

***Рыхлов А.Б.***

***Градиентные (тепlobалансовые)  
наблюдения***

*Учебное пособие для студентов  
географического факультета*

*Саратов, 2018*

УДК 372.551.5

Рыхлов А.Б. Градиентные (теплобалансовые) наблюдения. Учебное пособие для студентов географического факультета. 2018. 48 с.

Методические указания предназначены для студентов-метеорологов и географов 1 курса в качестве вспомогательного пособия по производству, обработке и контролю материалов градиентных наблюдений в рамках учебных дисциплин и учебных практик по метеорологии.

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО

## **I. Общие положения**

Градиентные наблюдения служат для изучения микроклимата в различных условиях рельефа и характера подстилающей поверхности, например, микроклимата побережий водохранилищ, различных сельскохозяйственных угодий, лесов, парков и т.д.

Участки («точки») местности, на которых производятся наблюдения, выбираются в соответствии с задачами практики.

Объем работы на каждой точке включает:

1. Производство систематических наблюдений.
2. Первичную обработку результатов наблюдений.
3. Составление сводных таблиц и выборок.
4. Контроль материалов наблюдений.
5. Расчёт составляющих теплового баланса подстилающей поверхности.

В программу наблюдений входит:

1. Измерение температуры и влажности воздуха на нескольких уровнях от деятельной поверхности.
2. Измерение скорости ветра на этих же уровнях.
3. Измерение радиационного баланса на уровне 1,5 м.
4. Измерение температуры естественной поверхности почвы и температуры на глубинах 5, 10, 15, 20 см.
5. Наблюдения за облачностью, состоянием диска солнца, осадками, направлением ветра, состоянием деятельной поверхности, высотой растительности, атмосферными явлениями, характером погоды, давлением воздуха, влажностью верхнего слоя почвы (до 20 см).

Материалы измерений позволяют определить вертикальные градиенты основных метеорологических элементов и коэффициент турбулентно-

сти в приземном слое и составляющие теплового баланса деятельной поверхности.

Коэффициент турбулентности количественно характеризует интенсивность вертикального перемешивания в приземном слое. Величина коэффициента турбулентности тем больше, чем больше неровности деятельной поверхности и скорость ветра. Она также существенно зависит от температурной стратификации. При инверсиях турбулентность ослаблена, так как состояние атмосферы устойчивое; при неустойчивом же состоянии атмосферы она усиливается.

В тепловом балансе рассматриваются соотношения прихода-расхода тепла на деятельную поверхность, которые могут быть представлены уравнением теплового баланса вида

$$B = P + Q_T + LE, \quad (1)$$

где  $B$  - радиационный баланс деятельной поверхности,  $P$  - поток тепла в почве,  $Q_T$  - турбулентный поток тепла в приземном слое атмосферы,  $LE$  - затраты тепла на испарение.

Все эти составляющие уравнения теплового баланса деятельной поверхности могут иметь разное направление своих потоков. Радиационный баланс положительный, когда приход радиации к поверхности больше расхода. Избыток полученной энергии расходуется на прогрев почвы и воздуха и на испарение с деятельной поверхности. При отрицательном балансе поверхность излучает больше энергии, чем поглощает. В этом случае потери энергии поверхностью возмещаются теплом, поступающим из почвы и атмосферы и выделяющимся при конденсации водяного пара на поверхности. Поток тепла в почве считается положительным, когда тепло распространяется от поверхности вглубь почвы, т.е. когда верхний слой почвы теплее нижних. Турбулентный поток тепла положителен, когда направлен

от деятельной поверхности вверх (в воздух), то есть, когда температура на нижнем уровне выше, чем на верхнем. Расход тепла на испарение положительный, когда происходит испарение и перенос водяного пара кверху, то есть, когда парциальное давление пара на нижнем уровне больше, чем на верхнем.

Из четырех составляющих теплового баланса в настоящее время измеряются только значения радиационного баланса при производстве актинометрических наблюдений. Остальные составляющие теплового баланса определяются расчетным путем по данным градиентных наблюдений над температурой, влажностью воздуха и скоростью ветра, а также температурой и влажностью почвы на разных глубинах.

## **II. Приборы и их установка**

Для производства измерений температуры и влажности воздуха используются аспирационные психрометры. Измерение скорости ветра ведется ручным анемометром со счетным механизмом. Наблюдение над температурой почвы выполняется с помощью напочвенных и коленчатых термометров (или термометров-щупов). Направление ветра определяется по ветромеру.

**Аспирационный психрометр МВ-4М** очень удобен для измерения влажности воздуха в походных условиях. По принципу действия он аналогичен стационарному.

Аспирационный психрометр (рис.1) состоит из двух одинаковых психрометрических термометров ТМ-6 10 и 11 с резервуарами цилиндрической формы. Резервуар термометра 11 (смоченного) обвязан батистом, обрезанным непосредственно под резервуаром. Термометры закреплены в оправе, состоящей из трубки 9, переходящей в тройник 13, и защитных планок 12. К тройнику с помощью изоляционных пластмассовых втулок 14

присоединены двойные трубки 15 и 16, в которых находятся резервуары термометров. Чтобы уменьшить теплопередачу от наружных трубок, внутренние трубки в верхней части опираются на наружные через изоляционные кольца. Двойные трубки обеспечивают защиту резервуаров от нагревания солнечными лучами.

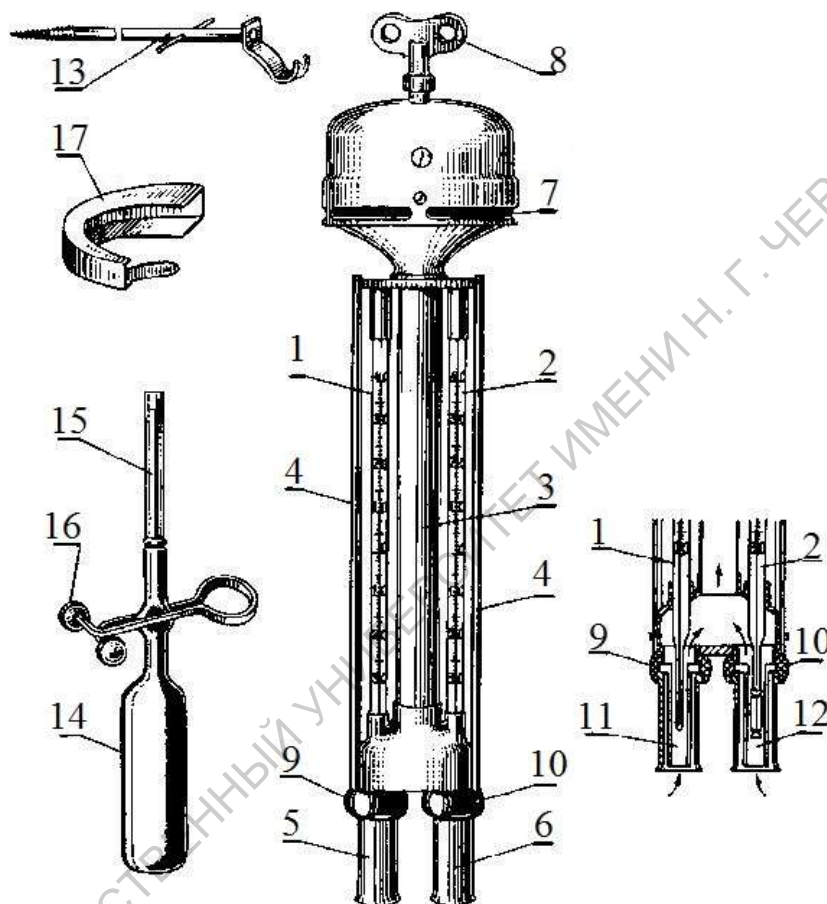


Рис. 1. Аспирационный психрометр МВ-4М.

