оттепели неоднозначно влияют на зимнее увлажнение почв и тем самым на изменения гамма-фона.

Если до установления снежного покрова в верхнем слое промерзших почв образовался водонепроницаемый слой, то оттепели не приводят к увеличению влажности почв, но увеличивают неучитываемые наземными снегосъемками запасы воды и льда на поверхности водосборов, а также увеличивают относительную долю скопления снега у различного рода препятствий. В такие годы самолетные гамма-съемки дают значительно бо́льшие запасы влаги, чем наземные.

Если перед установлением снежного покрова почвы были талыми и увлажненными до значений наименьшей влагоемкости (НВ), то оттепели не вызывают увеличения влажности почвы и скоплений воды и льда на поверхности. В такие годы результаты самолетных и наземных съемок снежного покрова полностью совпадают.

Если почвы к началу зимы были недостаточно увлажненными, то в результате оттепелей они увлажняются, и самолетные съемки дают

завышенные снегозапасы по сравнению с наземными даже при отсутствии льда и воды на поверхности водосборов и однородной структуре снега.

Зависимость уровней гамма-поля P_{γ_0} от увлажнения водосборов подтверждалась неоднократно (рис.2.1 и 2.2). Это позволило использовать P_{γ_0} в качестве предиктора - характеристики предзимнего увлажнения водосборов лесной зоны ЕТС при прогнозах стока половодья [1].

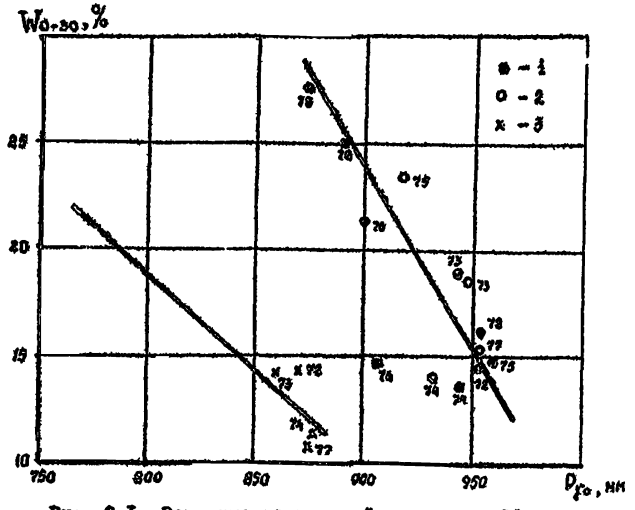

Рис. 2.1 Зависимость весовой влажности 30-см слоя почвы от начальных уровней гамма-поля
1 - водосбор Сухоны, 2 - водосбор Юга,
3 - водосбор Вычегды

В лесной зоне при близком залегании грунтовых вод речной сток служит надежным показателем бассейновых запасов влаги - запасов влаги в почвенногрунтовой толще, грунтовых водах, болотах и различного рода поверхностных емкостях [2]. Поэтому речной сток также используется в качестве предиктора в расчетно-прогностических зависимостях для весеннего стока. Для условий рассматриваемых бассейнов оказалось, что между начальными уров-

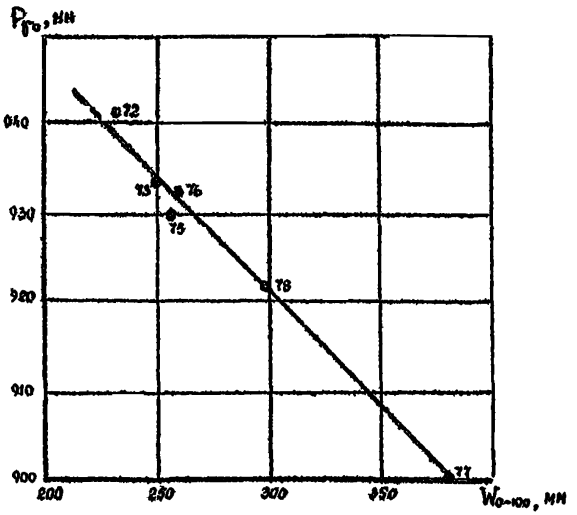

Рис. 2.2 Зависимость начальных уровней гамма-поля от запасов влаги в метровом слое почвы в конце октября на полевых участках водосбора Сухоны

нями гамма-поля $P_{гр}$, измеренными осенью, и речным стоком существует хорошая функциональная связь (рис.2.3).

Осеннее и весеннее увлажнение почв в большинстве районов лесной зоны происходит до глубины 1 м, так как ниже этого слоя наблюдается зона постоянной влажности, близкой к наименьшей влагоемкости (НВ), лишь зона переменной влажности - от полной влагоемкости (ПВ) до (НВ) [2].

Вследствие незначительного промерзания почвогрунтов в лесах, занимающих 90% площади изучаемых водосборов, осенний избыток влаги из верхних горизонтов зимой успевает просачиваться вниз. Поэтому к концу зимы увлажненность лесных почв обычно не превышает НВ, и везде имеется некоторый дефицит влаги, восполняемый весной. Подтверждением этому является незначительная вариация речного стока с водосборов средних размеров (10-20 тыс.км^2) в предвесен-

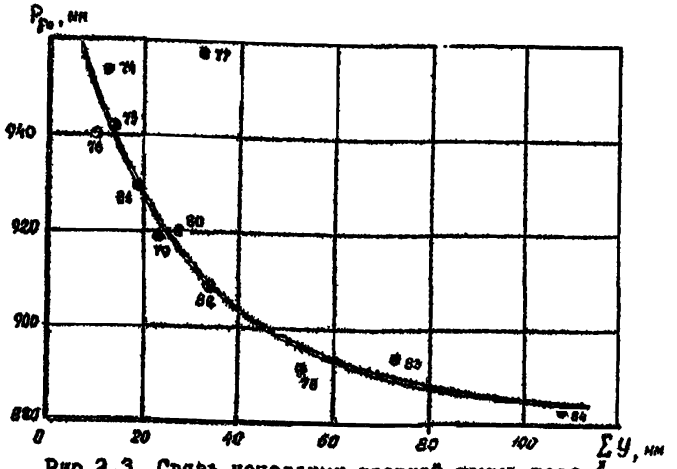

Рис.2.3 Связь начальных уровней гамма-поля с суммарным речным стоком за октябрь и ноябрь для водосбора р.Юг

ний период (рис.2.4). Следовательно, в конце зимы уровни гамма-поля земли (под снегом) P_{γ_0} должны быть примерно одинаковыми.

Из рис.2.3 видно, что уровни гамма-поля осенью 1983 и 1984 гг. были наименьшими, а к весне они приблизились к средним многолетним значениям (см.рис.2.4). Следствием этого явилось большое расхождение (ΔS) в результатах измерений максимальных снегозапасов гамма-методом и наземным способом, что указывает на изменение в течение зимы начальных уровней гамма-поля P_{γ_0}, измеренных осенью.

