Государственный комитет СССР по гидрометеорологии
и контролю природной среды

Государственный ордена Трудового Красного Знамени
гидрологический институт

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

ОХРАНА ПРИРОДЫ. ГИДРОСФЕРА

Методические указания
Правила ведения учета поверхностных вод
РД 52.08.18-84 - РД 52.08.25-84

Ленинград 1984

gost.e-ecolog.ru

Государственный комитет СССР по гидрометеорологии
и контролю природной среды

Государственный ордена Трудового Красного Знамени
гидрологический институт

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

ОХРАНА ПРИРОДЫ. ГИДРОСФЕРА

Методические указания

Правила ведения учета поверхностных вод

РД 52.08.18-84 - РД 52.08.25-84

Ленинград 1984

УДК 556.124.4 Группа П 69

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

ОХРАНА ПРИРОДЫ РД 52.08.22-84

ГИДРОСФЕРА

Методические указания
Правила ведения учета
поверхностных вод
Учет вод ледников

Настоящий раздел Методических указаний устанавливает основные правила учета водных ресурсов ледников, включая организацию системы наблюдений, методы определения запасов воды в ледниках и оценки их точности, формы учета и обобщения информации.

I. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ УЧЕТА ВОД ЛЕДНИКОВ

I.I. Наиболее полным источником сведений о ледниках Советского Союза является Каталог ледников СССР, содержащий данные о масштабах современного оледенения и используемый для ведения АИС ГВК. Это единственный вид гляциологических работ, выполненных по единой для СССР программе и методике.

I.2. Для учета водных ресурсов ледников используются результаты стандартных гидрологических, метеорологических и актинометрических наблюдений, а также специфических гляциологических наблюдений.

I.3. Гидрологические наблюдения на реках, берущих начало из ледников, выполняются в соответствии с требованиями Наставлений Госкомгидромета / 47, 48 /.

I.4. Специфические гляциологические работы выполняются различными организациями и различными методами, основными из которых являются геофизические и геодезические методы. К ним относятся, в первую очередь, наблюдения за аккумуляцией и абляцией по рейкам, за поверхностной скоростью движения ледни-

ков, исследование температуры в скважинах, изучение структуры снежно-фирновой толщи в шурфах и по кернам, полученным в результате бурения.

Методика и требования к стандартным работам приведены в / 7I /. Значительная часть работ, выполняемых в настоящее время на ледниках, производится новыми, не регламентированными еще Наставлениями и Руководствами методами, к числу которых относятся термобурение, исследование изотопного состава снежно-фирновой толщи, палинологические исследования, изучение распределения температуры по глубине термодатчиками и др.

I.5. Метеорологические и актинометрические наблюдения на ледниках выполняются в соответствии с требованиями Наставления Госкомгидромета / 52, 70 /.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ ВОДЫ В ЛЕДНИКАХ

2.I. Определение запасов воды в ледниках, основанное на оценке мощности ледников, может быть выполнено гравиметрическим, магнитометрическим, электрометрическим, сейсмическим, радиолокационным и расчетным методами.

2.2. Гравиметрический метод основан на изучении изменений поля силы тяжести, обусловленных геологическими объектами, которые отличаются по своей плотности от вмещающих пород / 30/.

2.2.I. Для измерения изменений силы тяжести применяют гравиметры, построенные по принципу пружинных весов. Малый вес и портативность приборов позволяет проводить ускоренные (в течение 3 - 5 минут) измерения в труднодоступных и труднопроходимых районах.

2.2.2. Сила тяжести является равнодействующей нескольких сил: сил притяжения всей массы Земли, центробежной силы, возникающей вследствие суточного ее вращения, и сил лунно-солнечного притяжения. Она зависит, с одной стороны, от причин, обусловленных формой и вращением Земли (нормальное поле), а с другой, - от неравномерностей распределения плотности земной коры по вертикали и горизонтали (аномальное поле). За нормальное поле принимается распределение силы тяжести на поверхности

теоретической Земли (эллипсоида вращения или сфероида - с учетом сжатия Земли у полюсов) в предложении, что Земля состоит из однородных по плотности концентрических слоев, не имеет структурных особенностей и по форме близка к геоиду.

2.2.3. Наблюденные значения силы тяжести и, следовательно, вычисленные по ним аномалии отражают наложенные друг на друга влияния многих масс, расположенных ниже физической поверхности наблюдений, поэтому однозначная интерпретация аномалий невозможна без предварительного разделения влияния отдельных возмущающих масс и выделения из них той составляющей аномального поля, которая связана с исследуемым объектом. Задача сводится к разделению наблюденной аномалии на локальную (остаточную) и региональную составляющие, обусловленные исследуемым геологическим объектом и другими неизвестными источниками. На практике неоднозначность интерпретации обусловлена также неточностью определения аномалий из-за ошибок измерений и редуцирования, определения аномалий в дискретных точках и т.д.