1 - резиновая груша, 2 - зажим, 3 - пипетка, 4 - ветровая защита, 5 - крюк-подвес, 6 - ключ, 7 - окошечко, 8 - головка аспиратора, 9 - трубка, 10, 11 - сухой и смоченный термометры, 12 - защитные планки, 13 - тройник, 14 - изоляционные втулки, 15, 16 - трубки

Верхний конец трубки 9 соединен с головкой аспиратора 8, обеспечивающего всасывание наружного воздуха и обтекание его вокруг резервуаров термометров со скоростью 2 м/с. Пружина аспиратора заводится

ключом 6. Для лучшего отражения солнечных лучей металлические части прибора никелированы. Благодаря изоляции резервуаров термометров от корпуса, хорошей никелировке его металлических поверхностей и постоянной скорости движения воздуха аспирационный психрометр не требует дополнительной защиты от действия солнечных лучей и ветра. Лишь при больших скоростях ветра за счет затруднения выброса воздуха нарушается скорость аспирации. Для устранения этого влияния применяют ветровую защиту 4, которую надевают с наветренной стороны на головку аспиратора.

Смачивание батиста производится из резиновой груши 1 со стеклянной пипеткой 3 и зажимом 2; груша наполняется дистиллированной водой. Для установки психрометра прилагается крюк-подвес 5.

При работе с аспирационным психрометром необходимо следить за сохранностью его никелировки, исправностью аспиратора и трубок, предохраняющих резервуары. После наблюдений прибор следует протирать замшей или чистой тряпкой и хранить в футляре. Периодически необходимо проверять скорость аспирации. Осуществляют это путем определения скорости вращения барабана с заводной пружиной. С этой целью заводят пружину и, наблюдая в окошечко 7 головки аспиратора, ожидают появления метки, сделанной на барабане для проверки психрометра. В момент появления метки аспиратор задерживают кусочком картона. Затем пружину заводят еще раз, и аспиратор пускают одновременно с секундомером. Когда в окошечке вторично появится метка, секундомер останавливают и отмечают время полного оборота. Если полученное время оборота барабана отличается от времени, указанного в поверочном свидетельстве, не более чем на  $\pm 5$  с, прибор исправен. В среднем барабан делает полный оборот за 80 - 95 с.

Для правильной работы психрометра необходимо следить за чистотой батиста и менять его по мере загрязнения.

**Анемометр ручной чашечный МС-13** (рис. 2) служит для измерения скорости ветра за небольшие промежутки времени (обычно 10 мин) в пределах от 1 до 20 м/с. Его широко применяют при экспедиционных наблюдениях.

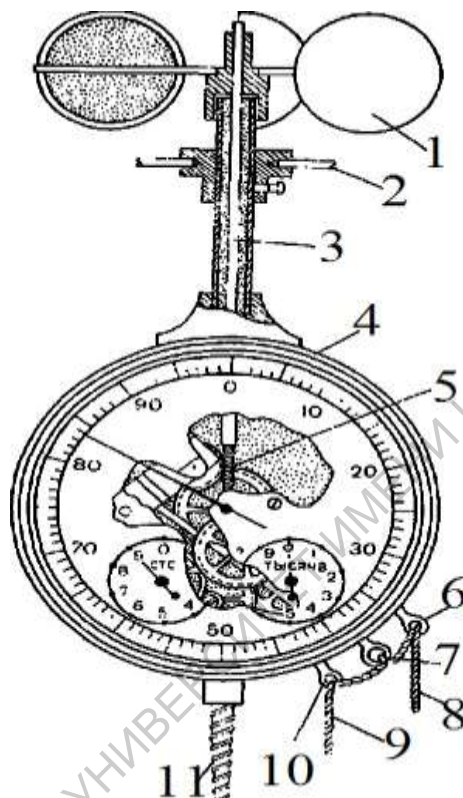


Рис. 2. Анемометр ручной чашечный МС-13.

1 - вертушка, 2 - защитная дужка, 3 - ось, 4 - корпус, 5 - червяк, 6,10 - утки, 7 - кольцо арретира, 8,9 - шнуры, 11 - винт.

Чувствительным элементом анемометра является вертушка (1) с четырьмя полушариями, обращенными выпуклостями в одну сторону. Вертушка насажена на ось (3). В нижней части ось имеет червячную (винтовую) нарезку (5), соприкасающуюся с зубчатым колесом, которое передает вращение вертушки счетному механизму. Счетный механизм помещен в корпусе (4) и представляет собой систему зубчатых колес, связанных с тремя стрелками, которые при вращении вертушки перемещаются по трем шкалам.

Центральная шкала имеет 100 делений. По этой шкале отсчитывают



десятки и единицы оборотов. Малые шкалы имеют по 10 делений и служат для отсчета сотен и тысяч оборотов. При полном обороте стрелки по большой шкале стрелка на шкале «сотни» поворачивается на одно деление и т. д.

Счетный механизм включается и выключается арретиром, выступающий конец которого расположен сбоку корпуса и имеет вид подвижного кольца 7. Движением арретира вверх (против часовой стрелки) счетчик анемометра включают, а движением вниз (по часовой стрелке) – выключают.

В корпусе прибора по обе стороны арретира ввинчены два ушка (6) и (10), через которые протягиваются концы шнура (8), (9), прикрепленного к кольцу (7) для включения и выключения прибора, когда его нельзя достать рукой. От механических повреждений вертушка защищена металлическими дужками (2) (на рисунке показано место крепления их). В нижней части корпуса имеется винт (11) для установки анемометра на столбе.

**Установка.** Ручной анемометр устанавливают на столбе нужной высоты, ввинчивая винт (11) в верхушку столба, или держат на вытянутой руке плоской поверхностью корпуса параллельно направлению ветра, шкальной стороной к наблюдателю

**Измерения.** Перед измерением при выключенном счетчике записывают начальные показания, т. е. положение всех трех стрелок (тысячи, сотни, десятки, единицы), устанавливают анемометр на заданной высоте и через 20 – 30 с, когда скорость вращения вертушки установится, счетчик анемометра включают.

Через определенное время (на практике чаще всего через 10 мин после включения) счетчик выключают и записывают новые показания прибора (тысячи, сотни, десятки, единицы) и время работы прибора в секундах. Секундомер включают и выключают одновременно с арретиром анемометра.

По разности показаний счетчика, деленной на время работы прибора, определяют среднее число делений счетчика в 1 с. Для выражения средней скорости ветра в м/с пользуются поверочным свидетельством данного прибора, в котором имеется градуировочный график или таблица.

Между наблюдениями анемометр хранится в футляре с выключенным механизмом.