В период весеннего снеготаяния и половодья почвогрунты увлажняются до значений НВ и выше, а в полях они могут сбрасывать избыточную влагу. После интенсивного весеннего снеготаяния и промачивания почв запасы влаги в них обычно на 10% выше НВ и характеризуют водоудерживающую способность почв (ВУ). По данным О.И.Крестовского [10] такая избыточная влага удерживается почвогрунтами в течение 10-15 суток, а через 30-50 суток для суглинков и 25-30 суток для супесей запасы влаги приближаются к НВ. Различие между запасами, соответствующими ВУ и НВ тем больше,

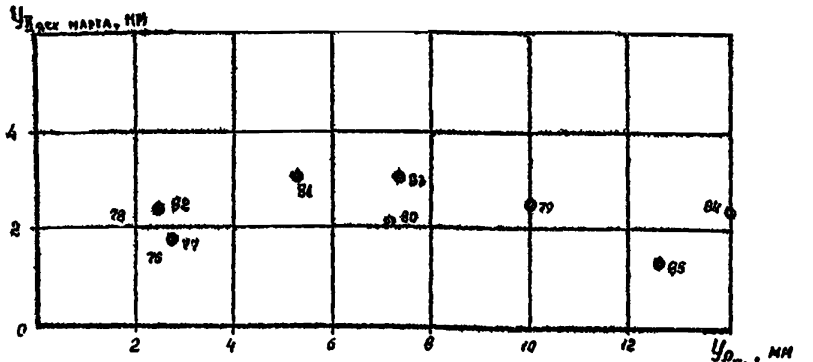

Рис.2.4 Связь среднего стока за декаду измерения начальных уровней гамма-поля осенью и весной перед началом снеготаяния для водосбора р.Юг

чем неоднороднее литологическое строение почвогрунтов.

Если к началу весеннего снеготаяния запасы влаги в почвогрунтах меньше значений НВ, то талые воды свободно фильтруют вниз, вызывая интенсивный подъем грунтовых вод. Во многих местах грунтовые воды и верховодка выходят на поверхность почвы. Продолжительность периода высокого стояния грунтовых вод зависит от наличия дождей, поддерживающих большое влагонасыщение, и от уклонов водосбора. При близком залегании грунтовых вод (1-3 м) с началом весеннего снеготаяния подъем их до поверхности земли происходит чрезвычайно быстро чаще всего при состоянии полного покрытия леса снегом.

Величина потерь талых вод равна дефициту запасов влаги в почве по отношению к ВУ. Потери талых вод на увлажнение лесных почв колеблются в пределах 10-50 мм. Естественным показателем периода окончания восполнения дефицита бассейновых запасов влаги (в почвогрунтах, болотах, грунтовых водах) является начало интенсивного стока в руслах рек средних размеров. Восполнение дефицита влажности почвы в лесах происходит сразу же после начавшейся водоотдачи из снега и в зависимости от интенсивности поступления тепла может продолжаться от 2 до 15 дней.

Таким образом, период восполнения дефицита запасов влаги ограничен сроками начала снеготаяния и водоотдачи и началом интенсивного стока в реках. Именно в этот период происходит снижение интенсивности гамма-поля земли до значений, соответствующих ВУ почвы, сохраняющейся до полного схода снега в лесах. Поэтому в период от начала стока до полного схода снега уровни гамма-поля под снегом и талой водой практически должны оставаться неизменными.

Этот вывод подтвержден экспериментальными исследованиями ГГИ, проведенными весной 1983-1985 гг. в лесах Вологодской и Ленинградской областей.

2.3. Рекомендации по оценке уровней гамма-поля земли в период максимальных снегозапасов и весеннего снеготаяния

В лесной зоне ЕТС, где увлажнение бассейнов к началу весны, т.е. к моменту максимального снегонакопления, мало изменчиво от года к году, целесообразно пользоваться постоянными значениями начальных (без снега) уровней гамма-поля. Такие значения уровней гамма-поля ($\overline{P}_{\gamma_0}$) получены в среднем за многолетний период по данным осенних гамма-съемок, выполненных при благоприятных условиях (табл.2.1). Сопоставление снегозапасов S_γ, рассчитанных по ежегодным значениям P_{γ_0} и постоянным $\overline{P}_{\gamma_0}$, со снегозапасами, измеренными наземной сетью $S_{изм}$, показало, что средние значения расхождений ($\Delta S = S_\gamma - S_{изм}$) практически одинаковы.

Использование значений уровней гамма-поля, измеренных осенью и меняющихся от года к году, привело в ряде случаев (зим) к получению либо заниженных на 30-40 мм величин снегозапасов (1984 и 1985 гг.), либо завышенных до 30 мм (1975, 1978 гг.), т.е. обусловило систематические погрешности в конкретном году.

Использование же постоянных значений уровней гамма-поля $\overline{P}_{\gamma_0}$, соответствующих увлажнению почвогрунтов в предвесенний период, позволило ликвидировать систематические расхождения ΔS, а распределение погрешностей приблизить к нормальному.

В связи с указанным в рассматриваемых районах осенние съемки начальных уровней гамма-поля могут быть отменены, что позволит сэкономить 30% всех затрат на авиационные гамма-съемки.

Таблица 2.I

Средние многолетние значения начальных уровней гамма-поля ($\bar{P}_{\gamma_0}$, мЗ) для маршрутов авиационной сети по водосборам рек

№ маршрута	Кольцо 7 Сухона-Тотьма	Кольцо 8 Юг-Гаврино	Кольцо 10 Вычегда-Сыктывкар	№ маршрута	Кольцо 7 Сухона-Тотьма	Кольцо 8 Юг-Гаврино	Кольцо 10 Вычегда-Сыктывкар
I			816	31		896	874
2			840	32		880	826
3			852	33		871	841
4			796	34		866	879
5	896		851	35		941	903
6	935	952	847	36		924	885
7	955	935	811	37		926	865
8	944	900	881	38		870	902
9	919	891	886	39			916
10	937	910	914	40			934
11	942	932	873	41			893
12	916	1000	905	42	876		
13	867	934	895	43	931		
14	883	888	850	44	923		
15	863	944	922	45	889		
16	866	914	887	46	911		
17	912	948	891	47	936		
18	908	958	828	48	931		
19	913	896	891	49	927		
20	919	984	851	50	870		
21	918	984	793	51	991		
22	924	899	817	52	952		
23		945	886	53	1002		
24		920	890	54	1005		
25		970	856				
26		967	830	Среднее	921	923	866
27		921	842	Юг-Подосиновец		933	
28		893	884	Вычегда-Усть-Кулом			868
29		897	846	Сысола-Первомайский			880
30		884	876				

Выше отмечалось, что в период весеннего снеготаяния уровни гамма-поля под снежным покровом P_{δ_3} претерпевают значительные изменения. Как правило, величины уровней уменьшаются до значений, соответствующих увлажнению почвогрунтов при ЗУ (выше НВ на 10-15%). Такое состояние почвогрунтов наступает к моменту начала интенсивного стока с водосборов средних размеров. К этому времени запасы воды в снежном покрове в лесах составляют 70-80% максимальных их значений.