2.2.4. Благоприятной предпосылкой применения гравиметрического метода для определения толщины и подледного рельефа ледников является большая разность плотностей льда и подстилающих пород (в среднем - 1,7 - 1,8 г/см^3).

2.2.5. Интенсивные аномалии, создаваемые ледником (от нескольких до десятков миллигал), сравнительно просто могут быть обнаружены с помощью современных гравиметров, имеющих инструментальную точность до $\pm$ 0,03 - 0,06 мгал. Кроме того, положение и конфигурация исследуемого возмущающего тела - ледника - известны с той или иной точностью из прямых измерений, а вариации средней плотности материала ледника незначительны. В силу этого неоднозначность решения задачи существенно ограничена по сравнению с другими объектами гравиметрической разведки и сводится к нахождению глубины залегания рельефа одной контактной поверхности - ложа ледника. Основная трудность заключается в правильном учете регионального фона, а также в определении поправки на рельеф в горных областях.

2.2.6. При условии достаточно тщательных измерений, редуцирования и учета регионального фона может быть получена приемлемая точность гравиметрических определений мощности ледников - около 10 - 15 м.

2.3. Применение магнитометрического метода, основанного на изучении изменений магнитного поля Земли, обусловленных неодинаковой намагниченностью различных пород / 2 /, не рекомендуется из-за малой его эффективности.

2.4. Электрометрические методы разведки, основанные на изучении электрических полей, существующих в Земле в силу различных естественных процессов или создаваемых искусственно/ 2/, среди которых для измерения мощности ледников наибольшее распространение получил метод сопротивлений, в частности, метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) / 3 /, являются мало эффективными.

Из-за значительных недостатков метода, связанного с ненадежностью гальванического контакта электродов с изучаемой средой, низкой производительностью, сравнительно большим весом и громоздкостью оборудования, зависимостью результатов измерений от погодных условий, а также ограниченностью зондирования по глубине, применение метода электрозондирования для измерения толщины ледников и ледниковых покровов не рекомендуется.

2.5. Сейсмический метод разведки основан на изучении распространения в исследуемой среде упругих волн, возбуждаемых искусственным путем с помощью взрывов или ударов / 2, 3, 31 /.

2.5.1. Упругие волны распространяются во всех направлениях от источника возбуждения. Падающая волна претерпевает отражение и преломление на границах сред с различными упругими свойствами и возвращается к поверхности, где создает колебания почвы, которые регистрируются с помощью сейсмоприемников. Определяя по сейсмограммам время пробега отраженных и преломленных волн от пункта взрыва к сейсмоприемникам, установленным вдоль профиля измерений, и исследуя характер колебаний (амплитуду, фазу, частоту) по годографам и записям волн можно

установить глубину залегания, угол наклона и форму сейсмогеологических границ, скорости распространения волн в покрывающей и подстилающей средах, а также геологическую природу выявленных границ и свойства зондируемой среды.

2.5.2. Различают два основных методы сейсмозондирования: метод отраженных волн (МОВ) и метод преломленных волн (МПВ):

МОВ основан на изучении волн, возникающих при отражении от границы раздела двух сред с различными волновыми сопротивлениями. Падающий луч отражается по законам геометрической оптики: угол падения равен углу отражения. Вследствие этого отраженные волны наблюдаются вблизи пункта взрыва.

МПВ основан на изучении головных преломленных волн, возникающих при движении вдоль границы раздела двух сред скользящей преломленной волны. Эта волна образуется тогда, когда угол падения равен критическому углу и скорость распространения волн в подстилающей среде больше, чем в покрывающей. Головные преломленные волны наблюдаются вдали от пункта взрыва на расстояниях, соизмеримых с глубиной залегания преломляющей границы. Поэтому измерения МПВ более трудоемки при изучении глубокозалегающих горизонтов, чем измерения МОВ. К тому же интерпретация данных МПВ возможна лишь тогда, когда имеются два (встречных или нагоняющих) годографа, полученных из разных пунктов взрыва.

2.5.3. На горных ледниках для определения толщины льда используются либо МОВ, либо МПВ, либо комбинированный метод отраженных и преломленных волн. Выбор метода зависит от толщины ледника и от характера подстилающих пород. На ледниках с небольшой мощностью льда (до 50 - 100 м) МПВ дает лучшие результаты (при условии, что скорость распространения волн в подстилающих породах больше, чем во льду).