Приборы размещаются по площадке размером 10x10 м, расположенной на исследуемом участке местности. Психрометры и анемометры устанавливаются на специальной металлической мачте с передвижными вращающимися выстрелами для анемометров и креплениями для психрометров. Приборы устанавливаются так, чтобы их приемные части находились на высотах 0,5 и 1,5 м (или 2 м) от деятельной поверхности. Чаще всего за верхний уровень принимается высота 1,5 м из-за трудности отсчетов на уровне 2 м в полевых условиях. Высоты же 0,5 и 2 м считаются «стандартными» уровнями для установки приборов. При установке приборов на высоте 2 м над деятельной поверхностью для удобства отсчетов необходимо иметь постоянную лесенку соответствующей высоты (около 70 см), устанавливаемую не вплотную с мачтой. В случае, если подстилающей поверхностью является растительность (трава, посевы и др.), уровень ее деятельной поверхности принимается равным  $\frac{2}{3}$  средней высоты растительности от поверхности земли.

Психрометры на всех мачтах (при наблюдениях на нескольких площадках) устанавливаются либо вертикально, либо горизонтально (при этом нижним должен быть смоченный термометр) раструбами навстречу ветру (или на север - для уменьшения вытаптывания естественного покрова вокруг мачты и чтобы на резервуары термометров не падал солнечный свет). При значительном вытаптывании растительного покрова вблизи нижнего психрометра мачта переносится на новое место в пределах площадки. А

чтобы не вытаптывался естественный покров возле психрометра, следует установить постоянный реечный мостик от дорожки до мачты.

При скорости ветра более 3 м/с на aspirатор психрометра с наветренной стороны обязательно надевается ветровая защита для того, чтобы исключить влияние ветра на скорость аспирации. Анемометры на выстрелах устанавливаются так, чтобы шкала была обращена к наблюдателю, а плоскость циферблата располагалась параллельно направлению ветра.

Напочвенные термометры устанавливаются на естественной (не вскопанной) поверхности на расстоянии 1-2 м к югу от градиентной мачты. Измерение температуры на поверхности почвы производится двумя срочными термометрами, максимальным и минимальным (убираемым днем при температурах более 20° в прохладное место), расположенными на расстоянии 10 см друг от друга резервуарами на восток; первые с севера срочные термометры, затем минимальный и за ним максимальный. Их резервуары и корпус наполовину погружаются в дерновину травостоя или в почву, если нет растительности. В случае плотной почвы поверхностный слой ее в месте погружения разрыхляется на глубину не более 1 - 2 см.

Установка коленчатых термометров производится осторожно, чтобы сохранить естественное чередование слоев, структуры почвы и её естественное поверхностное состояние. При использовании термометров-щупов отверстие в почве для них на нужную глубину делается с помощью деревянного или металлического стержня. Эти термометры располагаются к западу от напочвенных на расстоянии 20 см в ряд с востока на запад в порядке увеличения глубин от 5 до 20 см при расстоянии между ними около 10 см.

Для отсчета показаний почвенных термометров на расстоянии не менее 30 см от них при измерениях укладывается временный реечный пастил.

Поблизости с почвенными термометрами устанавливается полевой дождемер так, чтобы его верхний край находился на уровне средней высоты растительности, если она превышает размер дождемера, и на помпе, когда она ниже его или отсутствует.

Давление воздуха (в гПа) отсчитывается по anerоиду, находящемуся в помещении (или палатке).

Для определения влажности почвы необходимы почвенный бур, весовые стаканчики, сушильный шкаф и технические весы.

В комплект приборов должны также входить часы с секундной стрелкой (или секундомер) и будильник.

Приборы на площадке должны располагаться так, чтобы они не затенялись при солнце и не находились в ветровой тени со стороны преобладающего направления ветра.

Уход за всеми используемыми приборами осуществляется в соответствии с "Наставлениями" [3,6]. Следует обратить особое внимание на соблюдение чистоты и правильности повязки батиста и на отсутствие капелек воды на резервуаре сухого термометра психрометра. В перерывах между наблюдениями анемометры должны закрываться цилиндрическими колпаками или полиэтиленовыми пакетиками. Перед дождем приборы рекомендуется убирать в футляры. Лесенка и подходные мостики должны быть окрашены в белый цвет и содержаться в чистоте.

### **III. Поверка психрометров и анемометров**

Перед выездом на практику обязательно производится поверка приборов, а на месте наблюдений - их тщательный осмотр.

Поверка психрометров осуществляется следующим образом. Показания всех термометров при снятом батисте сравниваются с показаниями сухого термометра контрольного психрометра, для чего психрометры с за-

веденными аспираторами кладутся на стол (раструбами от наблюдателя) в помещении, и производятся пятикратные отсчеты по всем термометрам в течение 10 минут. Контрольный психрометр должен быть с нулевыми поправками (или поправками в пределах  $\pm 0,1^\circ$ ), со скоростью аспирации, лежащей в пределах допуска, и не использоваться для систематических наблюдений. Поверяемые психрометры считаются годными, если различия в отчетах всех термометров с отсчетами сухого термометра контрольного психрометра не превышают  $0,1^\circ$ . Если же различия больше  $0,1^\circ$ , но одинаковы по знаку для всех термометров и не превышают  $0,2$ , то психрометры также пригодны для использования при наблюдениях.

При проверке скорости аспирации прибор считается годным, если при полном заводе аспиратора время одного оборота барабана отличается от указанного в сертификате не более, чем на 10 сек при трехкратных его измерениях по лежащему на столе психрометру. Проверка аспиратора производится через каждые 15 дней.

Проверка анемометров производится на установке УПАР вблизи скоростей 1, 2, 4, 10 м/с при возрастании и убывании скорости воздушного потока. Для каждой скорости определяются показания анемометра за 1 секунду и скорость воздушного потока по показаниям счетчика вентилятора. По полученным данным строится график, по которому составляют поверочное свидетельство. Анемометры, у которых отклонения точек от градуировочной кривой по горизонтали при скорости от 1 до 5 м/с превышают  $\pm 0,05$  м/с, а при скорости свыше 5 м/с превышают  $\pm 0,1$  м/с, бракуются. Порог чувствительности ручного анемометра должен быть не более 0,8 м/с. При необходимости поверку приборов можно провести в естественных условиях. При этом анемометры считаются годными, если средняя за 10 мин скорость из двух повторностей отличается от контрольного не более чем на 0,2 м/с. Проверка производится один раз в месяц.

#### IV. Производство и запись наблюдений

Количество сроков градиентных наблюдений зависит от задач практики. Обычно наблюдения проводятся через 1-3 часа, при этом обязательно в основные метеорологические сроки по московскому декретному времени. При необходимости время начала и окончания наблюдений может смещаться в пределах 10 - 15 минут. Порядок производства наблюдений при трехкратной повторности отсчетов по психрометрам должен быть следующим (табл.1).

При хранении психрометров в помещении они устанавливаются на мачте за 25 - 30 мин до первого отсчета. При выходе из строя одного из психрометров и отсутствии опасного наблюдения выполняются с помощью одного прибора: последовательно психрометр перемещается снизу вверх и сверху вниз, делается по два отсчета на высоте 0,5, затем на 1,5 и снова на 0,5 м; берется первый отсчет на каждом уровне через 4 мин после смачивания и завода, а второй – через 1 мин после первого отсчета. Вторичное смачивание производится перед перестановкой прибора на верхний или нижний уровень.