В первый период снеготаяния T_1 (рис.2.5) снижение P_{δ_3} в среднем для водосборов составляет 25-35 мм, что соответствует потерям талых вод на восполнение дефицита влаги в почвогрунтах.

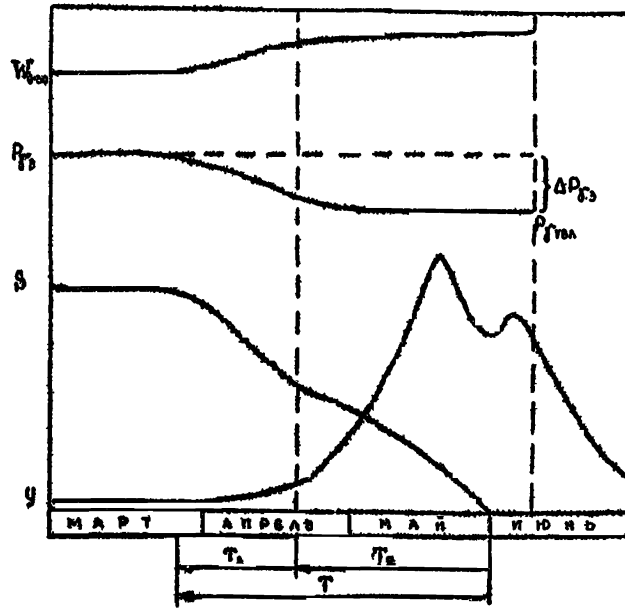

Рис.2.5 Схема изменения гидрометеорологических элементов и уровня гамма-поля земли под снегом в период весеннего половодья T_1 - начальный период снеготаяния и восполнения дефицитов влаги; T_2 - период необходимого производства гамма-съемок и их корректировки

После начала интенсивного стока развивается второй период снеготаяния - T_2, который собственно и формирует гидрограф половодья. Экспериментальными исследованиями установлено, что в этот период уровни гамма-поля P_{γ_3} практически не меняются и сохраняются такими до полного схода снега и подсыхания верхнего почвенного слоя. Значения уровней гамма-поля, соответствующие водоудерживающей способности почв ($P_{\gamma_{исх.}}$), могут быть определены гамма-съемкой сразу после схода снежного покрова. За многолетний период проведения гамма-съемок в бассейне Северной Двины такие уровни $P_{\gamma_{исх}}$ были рассчитаны для водосборов рассматриваемых рек: Сухоны - 889 мм, Юга - 887 мм и Вычегды - 820 мм.

Использование уровней гамма-поля $P_{\gamma_{исх}}$ позволяет оценивать запасы воды на поверхности водосборов во второй период снеготаяния T_2, что необходимо для уточнения прогнозов стока половодья. В первый период снеготаяния T_1 оценка запасов воды на поверхности водосборов не имеет практического значения. Таким образом, проведение гамма-съемок в период T_1 (до начала интенсивного стока) следует отменить.

Одним из способов корректировки значений уровней гамма-поля P_{γ_3}, меняющихся в период снеготаяния, являются синхронные измерения запасов воды на поверхности водосборов авиационной гамма-съемкой и наземные измерения на сети специально выбранных контрольных маршрутов. В этом случае уровни гамма-поля на маршруте P'_{γ_3} определяются по уравнению

$$P'_{\gamma_3} = P_\gamma + S_{наз}, \qquad (2.2)$$

где P_γ - уровень гамма-поля, измеренный гамма-съемкой;
$S_{наз}$ - запас воды в снежном покрове, измеренный наземной съемкой.

Коэффициенты соотношения K_i величины P'_{γ_3} и $\bar{P}_{\gamma_0}$, полученные для каждого контрольного маршрута на любую i-ю дату производства гамма-съемки в период снеготаяния, позволяют произвести корректировку уровней гамма-поля на стандартной сети авиационных маршрутов и их отдельных участках. Последние характеризуют определенный тип ландшафта, представленный соответствующим контрольным маршрутом. Корректировка P_{γ_3} авиационного маршрута или его участка производится по выражению

$$P'_{\gamma_3} = K_i \cdot \bar{P}_{\gamma_0} \qquad (2.3)$$

где $\bar{P}_{\gamma_0}$ - среднемноголетний начальный уровень гамма-поля авиа-

ционного маршрута или его участка.
Указанный метод корректировки позволяет рассчитывать запасы воды на поверхности водосборов в течение всего периода снеготаяния - T_1 и T_2. Однако он не может быть рекомендован для массовой сети вследствие его трудоемкости. В исключительных случаях возможно его применение для контроля других методов корректировки уровней гамма-поля и расчета запасов воды на поверхности водосборов.

Таким образом, в бассейнах рек Северного Края оценка запасов воды на поверхности почвы по данным авиационных гамма-съемок должна выполняться с использованием:

- постоянных (для каждого маршрута или его части) значений $\bar{P}_{\gamma_0}$ для оценки максимальных снегозапасов в конце зимы;
- постоянных (для каждого маршрута или его части) значений $P_{\gamma_{vm}}$ для периода снеготаяния после начала половодья.

3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДОСБОРОВ В ПЕРИОД СНЕГОТАЯНИЯ

В настоящем разделе предлагается ряд методов оценки запасов воды на поверхности водосборов в период весеннего снеготаяния на основе использования авиационных гамма-съемок снежного покрова.

Как уже указывалось, в период максимального снегонакопления в рассматриваемых районах результаты авиационных гамма-съемок и сетевых наземных измерений идентичны. В период весеннего снеготаяния гамма-съемки дают завышенные результаты (до 100 мм) за счет неучета наземной съемкой воды на поверхности водосборов и в верхних горизонтах почвогрунтов. В формировании гидрографа половодья участвуют все виды влаги на поверхности водосборов.

3.1. Расчет запасов воды на поверхности водосборов по данным съемок на сети контрольных маршрутов

Запасы воды на поверхности авиационных маршрутов или их участков S_γ могут быть вычислены по выражению

$$S_\gamma = P'_{\gamma_3} - P_\gamma , \qquad (3.1)$$

где P'_{γ_3} - уровень гамма-поля маршрута или участка, откорректиро-

ванный по уравнению (2.3);

P_γ – измеренное значение уровня гамма-поля в период снеготаяния.