До недавнего времени сейсмический метод являлся единственным физическим методом, позволяющим получать достоверные данные о толщине ледников.

2.6. Радиолокационный метод измерения толщины ледников основан на свойстве радиоволн распространяться в диэлектрических средах и отражаться на границах раздела сред с различными диэлектрическими свойствами / 2, 28 /.

2.6.I. Благоприятными предпосылками являются: сравнительно малые потери на поглощение радиоволн во льду, значительное различие диэлектрических характеристик льда и подстилающих пород, незначительные потери при отражении электромагнитной энергии от верхней границы ледника. Последнее обстоятельство позволяет осуществлять зондирование ледников дистанционно, с воздушного транспорта, с использованием импульсного метода радиолокации.

2.6.2. Основные параметры распространения радиоволн в ледниках (скорость, поглощение, коэффициент отражения от поверхности и ложа, преломление) определяются диэлектрическими свойствами льда, приводящими к важным следствиям для техники радиозондирования:

I. Учитывая, что поглощение растет с повышением частоты, часто́ты радиозондирования холодных ледниковых покровов обычно выбираются не выше 440 МГц. Частоты 60 - 300 МГц предпочтительней, т.к. на более высоких частотах рассеяние от неровностей ложа может уменьшить коэффициент отражения и, следовательно, возможность обнаружения отраженного от ложа сигнала.

На более низких частотах возрастают ионосферные помехи и помехи от других радиотехнических служб, а также размеры антенных устройств. Для зондирования горных ледников важно использовать более остронаправленные антенны (что технически возможно лишь на частотах выше 440 МГц), чтобы уменьшить помехи за счет рассеяния на неровностях поверхности и внутренних неоднородностях ледника (особенно на "теплых" ледниках) и за счет отражения от окружающих склонов. С другой стороны, на более высоких частотах возрастает как поглощение, так и рассеяние, поэтому целесообразно перейти на более низкие частоты. Эти противоречивые требования реализуются сейчас в двух подходах к созданию соответствующей аппаратуры. Один подход основан на использовании сравнительно высоких частот (порядка 620 МГц) и узконаправленных антенн, другой - на использовании сравнительно низких частот (порядка I - 5 МГц), но для повышения разрешения по дальности применяются возможно более короткие импульсы.

2. Суммарное ослабление электромагнитного сигнала при зондировании ледников в основном зависит от их температуры и толщины, а также от внутренней структуры. В холодных ледниковых покровах поглощение относительно мало, т.к. лед имеет низкие температуры для большей части ледниковой толщи. Кроме того, потери на рассеяние и отражение от структурных неоднородностей также относительно невелики. Вследствие этого на большей части маршрутов наземного и аэрозондирования регулируются устойчивые отражения от ложа, которые трудно спутать с отражениями от внутренних слоев в леднике, отличающихся по диэлектрическим свойствам.

На горных и особенно "теплых" ледниках картина сложнее. Во-первых, их температура более высокая и, следовательно, потери на поглощение выше. Во-вторых, слой воды или влажного снега на поверхности ледника, а также прослойка льда различной плотности вносит дополнительные потери, которые также снижают глубину зондирования. В-третьих, рассеяние на более изрезанной поверхности, прослойках и линзах льда в снежно-фирновой толще и включениях воды и отражения от горного обрамления могут маскировать отражения от ложа или вообще препятствовать выделению их на фоне помех. Вследствие этого радиозондирование горных ледников, особенно "теплых", представляет более сложную проблему, чем радиозондирование холодных ледниковых покровов.

По этим и другим причинам можно считать, что проблема радиозондирования, в том числе и с воздушного транспорта, полностью решена для холодных ледниковых покровов, а также для "субполярных" ледников, средняя температура которых на 1 - 2^0 ниже 0^0С, а влияние талой воды распространяется на самые верхние горизонты / 2, 28 /. На "теплых" ледниках хорошие результаты получены пока лишь при наземном радиозондировании.

2.7. Сложность геофизических методов и невозможность выполнения необходимых измерений на значительном числе ледников вынуждает пользоваться менее точными, но более простыми, расчетными способами. Их число весьма велико, они исходят из различных предпосылок и требуют разной информации / 19, 91 /.

2.8. Определение объема льда в целом по группе ледников может быть выполнено методом Дж.Нач, которым заключается в расчете толщины льда по формуле:

$$h = \frac{h_0}{\sin \alpha}, \qquad (I)$$

где h – средняя толщина льда; м ; α – уклон ледника, h_0 – II-константа.

Для ледников разных морфологических типов формула (I) дает значительные систематические ошибки. Кроме того, на результатах расчета толщины льда сказываются погрешности определения уклона ледника, которые находятся по разности высот верхней и нижней точек ледника и его длине.