Таблица 1

Порядок производства градиентных наблюдений

- 10 мин. (до сро- ка)	Осмотреть и установить приборы, определить видимость и атмосферные явления, произвести первый отсчет по анемометрам
00	Включить анемометры, смочить и завести психрометры.

03	Определить состояние деятельной поверхности, сделать отсчеты по почвенным термометрам и дождемеру.
05	Произвести первый отсчет по психрометрам и их подзавод.
07	Произвести отсчеты по незатененному балансомеру и ветромеру (при отсутствии актинометрических наблюдений).
08	Произвести второй отсчет по психрометрам, вторичное смачивание и подзавод, определить облачность.
10	Выключить анемометры.
12	Произвести третий отсчет по психрометрам и второй - по анемометрам. Определить направление ветра по ветромеру, сделать отсчет по анероиду.

Измерение количества осадков по дождемеру производится и сроки, ближайšie к 8 и 20 часам местного декретного времени.

Смачивание батиста производится при вертикальном положении прибора в течение 3-5 сек путем осторожного введения пипетки (наполненной на 5 - 6 мм ниже ее конца) в раструб; на грушу не нажимать, чтобы исключить попадание воды на стенки раструба. Смачивание, завод аспираторов и отсчеты выполняются, вначале по нижнему, а затем по верхнему психрометру. Первые отсчеты по термометрам делаются через 4 мин после смачивания и завода. Подзавод аспираторов производится не позже, чем

через 5 мин после предшествующего завода. Отсчеты по термометрам после подзавода аспираторов снимаются спустя 2-3 мин. Перед каждым отсчетом по сухому термометру на уровне 0,5 м отмечается состояние диска солнца. Вторичное смачивание необходимо производить при температуре более 15°, относительной влажности менее 50% или при скорости ветра более 5 м/с через 8 мин после первого смачивания. Перед смачиванием термометра аспиратор останавливается с помощью травинки или бумажной полоски, введенной в отверстие аспиратора психрометра.

Ручные анемометры включаются на 10 мин. Порядок включения и выключения должен сохраняться (желательно от нижнего к верхнему).

Наблюдения по почвенным термометрам, над облачностью, направлением ветра, атмосферными явлениями в срок наблюдения, давлением воздуха, погодой между сроками и в срок наблюдения производятся по существующим правилам согласно [3].

Состояние деятельной поверхности на площадке и в радиусе 200 м определяется визуально и записывается тремя характеристиками увлажнения - сухая, влажная (смочена, но луж нет) и мокрая (застоявшаяся вода образует лужи), - с указанием свойств и характера покрова поверхности (рыхлая или плотная почва, песок и т.д.).

Высота растительности на площадке и вокруг нее (в радиусе 100 м) измеряется с точностью до 1 см через каждые 10 дней и при резком ее изменении (полегание, скашивание и т.д.), а в день скашивания - перед скашиванием и после него. Высота растительности на площадке определяется как среднее из 10 измерений, производимых обычной линейкой (или рейкой), каждый раз в одних и тех же местах вблизи мачты с тропинки, чтобы не нарушать естественный покров. Линейка ставится на расстоянии вытянутой руки, после чего, наклонившись, смотрят, какое ее деление совпадает с уровнем растительного покрова. При изменении высоты растительно-



сти на площадке на 10 см каждый раз производится соответствующая перестановка приборов.

Запись наблюдений производится в книжке КМ-16 (см. приложение I) с обязательным заполнением необходимыми сведениями первых трех ее страниц. В примечаниях указываются, даты смены батиста, замены и перестановки приборов, причины отсутствия наблюдений, особые явления, моменты изменения характера подстилающей поверхности (выкашивание травы, рыхление почвы и др.).

При выпадении осадков, при скорости ветра более 15 м/с (по ветромеру), при туманах, метелях и пыльных бурях градиентные наблюдения не проводятся, а проводятся и записываются в книжку КМ-16 обычные (основные) метеорологические наблюдения.

## **V. Обработка наблюдений**

Из трех отсчетов по сухому и смоченному термометрам на каждом уровне находят средние значения, вводят шкаловые поправки к этим средним. По исправленным средним с помощью "Психрометрических таблиц" определяют парциальное давление водяного пара, относительную влажность воздуха и дефицит влажности, вычисляют градиенты температуры и парциального давления путем вычитания из значения этих элементов на нижнем уровне их значения на верхнем уровне:

$$\Delta t = t_{0.5} - t_{1.5}; \quad \Delta e = e_{0.5} - e_{1.5}.$$

Знак разности определяется характером температурной стратификации.

По разности отсчетов ручного анемометра за 10 мин определяют среднее число делений в секунду, и по графику сертификата или по зара-

нее составленной таблице находят скорость ветра на двух высотах. Градиент скорости ветра находят по формуле:

$$\Delta u = u_{0,5} - u_{1,5}.$$

Знак  $\Delta u$  обычно положителен вследствие уменьшения скорости ветра к поверхности земли из-за действия сил трения. При штиле или скорости ветра на высоте 0,5 м меньше 1 м/сек, значение градиента, как правило, не вычисляется.

Найденные градиенты температуры, влажности и ветра приводят к "стандартным" уровням (т.е. к слою 0,5 - 2 м;  $\Delta t_c$ ,  $\Delta e_c$ ,  $\Delta u_c$ ) умножением их на коэффициент, равный 1,26, или с помощью приложения 2. Методика приведения основана на учете логарифмического распределения метеозлементов с высотой в приземном слое.

Температура поверхности почвы получается как среднее из отсчетов по двум напочвенным срочным термометрам с округлением его до целых градусов. Отсчеты по минимальному и максимальному термометрам также округляются до целых. Шкаловые поправки в отсчеты по всем этим термометрам не вводятся. Значения же температуры почвы на глубинах 5, 10, 15 и 20 см исправляются шкаловыми поправками.

К отсчету по anerоиду вводятся шкаловая, температурная и добавочная поправки и записывается исправленная величина давления воздуха в гПа.

После обработки наблюдений в книжке КМ-16 производится выборка значений градиентов  $\Delta t$  и  $\Delta e$  за 0 и 12 часов при ясной и пасмурной погоде. Днем оценка погоды производится по отметке о состоянии диска солнца: при  $\odot^2$  - ясно, при П - пасмурно. Ночью, при количестве нижней облачности меньше 3 баллов - ясно, при 8 - 10 баллах - пасмурно. Подсчитываются средние и выбираются максимальные и минимальные градиен-

ты. Под максимумом понимается наибольший из положительных градиентов, или, при отсутствии их, наименьший по абсолютной величине отрицательный градиент. За минимум, при наличии отрицательных градиентов, принимают наибольший по абсолютной величине отрицательный градиент, а при их отсутствии - наименьший положительный градиент.

## **VI. Расчет характеристик турбулентности и составляющих теплового баланса**

1. По значениям вертикальных градиентов метеоэлементов рассчитываются величины коэффициента турбулентности ( $K$ ), вертикального турбулентного потока тепла ( $Q_t$ ) и затрат тепла на испарение ( $V$ ) в приземном слое атмосферы. Для их определения используются методы теплового баланса и турбулентной диффузии. При атмосферном давлении, отличающемся от стандартного (1000 гПа) не более чем на  $\pm 100$  гПа, применяются рабочие формулы, приводимые ниже.

Величина коэффициента турбулентности выражается в  $\text{м}^2/\text{с}$  с точностью до сотых и определяется для высоты 1 м ( $K_1$ ) с целью получения сравнимых результатов.