Результаты расчета средних для водосбора запасов воды на поверхности ($\overline{S}_\gamma$) за весну 1984 и 1985 гг. представлены в таблице 3.1 и на рис.3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Запасы воды на поверхности водосборов в период весеннего снеготаяния

Метод оценки	Год	Дата						
		р.Сухона						
	1984	8.04	14.04	18.04	27.04	5.05	13.05	
Контр.маршр.		137	109	64	35	31	8	
$P_{\gamma\text{тел}}$		144	130	96	37	28	4	
Коэфф.стаив.		155	148	100	61	0	0	
	1985	3.04	26.04	30.04	5.05	15.05		
Контр.маршр.		181	119	98	49	29		
$P_{\gamma\text{тел}}$		126	76	62	30	11		
Коэфф.стаив.		161	132	117	6	0		
		р.Юг						
	1984	5.04	11.04	17.04	26.04	4.05	8.05	12.05
Контр.маршр.		121	130	101	46	3	0	3
$P_{\gamma\text{тел}}$		158	147	126	72	38	19	13
Коэфф.стаив.		193	193	160	116	73	6	0
	1985	24.03	1.04	24.04	29.04	4.05	13.05	
Контр.маршр.		168	158	147	82	54	4	
$P_{\gamma\text{тел}}$		123	124	109	82	48	27	
Коэфф.стаив.		155	152	-	105	35	0	
		р.Рычегда						
	1984	6.04	16.04	6.05	11.05	21.05		
Контр.маршр.		152	178	95	60	11		
$P_{\gamma\text{тел}}$		-	153	94	46	10		
Коэфф.стаив.		192	198	124	47	0		
	1985	4.04	27.04	3.05	16.05	20.05		
Контр.маршр.		151	130	105	4	2		
$P_{\gamma\text{тел}}$		135	126	105	45	35		
Коэфф.стаив.		169	178	127	15	12		

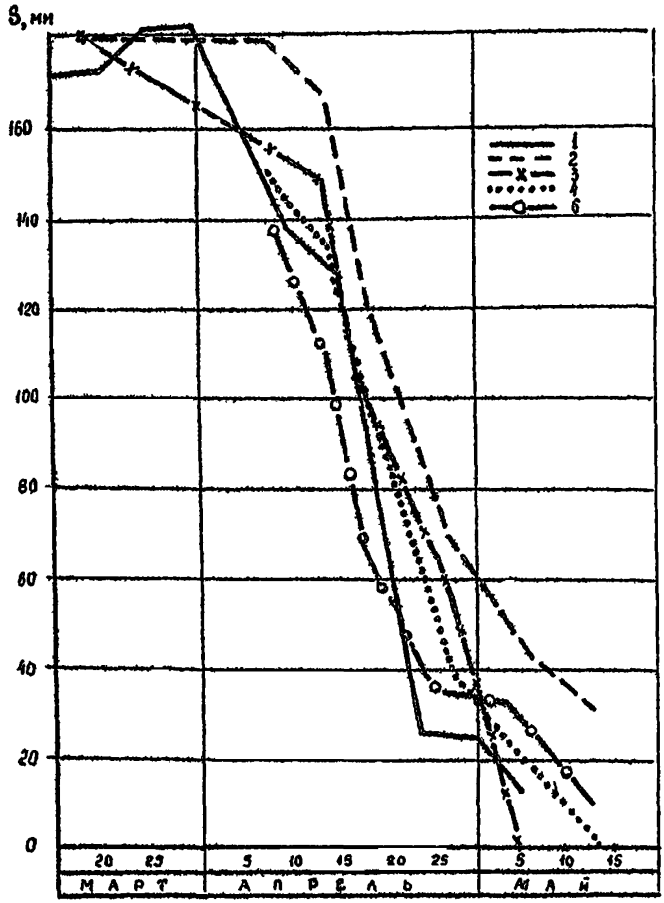

Рис.3.I Изменение запасов воды на поверхности водосбора Сухоны в период снеготаяния 1984 г.
I- наземные измерения, 2- авиационные измерения, 3- расчет по коэфф.стаивания, 4- расчет по $P_{\delta\,\text{увл}}$,.
5- расчет по контрольным маршрутам

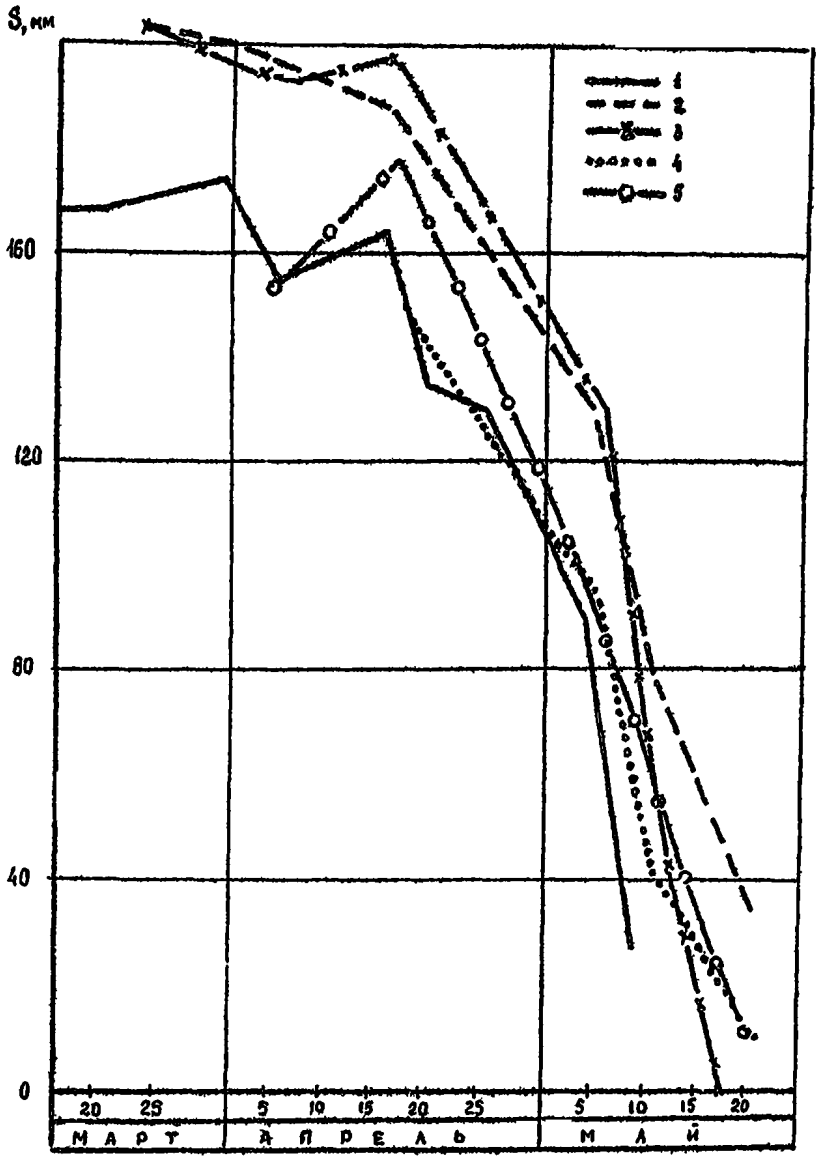

Рис. 3.2 Изменение запасов воды на поверхности водосбора Вычегды в период снеготаяния 1984 г.
1- наземные измерения, 2- авиационные измерения, 3- расчет по коэфф.стаивания, 4- расчет по $\rho_{б\,год}$, 5- расчет по контрольным маршрутам