2.9. Более точным является метод, предложенный Н.В.Ерасовым / I7 /, для расчета объема льда в горном леднике (W км^3). По этому методу объем льда определяется по формуле:

$$W = 0{,}027 F^{\frac{3}{2}}, \qquad (2)$$

где F – площадь ледника в км^2; значения которой для каждого ледника имеются в Каталоге.

2.I0. Для расчета объема льда, содержащемся в целой группе ледников, расположенных в некотором речном бассейне может быть рекомендована формула

$$W = 0{,}04 \frac{F^2}{N}, \qquad (3)$$

где N – число ледников, F – общая их площадь (км^2), W – объем (км^3).

2.II. Одним из основных способов определения годовых изменений запасов воды ледника является метод баланса льда, накопленного и стаявшего за год.

Баланс изменений запасов воды ледника рассчитывается или по общему, или по чистому объему величин абляции и аккумуляции льда за короткие интервалы времени (месяц, сезон, год). Поскольку величины этих составляющих надежно коррелируют с ме-

георологическими и актинометрическими показателями, это дает возможность производить балансовые расчеты за длительные периоды.

2.12. Методика и порядок определения объема льда ледников изложены в работах / 17, 26 /.

Для получения запаса воды, содержащегося в леднике, объем льда необходимо умножить на величину средней его плотности.

3. ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ ВОДЫ В ЛЕДНИКАХ

3.1. Оценка точности геофизических методов в применении к определению толщины ледников довольно ненадежна.

В целом ошибки определения толщины ледников гравиметрическим методом составляют 5 - 10%, электрометрическим методом - 10 - 15%, сейсмическим методом - 10 - 15% и радиолокационным методом 3 - 5%.

При этом приведенные величины ошибок относятся к измерениям толщины ледников в отдельных точках или на профилях. Распространение этих данных на весь ледник связано с ошибками, значения которых неизвестны.

3.2. Методика оценки точности определения объема ледников расчетными методами не разработана. Суммарная погрешность расчета объема ледников зависит от ошибок составления карт, определения по ним контуров ледников, измерения морфометрических показателей и ошибок самих методов расчета.

Известно / 29, 92 /, что относительная ошибка определения площади ледников уменьшается с увеличением самой площади. Также уменьшается ошибка измерения средней мощности и объема для ледников с площадью меньшей 30 - 40 км^2.

В целом точность расчета объема льда по формулам (2) и (3) составляет 25 - 30%.

4. ФОРМЫ УЧЕТА И ОБОБЩЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ВОДНЫХ РЕСУРСАХ ЛЕДНИКОВ

4.1. Результаты гидрологических, метеорологических и актинометрических наблюдений заносятся в книжки, предназначенные для этих видов работ на горных реках и утвержденные Госкомгидрометом / 47, 48, 52, 70 /.

4.2. Данные точечных или профильных (на створах) измерений толщины льда, стаявшего (абляция) или накопленного (аккумуляция) за определенные временные интервалы записываются в специальные книжки, формы которых приведены в / 71 /.

4.3. Данные измерений мощности ледника в отдельных точках заносятся в табл.1, а если измерения проводятся по створам, то в табл.2, формы которых приводятся ниже.

4.4. На основе точечных или профильных измерений по форме табл.3 производится обобщение данных о годовых измерениях массы ледника, а следовательно, и определения на основе этих данных изменений запасов воды ледника за год.

4.5. Результаты расчета объема ледника заносятся в форму табл.4.

Таблица I

Номер ледника по ГВК	Дата измерения	Местонахождение точки на леднике	Метод определения мощности ледника	Мощность ледника, м
I4307040 (л.Абрамова)	IX,1972	Верхняя часть языка ледника, в 3,5 км от конца	Термобурение	151

Таблица 2

Номер ледника по ГВК	Дата измерения	Местонахождение створа на леднике	Ширина поверхности ледника в створе В,м	Площадь поперечного сечения створа $м^2$	Средняя мощность ледника в данном створе Н, м
I4307040 (л.Абрамова)	УШ.1975	профиль№4, ниже уровня 3960 м	1920	107540	56

Таблица 3

Номер ледника по ГВК	Период балансовых наблюдений	Суммарная аккумуляция $г/см^2$	Суммарная абляция, $г/см^2$	Внутреннее питание, $г/см^2$	Баланс массы, $г/см^2$
822108	1968-1969	177	291	13	-101

Таблица 4

Номер ледника по ГВК	Площадь ледника $км^2$	Объем ледника, $км^3$	Метод определения объема ледника
15104100	1,4	0,0044	по формуле Ерасова

gost.e-ecolog.ru