Формула для определения  $K_1$  по методу теплового баланса имеет вид:

$$K_1 = \alpha(V - P), \quad (2)$$

где  $\alpha = \frac{1.06}{\Delta t_c + 1.56 \Delta e_c}$ ,  $V$  - радиационный баланс по наблюдениям,  $P$  — рассчитанный поток тепла в почве.

Расчет  $K_1$  по тепловому балансу производится, когда  $(V - P) > 0,15$   $\text{кВт}/\text{м}^2$ ;  $\Delta t_c > 0,3^\circ$ ;  $\Delta e_c > 0,3$  гПа. В других случаях, а также если не имеется

данных по В или Р, применяется метод турбулентной диффузии, когда К<sub>1</sub> вычисляется по формуле:

$$K_1 = 0.104 \Delta u_c m, \quad (3)$$

где т - множитель, зависящий от Δu<sub>c</sub> и Δt<sub>c</sub> через величину Ri, где Ri = - 0,048Δt<sub>c</sub>/(Δu<sub>c</sub>)<sup>2</sup>;

$$\text{при } Ri < 0: m = 1 + 2,6|Ri| + \sqrt{(1 + 2,6Ri^2) - 1},$$

$$\text{при } Ri < 0: m = 1 + 10,3|Ri| + \sqrt{(1 + 10,3Ri^2) - 1}.$$

Приведенная формула для расчета К<sub>1</sub> используется только при Δu<sub>c</sub> > 0,3 м/с и когда сочетание Δt<sub>c</sub> и Δu<sub>c</sub> не дает К<sub>1</sub> < 0, не имеющего физического смысла. Если Δt<sub>c</sub> < -2,0° или Δu<sub>c</sub> < 0,3 м/с, то К<sub>1</sub> считается равным 0,0 м<sup>2</sup>/с. Для упрощения расчета К<sub>1</sub> служит таблица приложения 3.

Полученный таким способом коэффициент турбулентности используется при расчетах турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение.

Расчет турбулентного потока тепла в кВт/м<sup>2</sup> с точностью до сотых производится по методу теплового баланса с использованием формулы

$$Q_T = A \cdot (B - P).$$

$$\text{где } A = \frac{1,43 \Delta t_c}{\Delta t_c + 1,56 \Delta e_c}, \quad (B - P) \geq 0,1 \text{ кВт/м}^2, \quad \Delta t_c < 0,1^\circ, \quad \Delta e_c > 0,1 \text{ гПа},$$

либо методом турбулентной диффузии по формуле:

$$Q_T = 0,94 \cdot K_1 \cdot \Delta t_c \text{ (кВт/м}^2\text{)}, \quad (5)$$

при  $Ri < 0,1$ , используя для этого приложение 4.

Определение количества тепла, идущего на испарение или получаемого от конденсаций, также можно произвести двумя способами - по формуле:

$$V = A_1 \cdot (B - P).$$

где  $A = \frac{\Delta e_c}{\Delta e_c + 0,64 \Delta t_c}$  (см. [7]),  $(B - P) > 0,07$  (кВт/м<sup>2</sup>),  $\Delta t_c \geq 0,1^\circ$ ,  $\Delta e_c > 0,1$

гПа

или по формуле:

$$V = 1,47 \cdot K_1 \cdot \Delta e_c \text{ (кВт/м}^2\text{)}, \quad (7)$$

при  $Ri < 0,1$ , используя для этого приложение 5.

Величина  $E = 1,43V$  (кВт/м<sup>2</sup>) соответствует количеству испарившейся воды в мм/час с почвы и растительности (транспирация).

2. Поток тепла в почве определяется по изменению теплосодержания всего слоя почвы, в котором за данный интервал времени обнаруживается изменение температуры. Измерение же температуры в полевых условиях производится лишь до глубины 20 см, поэтому на практике применяется метод определения потока тепла в почве, основанный на учете определенных физических закономерностей изменения ее температурного режима.

Средний поток тепла в почве за промежуток времени между двумя соседними сроками наблюдений рассчитывается (в кВт/м с точностью до сотых) по результатам наблюдений за температурой и влажностью почвы по формуле:

$$P = \frac{c}{\tau} S, \quad (8)$$

где  $c$  - объемная теплоемкость почвы ( $\text{МДж}/\text{м}^3 \cdot \text{К}$ ),  $\tau$  - продолжительность интервала в секундах между соседними сроками,  $S$  - величина, характеризующая изменение температуры в слое почвы 0-20 см за интервал  $\tau$ .

Объемная теплоемкость вычисляется с точностью до сотых в дни взятия проб для определения влажности почвы по формуле:

$$c = \rho(c_n + c_v w) \text{ МДж}/\text{м}^3 \cdot \text{К}, \quad (9)$$

где  $c_n$  - удельная теплоемкость сухой почвы в  $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{К}$  (находится по приложению 6),  $c_v$  - удельная теплоемкость почвенной влаги, равная  $4,19 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ ,  $\rho$  - объемный вес (плотность) сухой почвы в  $\text{кг}/\text{м}^3$  средний для слоя 0-20 см, вычисляемый по отношению веса сухого образца к его объему,  $w$  - влажность почвы в долях единицы, как отношение (с точностью до тысячных) разности весов влажной и сухой почвы к весу сухой почвы в одном и том же объеме [5].

Влажность почвы определяется обычно через 10 дней и через 1-2 дня после значительных дождей (5 мм/час для обложных и 15 мм/час для ливневых). Если дополнительное определение влажности было сделано не более чем за два дня до очередного срочного, то это наблюдение не производится. Пробы почвы берутся с глубин - 0 - 2, 10, и 20 см в четырех точках участка. Вес проб должен быть не менее 20 - 40 г. Каждая последующая (через 10 дней) проба берется на расстоянии около 1 м от предшествующей. Взвешивание проб и стаканчиков должно производиться с точностью до 0,05 г. Первое определение влажности почвы должно быть проведено в первый день наблюдений над температурой почвы на глубинах. Среднее декадное значение влажности почвы получается как среднее из двух очередных ее измерений. Среднюю объемную теплоемкость ( $c$ ) некоторых

почв в МДж/кг·К можно приблизительно определить по таблице приложения 7.

Величина  $S$  для (8) вычисляется по формуле:

$$S=S_0 + S_5 + S_{10} + S_{15} + S_{20} \quad (10)$$

где  $S_0=0,164\Delta t_0$ ,  $S_5=0,0666\Delta t_5$ ,  $S_{10}=0,035\Delta t_{10}$ ,  $S_{15}=0,0312\Delta t_{15}$ ,  $S_{20}=0,008\Delta t_{20}$ .

Величины  $\Delta t_0$ ,  $\Delta t_5$ ,  $\Delta t_{10}$ ,  $\Delta t_{15}$ ,  $\Delta t_{20}$  есть разности температур на соответствующих глубинах в конце и в начале интервала  $\tau$ . В приложении [7] приведены произведения  $\Delta t$  на численные коэффициенты, входящие в формулы для расчетов  $S_0$ ,  $S_5$ ,  $S_{10}$ ,  $S_{15}$ ,  $S_{20}$ , а также значения  $P$  за интервал в течение 3 ч.