3.2. Расчет запасов воды на поверхности водосборов на основе использования уровня гамма-поля переувлажненных почв

Запасы воды на поверхности маршрутов или участков, характеризующих суходольную часть водосбора, в период половодья рекомендуется вычислять по уравнению

$$S_\gamma = P_{\gamma\,max} - P_\gamma \qquad (3.2)$$

где $P_{\gamma\,max}$ – средний уровень гамма-поля на маршруте или участке, соответствующий водоудерживающей способности почвогрунтов;

P_γ – измеренный уровень гамма-поля во второй период снеготаяния.

Результаты расчета S_γ по этому методу также представлены в табл. 3.1 и на рис.3.1 и 3.2.

Рассмотренный метод следует считать основным для оценки запасов воды на поверхности водосборов в период формирования гидрографа половодья.

3.3. Расчет запасов воды на поверхности водосборов по температурным коэффициентам стаивания

Основными характеристиками снеготаяния являются его продолжительность и средняя интенсивность [11]. Температурные коэффициенты стаивания характеризуют количество стаявшего снега в мм слоя на один градус положительной среднесуточной температуры воздуха. Коэффициенты стаивания подвержены большой пространственно-временной изменчивости. Наибольшие их значения характерны для открытых участков южных районов, наименьшие – для лесов северных широт. За начало снеготаяния обычно принимается переход среднесуточной температуры воздуха к положительным значениям. Конец снеготаяния определяется довольно трудно, особенно для леса. Обычно эта дата соответствует моменту схода снега с 80-90% площади водосбора.

Сход снега в лесу запаздывает по сравнению с его сходом в полях на 10-15 дней и по времени чаще всего приурочивается к моменту прохождения пика половодья на реках средних размеров.

В начальный период снеготаяния, особенно при солярном его типе, убыль снегозапасов в лесу практически не наблюдается. Если этот период затягивается, снег в поле может исчезнуть, а в лесу произойдет только насыщение его водой при отсутствии водоотдачи. Поэтому для водосборов рассматриваемого района оценку стаивания снега целесообразно производить по среднесуточным значениям температуры воздуха.

Интенсивность поступления тепла на водосбор $i_т$ определяется по соотношению [12]

$$i_т = \frac{\Sigma(+t) - \Sigma(-t)}{T} \qquad (3.3)$$

где $\Sigma(+t)$ и $\Sigma(-t)$ – соответственно суммы положительных и отрицательных среднесуточных температур воздуха за общий период снеготаяния T.

В таблице 3.2 представлены результаты расчета средних значений интенсивности снеготаяния $i_{сн}$ (мм/сут), интенсивности поступления тепла $i_т$ (град/сут) и коэффициентов стаивания α (мм/град). Последние определяются по соотношению

$$\alpha = \frac{i_{сн}}{i_т} \quad . \qquad (3.4)$$

В среднем интенсивность снеготаяния в лесах для всех рассматриваемых бассейнов составляет около 5 мм за сутки. В отдельные годы $i_{сн}$ колеблется от 3 до 12 мм/сут. В соответствии с полученными значениями интенсивности снеготаяния и поступления тепла на водосбор оказывается, что 1^0 среднесуточной температуры воздуха обусловливает стаивание снега в лесах бассейнов рек: Сухоны – 1,6 мм, Юга – 1,4 мм и Вычегды – 1,5 мм.

Полученные значения коэффициентов стаивания были использованы для расчета запасов воды в снежном покрове в период снеготаяния на даты производства наземных и авиационных съемок. В качестве исходных данных приняты запасы воды в снежном покрове, измеренные гамма-съемкой и наземной 20 марта в бассейнах рек Сухоны и Юга и 31 марта – в бассейне Вычегды. Эти даты являются наиболее оптимальным сроком установления максимальных снегозапасов и используются для составления долгосрочных прогнозов характеристик половодья.

Связи измеренных величин снегозапасов с рассчитанными по

Таблица 3.2

Коэффициенты стаивания снежного покрова α (мм/град)

Год	р.Сухона			р.Юг			р.Вычегда		
	$i_{сн}$, мм/сут	$i_т$, град/сут	α	$i_{сн}$, мм/сут	$i_т$, град/сут	α	$i_{сн}$, мм/сут	$i_т$, град/сут	α
1965	6,9	4,0	1,7	7,6	3,7	2,0	5,2	5,2	1,0
66	4,9	2,6	1,8	5,7	3,8	1,5	3,6	3,2	1,1
67	3,5	4,4	0,7	3,7	3,9	0,9	4,4	4,4	1,0
68	3,7	1,7	2,1	3,0	2,4	1,2	5,8	1,1	5,3
69	9,9	5,8	1,7	5,7	4,9	1,2	4,1	2,6	1,6
1970	5,6	2,4	2,3	4,1	3,4	1,2	3,6	2,6	1,4
71	3,4	1,2	2,8	2,7	1,8	1,5	3,8	1,4	2,7
72	4,1	3,3	1,2	2,7	2,7	1,0	2,8	2,7	1,0
73	6,0	3,6	1,6	5,3	4,8	1,1	5,0	3,9	1,3
74	4,2	1,8	2,3	2,4	2,3	1,0	3,9	3,0	1,3
75	2,7	1,7	1,6	2,6	2,0	1,3	4,0	3,5	1,1
76	6,3	2,7	2,3	3,5	2,8	1,2	6,6	3,7	1,8
77	5,0	4,5	1,1	3,4	2,4	1,4	5,9	4,1	1,4
78	2,8	0,8	3,5	3,0	0,6	5,0	2,6	0,5	5,2
79	2,9	2,1	1,3	13,0	9,3	1,4	11,8	8,8	1,3
1980	4,3	3,4	1,2	7,2	4,3	1,7	5,4	3,9	1,4
81	2,7	1,6	1,6	11,2	6,6	1,7	6,8	3,7	1,8
82	6,2	4,4	2,1	5,4	3,7	1,4	5,7	5,7	1,0
83	4,8	4,4	1,1	8,1	5,5	1,5	6,6	4,5	1,5
84	4,6	3,4	1,4	4,0	2,1	2,3	4,4	1,0	4,4
85	3,5	1,2	2,9	3,3	1,9	1,7	2,9	1,2	2,4
Среднее	4,7	2,9		5,2	3,6		5,0	3,4	
$\bar{\alpha}_{сухона}$ = 1,6мм/град				$\bar{\alpha}_{юг}$ = 1,4мм/град			$\bar{\alpha}_{вычегда}$ = 1,5мм/град		

коэффициентам стаивания характеризуются достаточной тесностой (рис.3.3 и 3.4) и коэффициентами корреляции 0,94–0,99. Из примера на рис.3.3 следует, что величины снегозапасов, измеренные гамма-съемкой $S_{Гам}$ в период снеготаяния, систематически выше рассчитанных $S_{Град}$. Среднее расхождение составляет +35 мм для рек Сухоны и Вычегды и 50 мм для водосбора Юга. Эти расхождения указывают на снижение гамма-фона в период снеготаяния из-за переувлажнения верхних горизонтов почвы.

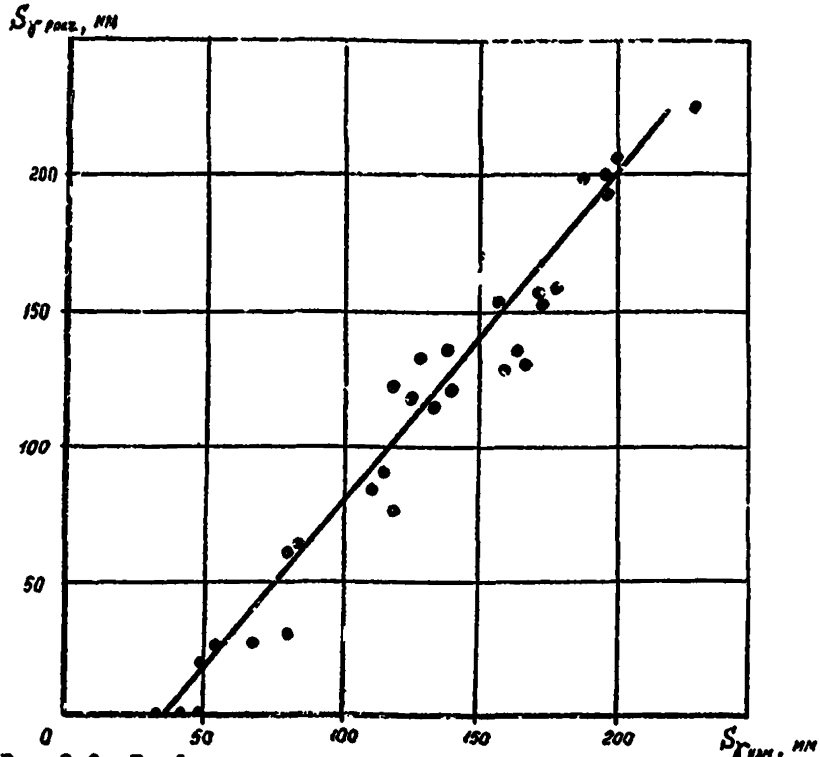

Рис.3.3 График связи снегозапасов на водосборе Вычегды, осредненных по данным гамма съемок и рассчитанных по коэффициентам стаивания

Достаточная теснота связей $S_{\gamma изм}$ и $S_{\gamma расч}$ позволяет сделать заключение о возможности расчета снегозапасов на поверхности водосборов в период снеготаяния, исходя из максимальных их значений, измеренных гамма-съемкой.

Представляет интерес оценить величины убыли воды в снежном покрове за период от начала снеготаяния до начала половодья, т.е. знать начальные потери талых вод, идущие на пополнение дефицита бассейновых запасов влаги. Оценка этих потерь выполнена как расчетным путем (по коэффициентам стаивания), так и по разности между измеренными наземным методом величинами снегозапасов. На водосборах рек Сухоны и Юга, где средняя продолжительность расчетного периода составляет 12 дней, в среднем стаивает

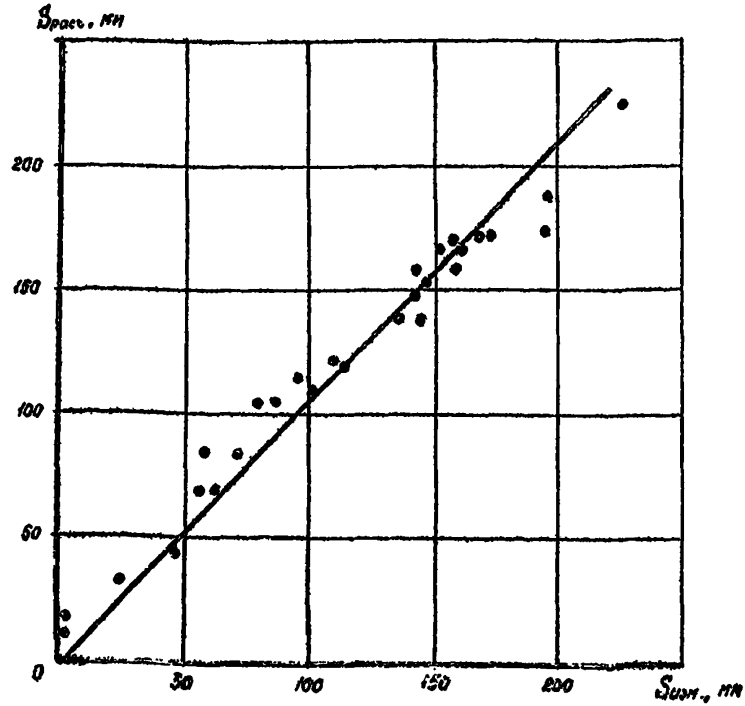

Рис.3.4 График связи снегозапасов на водосборе Вычегды, осредненных по измерениям наземной сети и рассчитанных по коэффициентам стаивания

25-30 мм, что составляет всего 15-20% от максимальных снегозапасов $S_{макс}$. На водосборе Вычегды этот период в два раза больше (24 дня), поэтому стаивает 60-75 мм, или 30-40% от $S_{макс}$, и, по-видимому, значительная часть этих потерь приходится на испарение.

Проведенный анализ начального периода снеготаяния позволил сделать весьма важный вывод о том, что в период резких изменений уровней гамма-поля стаивает относительно небольшая часть снегозапасов в лесу.

Результаты сопоставления запасов воды на поверхности водосборов, вычисленных разными методами (см.табл.3.1), позволяют сделать вывод о возможности использования любого из рассмотрен-

ных методов для расчета средних значений на водосборе.