Найденные в итоге таким способом значения  $P$  являются средними для интервалов  $\tau$ . Для определения же потока тепла в почве непосредственно в сроки необходимо вычислить средние между потоками за два соседних интервала. Для расчета  $P$  могут быть использованы и другие методы, излагаемые в [7].

## **VII. Контроль материалов наблюдений**

Данные градиентных наблюдений должны проходить технический и критический контроль. Для этого материалы наблюдений необходимо своевременно просматривать, добиваясь, чтобы обнаруженные недочеты не повторялись в дальнейшем. С этой целью все характеристики, полученные в результате обработки данных наблюдателем одной смены, контролируются наблюдателем следующей смены. Подробно о контроле изложено в [4, 7]. Здесь же рассмотрены лишь некоторые вопросы.

1. Критический контроль градиентов температуры и влажности воздуха основан на учете физических закономерностей распределения темпе-

ратуры и влажности с высотой, свойственной этим характеристикам. Характер их распределения с высотой в приземном слое воздуха зависит от условий погоды, времени года и суток, степени увлажнения подстилающей поверхности.

При анализе градиентов обращается внимание в первую очередь на их абсолютную величину, знак и суточный ход с учетом состояния погоды и значений радиационного баланса.

Летом в ясную малооблачную погоду температура и влажность воздуха на нижнем уровне обычно бывают выше, чем на верхнем, т.е.  $\Delta t$  и  $\Delta e$  должны быть положительными. Ночью же, наоборот, внизу бывает холоднее, чем наверху, поэтому  $\Delta t$  и  $\Delta e$  отрицательны, при этом отрицательное значение  $\Delta e$  соответствует конденсации водяного пара. Рост температуры с высотой (инверсия) может отмечаться и в дневные часы в случаях, когда подстилающая поверхность влажная (после дождя, полива и т.п.).

В пасмурную погоду температура и влажность воздуха с высотой изменяются менее резко, чем в ясную.

Сильный ветер также приводит к выравниванию температуры и влажности на высотах вследствие интенсивного перемешивания воздуха.

Градиенты температуры и влажности воздуха в ясную летнюю погоду при слабом ветре (до 4 м/сек) и при сравнительно сухой подстилающей поверхности днем могут достигать 1 - 2° и 1 - 2 гПа. При пасмурной и ветреной погоде они невелики и в летнее время днем составляют 0,1 - 0,6° и 0,1 - 0,6 гПа. Над влажной поверхностью градиенты температуры обычно не превышают 1,0° и могут быть даже отрицательными, а градиенты влажности велики и положительны (до 1-3 гПа). Над неоднородной поверхностью (например, черный пар среди растительного покрова) градиенты влажности могут быть отрицательными.

Вспомогательным, показателем при контроле градиентов температуры и влажности воздуха служит радиационный баланс с учетом скорости



ветра ( $\Delta i_{15}$ ) и состояния поверхности. При устойчивой ясной или пасмурной погоде их связь выражена особенно хорошо: при одинаковых величинах радиационного баланса величина градиента тем больше, чем меньше скорость ветра, а при одинаковой скорости ветра величина градиента тем больше, чем больше радиационный баланс; при положительном балансе градиенты положительны, при отрицательном - отрицательны.

Можно также отметить закономерное соотношение между  $\Delta t$  и  $\Delta e$ , когда при прочих разных условиях при увеличении  $\Delta t$  значение  $\Delta e$  уменьшается и наоборот.

Точность измерения градиентов температуры воздуха и упругости водяного пара составляет не более  $0,2^\circ$  и  $0,2$  гПа, поэтому даже при одинаковых погодных условиях вполне возможно расхождение их величин на  $0,2$  и несколько больше. Сомнительные градиенты могут возникать при ошибках в измерениях температуры по сухому и смоченному термометрам (при слабом смачивании, неправильной повязке батиста, неисправности аспиратора и т.п.). При невозможности исправления такие градиенты подчеркиваются.

2. Анализ градиентных наблюдений над ветром основан на учете физических закономерностей изменения скорости ветра с высотой в приземном слое воздуха. Над более гладкими поверхностями градиент скорости при прочих равных условиях меньше, чем над растительным покровом. Большое влияние на вертикальный профиль ветра оказывает и температурная стратификация. Температурная стратификация со сверхадиабатическими градиентами усиливает турбулентность, что способствует уменьшению градиента скорости ветра. При устойчивой же стратификации турбулентность сильно ослабляется, что приводит к увеличению градиента скорости ветра. Кроме того, с ростом скорости ветра ее градиент также увеличивается (для данной поверхности), т.е. они имеют одинаковый суточный ход при одинаковой температурной стратификации. Таким образом, су-

точный ход температурной стратификации оказывает противоположное влияние на градиент скорости ветра по сравнению с самой скоростью.

Указанные закономерности сильно изменяются при нарушении воздушного потока отдельными предметами или на защищенных участках.

Точность измерения градиентов скорости ветра не превышает 0,2 м/с, поэтому при прочих равных условиях такие расхождения градиентов вполне возможны. Одной из причин неправильных градиентов скорости являются просчеты на 100 или 1000 при наблюдениях по ручному анемометру. Поэтому желательно иметь для сравнения скорость ветра по ветромеру или флюгеру, имея в виду, что скорость по флюгеру в среднем в 1,3 - 1,5 раза больше скорости на уровне 1,5 - 2 м.

3. Просматривая данные по турбулентному теплообмену между подстилающей поверхностью и атмосферой, следует помнить, что он имеет суточный ход. В дневные часы турбулентный поток тепла положителен и может быть довольно значительным (0,30-0,35 кВт/м<sup>2</sup>), так как днем температура воздуха ниже температуры подстилающей поверхности и больше скорость ветра. Ночью он имеет отрицательное значение, но величина его не велика.

При критическом контроле величин затрат тепла на испарение, а значит и величин самого испарения, необходимо иметь в виду, что они могут быть весьма различными. Однако следует учитывать, что процесс испарения начинается, как правило, с восходом солнца (летом в 3 - 4 часа утра), достигая максимума около 12- 13 часов, и прекращается к вечеру (19-20 часов).

Основными факторами, влияющими на величину испарения, являются температура и влажность воздуха, влажность почвы, скорость ветра и характер растительности. Она тем больше, чем больше положительные разности  $\Delta t$  и  $\Delta e$ . В ясную теплую погоду испарение значительно интен-

сивнее, чем в пасмурную прохладную погоду. Особенно велико испарение на орошаемых участках.

Большие погрешности в расчетах величины испарения могут быть при малых скоростях ветра от 0,5 до 1 м/с, так как в этих пределах ветер определяется неточно. Большую помощь при просмотре величин испарения могут оказать данные о радиационном балансе. В случаях, когда величина затрат тепла на испарение больше баланса при одинаковых отметках состояния диска солнца, ее следует забраковать. Бракуются также величины испарения, большие 1,1 мм/час.

4. Методы критического анализа данных по температуре почвы основаны на учете общих закономерностей распределения температуры почвы на поверхности, по глубине и на изменении этих закономерностей под влиянием погодных условий. При анализе ежедневных измерений необходимо использовать материалы метеорологических наблюдений (отметка состояния диска солнца, облачность, атмосферные явления, значения радиационного баланса и температуры воздуха). Прослеживается суточный ход температуры на каждой глубине и ее изменения от глубины к глубине. О недостатках наблюдений чаще всего свидетельствует нарушение согласованности хода температуры воздуха, температуры поверхности почвы и температуры почвы на малых глубинах.

5. При проведении контроля результатов вычисления потока тепла в почве учитываются закономерности суточного хода его интенсивности и знака. В дневные часы ход потока тепла в почве следует за ходом солнечной радиации. Момент перехода его знака через нуль почти совпадает со временем перехода радиационного баланса через нуль утром. Знак же потока тепла в почве в послеполуденные часы меняется раньше, чем знак радиационного баланса. Наибольший положительный поток наблюдается около 10-13 часов, отрицательный - около 19 часов.

## СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В конце практики представляется отчет, состоящий из текста и приложений.

Содержание текстовой части отчета должно включать следующие сведения:

- 1) цель практики;
- 2) географическое положение района исследований;
- 3) характеристику рельефа, растительности и типов почв;
- 4) характеристику климата местности;
- 5) описание местоположения наблюдательных площадок, их устройства и ориентации по сторонам света;
- 6) описание проделанных работ;
- 7) характеристику погоды за период экспедиции.

Описание площадки для градиентных и актинометрических наблюдений и окружающей их местности должно содержать подробные характеристики их естественного покрова, форм рельефа, открытости по отношению к странам света на расстоянии до 500 м, удаленности установок от ближайших препятствий с указанием их размеров в радиусе 200 м. Необходимо также дать сведения о почве на площадке (тип, цвет, состав, объемный вес, удельная теплоемкость).

Приложениями к отчету служат:

- 1) наблюдательские книжки и таблицы с результатами всех наблюдений и обработки материалов,
- 2) графики хода изменения различных метеорологических элементов,
- 3) графики закрытости горизонта,
- 4) схематическая или подробная карта района и фотографии наблюдательных площадок.

Схематический план наблюдательного участка выполняется в масштабе 1/5000 с нанесением на него общей ситуации (границ участка, лесных полос, построек и т.п.) и расположения площадки. Если наблюдения проводятся в нескольких пунктах (точках), им присваиваются порядковые номера (1, 2 и т.д.) и для каждого из них составляется подробное описание.

Отчет должен быть сброшюрован, снабжен оглавлением и перечнем приложений.

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

## Литература

1. Бройдо А.Г. и др. Задачник по общей метеорологии. - Л.: Гидрометеоздат, 1984.
2. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеоздат, 2000.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Метеорологические наблюдения на станциях. Вып. 3, часть I. - Л.: Гидрометеоздат, 1985.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Обработка материалов метеорологических наблюдений. Вып.3, часть 2. -СПб.: Гидрометеоздат, 2000.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Вып.П. - Л.: Гидрометеоздат, 1973.
6. Руководство по поверке метеорологических приборов. - Л.: Гидрометеоздат, 1967.
7. Руководство по теплобалансовым наблюдениям. - Л.: Гидрометеоздат, 1977.
8. Семенченко Б.А. Физическая метеорология. - М.: Аспект Пресс, 2002.

# ***ПРИЛОЖЕНИЯ***

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНА Г.В. ПЛЕРИНСКОГО

Пример записи и обработки наблюдений в книжке КМ-16

Число 19.07		Время 10.00				Облачность 1/1 Си			Напр. ветра СВ					
Имер. велиины.		Температура и влажность воздуха на высотах (м)						Температура почвы			Скорость ветра (u)			
Номер отсчета	Состояние диска Солнца	0,2		0,5		1,5		глубины	отсчет	Исправл. спирт/после встрях	Номер отсчета	0,5	1,0	1,5
		сух.	смоч.	сух.	смоч.	сух.	смоч.							
1	O <sup>2</sup>			18,2	13,4	17,5	12,2	Сроч.	24.8					
2	O <sup>2</sup>			18,4	13,7	18,1	13,0	Мин.	19.2	24.7	2	5995		9416
3	O <sup>2</sup>			18,1	13,5	17,8	12,4	Макс.	25.4	24.8	1	5535		8278
4								5	17.5	17.7	разн.	460		1138
5								10	16.0	16.1	дел/с	0,8		1,9
Среднее				18,2	13,5	17,8	12,5	15	15.6	15.5	м/с	1,3		2,3
Поправка				-0,1	0,0	-0,1	-0,1	20	15.6	15.6				
Исправленное				18,1	13,5	17,7	12,4	Δ	0.2-0.5	0.5-1.5	0,5-2,0	K		0,18
Давление пара				12,4		10,8		Δt		0.4	0,5	L		0,08
Относительная влажность/дефицит влажн.				60	8,4	53	9,4	Δe Δu		1.6 1.0	2,0 1,3	V		0,53
Атмосферное давление 1010,5				Атм. явления				Осадки						
Состояние подстил. поверхн. трава зеленая сухая								Погода между сроками (шифр – 0)						
Рад. баланс		Примечания мин. термометр после наблюдения убран												

Подпись наблюдателя \_\_\_\_\_ (Ф.И.О)

Проверил \_\_\_\_\_ (Ф.И.О)



Переход от разностей метеоэлементов, измеренных на высотах 0,5 и 1,5 м, к их значениям для высот 0,5 и 2 м ( $\Delta\Gamma_c = 1,26 \Delta\Gamma$ )

$\Delta\Gamma$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1
1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4
2	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6
3	3,8	3,9	4,0	4,2	4,3	4,4	4,5	4,7	4,8	4,9
4	5,0	5,2	5,3	5,4	5,5	5,7	5,8	5,9	6,0	6,2
5	6,3	6,4	6,6	6,7	$\Delta\Gamma$ 6,8	6,9	7,0	7,2	7,3	7,4
6	7,6	7,7	7,8	7,9	8,1	8,2	8,3	8,4	8,6	8,7
7	8,8	8,9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,8	9,7	9,8	10,0
8	10,1	10,2	10,3	10,4	10,6	10,7	10,8	11,0	11,1	11,2
9	11,3	11,5	11,6	11,7	11,8	12,0	12,1	12,2	12,3	12,5

Значение  $K_I$  при разных  $\Delta t_c$  и  $\Delta u_c$ 

$\Delta u_c$	$\Delta t_c$										
	-2,0	-1.9	-1.8	-1.7	-1.6	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1,1	-1.0
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,7	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,8	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
0,9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
1.0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
1,1	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
1.2	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
1,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
1,4	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
1,5	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
1,6	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
1,7	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
1,8	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11
1,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12
2,0	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13
2,1	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14
2,2	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15
2,3	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16
2,4	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17
2,5	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18
2,6	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18
2,7	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20
2,8	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20
2,9	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22
3,0	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
3,1	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24
3,2	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24
3,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26
3,4	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26
3,5	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27

$\Delta u_c$	$\Delta t_c$										
	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05
0,4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06
0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,07
0,6	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08
0,7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
0,8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10
0,9	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11
1,0	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12
1,1	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13
1,2	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14
1,3	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,14	0,15
1,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,15	0,16
1,5	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,16	0,17
1,6	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,17	0,18
1,7	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,18	0,19
1,8	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,19	0,20
1,9	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,20	0,21
2,0	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,21	0,22
2,1	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,22	0,23
2,2	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,23	0,24
2,3	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	0,24	0,25
2,4	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,25	0,26
2,5	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23	0,26	0,28
2,6	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,27	0,28
2,7	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,26	0,28	0,30
2,8	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,30
2,9	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,28	0,30	0,31
3,0	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,29	0,31	0,32
3,1	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32	0,33
3,2	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,31	0,33	0,34
3,3	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,32	0,34	0,35
3,4	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,32	0,34	0,35	0,36
3,5	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38