3.4. Пространственные кривые распределения снежного покрова

Пространственные кривые распределения снежного покрова в период снеготаяния используются при разработке методов краткосрочных прогнозов характеристик стока половодья. Наличие кривых распределения снежного покрова в сочетании с величинами максимальных снегозапасов и средних суточных значений температуры воздуха позволяют рассчитывать поступление талой воды на поверхность бассейна.

В настоящее время построение кривых распределения запасов воды в снежном покрове по данным снегомерных съемок в период снеготаяния возможно лишь для водосборов воднобалансовых станций, где проводятся площадные снегосъемки. В реальных условиях бассейна средних размеров в случае необходимости рекомендуется использовать теоретические кривые распределения снежного покрова, расчет которых базируется на условии $C_s = 2C_v$, $C_v = 0{,}38$–$0{,}45$ для поля и $C_v = 0{,}35$–$0{,}40$ для леса [13]. Известно, что указанные величины C_v сильно изменчивы как во времени (от года к году и в период снеготаяния), так и в пространстве (в зависимости от рельефа местности, типа лесов и т.д.). По данным экспедиционных исследований в бассейне р.Вятки коэффициент вариации пространственного распределения запасов воды в снеге в начальный период снеготаяния колеблется в пределах 0,25–0,35 и в среднем может быть принят равным 0,30.

Авиационные гамма-съемки в период снеготаяния с учетом корректировки уровней гамма-поля земли любым из рассмотренных выше методов в разделах 3.1 и 3.2 позволяют получать полную характеристику распределения снега и талых вод. Для этой цели используются рассчитанные значения запасов воды на поверхности водосборов по данным гамма-измерений на участках авиационной снегомерной сети. Число участков определяется после анализа авиационной снегомерной сети и, как правило, в 2–3 раза превышает количество маршрутов.

Из рис.3.5, на котором в качестве примера представлены кривые распределения запасов воды на поверхности для водосбора р.Юг за весну 1984 г., видно, что оба метода корректировки (по

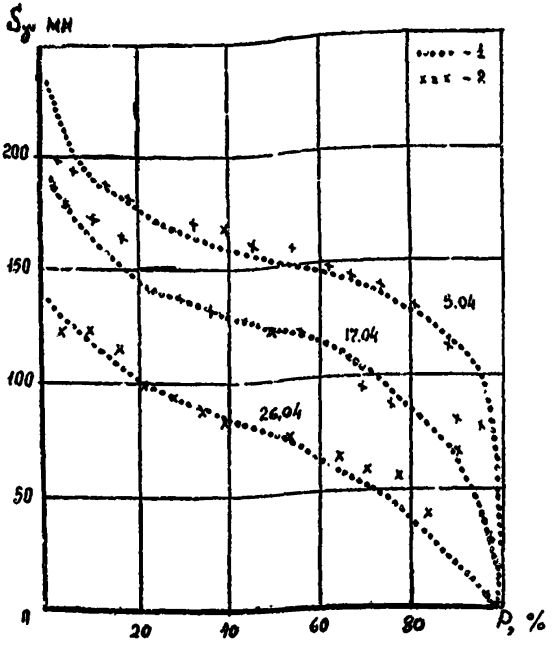

Рис. 3.5 Кривые обеспеченности откорректированных запасов воды в снеге на водосборе Юга в период снеготаяния 1984 г.
1- корректировка по $P_{\gamma\,увл}$, 2- корректировка по контрольным маршрутам.

контрольным маршрутам и по значениям гамма-поля переувлажненных почв) дают близкие результаты.

Сопоставление эмпирических кривых распределения с теоретическими (при условии $C_v = 0{,}30$; $C_s = 2\,C_v$ и наличии S_γ) показало, что во второй период снеготаяния они имеют значительное расхождение (рис.3.6). Эмпирические кривые распределения запасов воды на поверхности водосборов по данным авиационных гамма-съемок в период половодья отражают распределение суммарных запасов снега, пропитанного водой, и свободной воды, т.е. тех запасов, которые практически полностью участвуют в формировании гидрографа половодья. Эти кривые могут быть построены и для отдель-

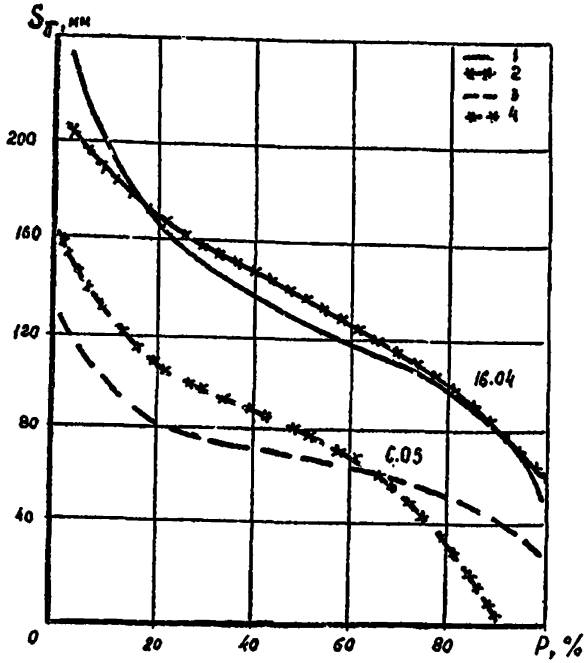

Рис.3.6 Кривые обеспеченности запасов воды в снеге по авиационным съемкам на водосборе Вычегды в период снеготаяния 1984 г.
1, 3 - теоретические кривые; 2, 4 - эмпирические кривые.

ных частей бассейна, что расширяет возможности их использования в различных расчетных моделях гидрографа половодья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные рекомендации по оценке запасов воды на поверхности водосборов Северного Края ЕТС в период весеннего снеготаяния с использованием авиационных гамма-съемок можно свести к следующему.

1. Условия и эффективность применения авиационных гамма-

съемок снежного покрова и использования их результатов зависят от устойчивости гамма-фона земли. Пространственная изменчивость фона определяется механическим составом почвогрунтов, а временная - в основном колебаниями влажности верхних горизонтов почвы. Поэтому измеренные осенью уровни гамма-поля земли имеют самостоятельное значение при составлении гидрологических прогнозов. В северных районах ЕТС с достаточным увлажнением уровни гамма-поля характеризуют бассейновые запасы влаги.

Вследствие достаточной устойчивости из года в год увлажнения почвы в предвесенний период, а следовательно, и стабильности уровней гамма-поля, рекомендуется для расчета максимальных снегозапасов по данным гамма-съемок использовать средние многолетние значения начальных (осенних) уровней гамма-поля. Съемки последних могут быть отменены.

2. Период весеннего снеготаяния можно разделить на две части:

- от начала снеготаяния до начала интенсивного стока с водосборов средних размеров (T_1);
- от начала стока до конца снеготаяния (T_2).

Продолжительность первой части снеготаяния зависит от интенсивности поступления тепла, величины снегозапасов и дефицита бассейновых запасов влаги, только после восполнения которого может начаться интенсивный сток в руслах рек. За время T_1 обычно стаивает 25-30 мм, или 15-20% максимальных снегозапасов в бассейнах рек Сухоны и Юга, и 50-60 мм, или 30-40%-в бассейне Вычегды.

Уровни гамма-поля земли после начала снеготаяния и увеличения влажности почвы резко падают до минимума, приходящегося на момент начала стока, и остаются в таком положении до полного схода снега. Продолжительность периода T_2 колеблется от 15 до 35 суток, а в годы с перебойным снеготаянием в бассейне р.Вычегды до 40-45 суток.

Выполнение гамма-съемок в первый период снеготаяния, в условиях наибольшей изменчивости уровней гамма-поля, не имеет практической значимости для использования в гидрологических прогнозах. Поэтому основное внимание должно быть обращено на оценку запасов воды на поверхности водосборов во второй период снеготаяния - после начала стока, когда возникает необходимость уточнения прогноза половодья.

3. Корректировка уровней гамма-поля земли под снегом и та-

лыми водами в период снеготаяния может быть выполнена двумя методами.

Первый заключается в выборе специальных репрезентативных по типу почв и составу леса контрольных маршрутов и производстве на них синхронных измерений запасов воды гамма-методами наземной съемкой, что позволяет оценивать уровни гамма-поля земли $P'_{гз} = P_г + S_{над}$. Коэффициенты соотношения $K = P'_р/P_{гр}$ могут быть перенесены с контрольных маршрутов на маршруты (или их части - участки) авиационной сети и использованы для корректировки значений $P_{гз}$ и для расчета запасов воды на поверхности водосборов в дни измерений гамма-поля на контрольных маршрутах.

Второй метод базируется на предположении о стабильности уровней гамма-поля во второй период снеготаяния (T_2), значения которых характеризуют состояние полной влагонасыщенности почвенно-грунтовой толщи. Оценка таких уровней $P_{гтал}$ проведена по данным гамма-съемок, выполненных сразу после схода снега в лесах (при покрытии площадей снегом менее 15%). Средние значения $P_{гтал}$ для периода T_2 постоянны и отличаются от уровней $P_{гс}$ (средних многолетних) на: 30 мм в бассейне Сухоны, 25 мм в бассейне Юга и 35 мм в бассейне Вычегды, т.е. близки к значениям начальных потерь талых вод в первый период снеготаяния.

Оба рассмотренных метода дают практически одинаковые результаты. Однако первый весьма трудоемок и не может быть рекомендован на сеть. Второй метод отличается простотой и надежностью и рекомендуется для оценки запасов воды на поверхности водосборов в период прохождения половодья.

4. Оценка запасов воды на поверхности водосборов в период снеготаяния может быть также выполнена на основе использования средних для каждого водосбора значений коэффициентов стаивания (от 1,4 до 1,6 мм/град), температуры воздуха и максимальных снегозапасов по данным авиационной гамма-съемки. Однако этот метод не позволяет характеризовать пространственное распределение запасов снега и талых вод.

5. Разработанные методы оценки запасов воды на поверхности водосборов по данным авиационных гамма-съемок в период снеготаяния дают возможность получения полной характеристики пространственного распределения снега и талых вод как в целом по водосборам, так и для отдельных их частей. Кривые распределения за-

роко используются в различного вида моделях расчета и прогноза гидрографов половодья.

6. Внедрение изложенных рекомендаций в практику производства авиационных гамма-съемок в Северном УГКС даст ежегодный экономический эффект 150 тыс.рублей за счет сокращения средств на авиаработы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методическая записка "Методы долгосрочного прогноза характеристик стока половодья с водосборов рек Сухоны, Юга, Вычегды, Сысолы, Северной Двины, Печоры и Усы с использованием авиационных гамма-съемок снежного покрова".- Л., архив ГГИ, 1982,№ 43191.- 111 с.
2. Вершинина Л.К. и др. Оценка потерь талых вод и прогнозы объема стока половодья.- Л.: Гидрометеоиздат, 1985.- 189 с.
3. Указания по производству самолетной гамма-съемки снежного покрова.- М.: Гидрометеоиздат, 1971.- 36 с.
4. Дмитриев А.В., Фридман Ш.Д. Основы дистанционных методов измерения влагозапасов в снеге и влажности почв по гамма-излучению земли.- Л.: Гидрометеоиздат, 1979.- 303 с.
5. Вершинина Л.К., Урываев В.А. Основные правила выбора и прокладки маршрутов для производства самолетных измерений запасов воды в снеге.- Труды ГГИ, 1969,вып.178, с.169-172.
6. Наставление по обработке и анализу авиационной гамма-съемки снежного покрова - Обнинск, 1982.- 38 с.
7. Коган Р.М., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Основы гамма-спектрометрии природных сред.- М.: Атомиздат, 1969.- 520 с.
8. Урываев В.А., Вершинина Л.К. Результаты экспериментальных исследований самолетного гамма-метода измерения запаса воды в снеге.- Труды ГГИ, 1969, вып.178, с.56-115.
9. Вершинина Л.К. Оценка возможности определения запасов воды в снеге самолетным гамма-методом в районах с неустойчивым залеганием снежного покрова.- Труды ГГИ, 1979, вып.259, с.68-74.
10. Крестовский О.И., Соколова Н.В. Весенний сток и потери талых вод в лесу и в поле -Труды ГГИ,1980, вып.265, с.32-60.
11. Комаров В.Д. Весенний сток равнинных рек Европейской части СССР.- М.: Гидрометеоиздат, 1959.- 294 с.
12. Вершинина Л.К. Анализ зависимости объема весеннего стока рек бассейна р.Дона от обусловливающих факторов.- Труды ГГИ, 1974, вып.218, с.45-71.
13. Жидиков А.П. О влиянии изменчивости параметров модели талого стока на результаты расчета гидрографа половодья.- Труды ГМЦ СССР, 1983, вып.246, с.46-60.

Методические рекомендации

по оценке запасов воды на поверхности водосборов
в период весеннего снеготаяния
на основе авиационных гамма-съемок

Подписано к печати 06.03.86 г. М-15066. Бумага картографическая.
Уч.-изд.л. 2,4. Усл.печ.л. 2,7. Тираж 300. Заказ 103. Бесплатно.

175400. Валдай, ул. Победы, 2 ФОЛ ВФ ГТИ

gost.e-ecolog.ru