$\Delta u_c$	$\Delta t_c$										
	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05
0,4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06
0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,07
0,6	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08
0,7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
0,8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10
0,9	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11
1,0	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12
1,1	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13
1,2	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14
1,3	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,14	0,15
1,4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,15	0,16
1,5	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,16	0,17
1,6	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,17	0,18
1,7	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,18	0,19
1,8	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,19	0,20
1,9	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,20	0,21
2,0	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,21	0,22
2,1	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,22	0,23
2,2	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,23	0,24
2,3	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	0,24	0,25
2,4	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,25	0,26
2,5	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23	0,26	0,28
2,6	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,27	0,28
2,7	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,26	0,28	0,30
2,8	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,30
2,9	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,28	0,30	0,31
3,0	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,29	0,31	0,32
3,1	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32	0,33
3,2	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,31	0,33	0,34
3,3	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,32	0,34	0,35
3,4	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,32	0,34	0,35	0,36
3,5	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38

$\Delta u_c$	$\Delta t_c$										
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,3	0,06	0,08	0,09	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
0,4	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15
0,5	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15
0,6	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15
0,7	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16
0,8	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16
0,9	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17
1,0	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18
1,1	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19
1,2	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20
1,3	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21
1,4	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21
1,5	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
1,6	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23
1,7	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24
1,8	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26
1,9	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26
2,0	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27
2,1	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28
2,2	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29
2,3	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30
2,4	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31
2,5	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32
2,6	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33
2,7	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
2,8	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35
2,9	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36
3,0	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37
3,1	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39
3,2	0,35	0,36	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,40
3,3	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41
3,4	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42
3,5	0,38	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43

Значения  $Q_T = 0,94 \cdot K_1 \cdot \Delta t_c$  при разных  $K_1$  и  $\Delta t_c$

$K_1$	$\Delta t_c$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
0,04	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
0,05	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06
0,06	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07
0,07	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08
0,08	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09
0,09	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10
0,10	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11
0,11	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
0,12	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14
0,13	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15
0,14	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16
0,15	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17
0,16	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18
0,17	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,19
0,18	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17	0,19	0,20
0,19	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	0,21
0,20	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23
0,21	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
0,22	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25
0,23	0,02	0,04	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22	0,24	0,26
0,24	0,02	0,05	0,07	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18	0,20	0,23	0,25	0,27
0,25	0,02	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28
0,26	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29
0,27	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30
0,28	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32
0,29	0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25	0,27	0,30	0,33
0,30	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,25	0,28	0,31	0,34

K <sub>1</sub>	$\Delta t_c$												
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5
0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12
0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14
0,07	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16
0,08	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19
0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21
0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
0,12	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28
0,13	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31
0,14	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33
0,15	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35
0,16	0,20	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,36	0,38
0,17	0,21	0,22	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,32	0,34	0,35	0,37	0,38	0,40
0,18	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,41	0,42
0,19	0,23	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,41	0,43	0,45
0,20	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47
0,21	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49
0,22	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,52
0,23	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54
0,24	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,50	0,52	0,54	0,56
0,25	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49	0,52	0,54	0,56	0,59
0,26	0,32	0,34	0,37	0,39	0,42	0,44	0,46	0,49	0,51	0,54	0,56	0,59	0,61
0,27	0,33	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63
0,28	0,34	0,37	0,39	0,42	0,45	0,47	0,50	0,53	0,55	0,58	0,61	0,63	0,66
0,29	0,35	0,38	0,41	0,44	0,46	0,49	0,52	0,55	0,57	0,60	0,63	0,65	0,68
0,30	0,37	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71

Значения  $V = 1,47 \cdot K_1 \cdot \Delta e_c$  при разных  $K_1$  и  $\Delta e_c$

$K_1$	$\Delta e_c$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07
0,05	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09
0,06	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
0,07	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
0,08	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14
0,09	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16
0,10	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18
0,11	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,19
0,12	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21
0,13	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23
0,14	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21	0,23	0,25
0,16	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26
0,16	0,02	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28
0,17	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30
0,18	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32
0,19	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34
0,20	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35
0,21	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37
0,22	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,23	0,26	0,29	0,32	0,36	0,39
0,23	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,20	0,24	0,27	0,30	0,34	0,37	0,41
0,24	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35	0,39	0,42
0,25	0,04	0,07	0,11	0,15	0,18	0,22	0,26	0,29	0,33	0,37	0,40	0,44
0,26	0,04	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,38	0,42	0,46
0,27	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48
0,28	0,04	0,08	0,12	0,16	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,49
0,29	0,04	0,09	0,13	0,17	0,21	0,26	0,30	0,34	0,38	0,43	0,47	0,51
0,30	0,04	0,09	0,13	0,18	0,22	0,26	0,31	0,35	0,40	0,44	0,49	0,53



$K_I$	$\Delta e_c$												
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
0,02	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
0,03	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11
0,04	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15
0,06	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18
0,06	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22
0,07	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
0,08	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29
0,09	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,32	0,43
0,10	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,32	0,34	0,35	0,37
0,11	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,40
0,12	0,23	0,25	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35	0,37	0,39	0,41	0,42	0,44
0,13	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48
0,14	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51
0,15	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42	0,44	0,46	0,49	0,51	0,53	0,55
0,16	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49	0,52	0,54	0,56	0,59
0,17	0,32	0,35	0,37	0,40	0,42	0,45	0,47	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62
0,18	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45	0,48	0,50	0,53	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66
0,19	0,36	0,39	0,42	0,45	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,61	0,64	0,67	0,70
0,20	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71	0,74
0,21	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71	0,74	0,77
0,22	0,42	0,45	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,65	0,68	0,71	0,74	0,78	0,81
0,23	0,44	0,47	0,51	0,54	0,57	0,61	0,64	0,68	0,71	0,74	0,78	0,81	0,85
0,24	0,46	0,49	0,53	0,56	0,60	0,64	0,67	0,71	0,74	0,78	0,81	0,85	0,88
0,25	0,48	0,51	0,55	0,59	0,62	0,66	0,70	0,74	0,77	0,81	0,85	0,88	0,92
0,26	0,50	0,54	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,76	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96
0,27	0,52	0,56	0,60	0,64	0,67	0,71	0,75	0,79	0,83	0,87	0,91	0,95	0,99
0,28	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86	0,91	0,95	0,99	1,03
0,29	0,55	0,60	0,64	0,68	0,72	0,77	0,81	0,85	0,90	0,94	0,98	1,02	1,07
0,30	0,57	0,62	0,66	0,71	0,75	0,79	0,84	0,88	0,93	0,97	1,01	1,06	1,10

## Удельная теплоемкость сухой части различных почв

Вид почвы	Удельная теплоемкость кДж/кгК	Вид почвы	Удельная теплоемкость кДж/кг-К
Торф	2,18	Суглинок	0,84
Гумус	1,84	Лесной суглинок	0,80
Чернозем суглинистый	1,26	Песок	0,80
Чернозем супесчаный	1,09	Супесь	0,71
Чернозем выщелочный	0,84	Подзол	0,75
Чернозем оподзоленный	0,84	Солонец	0,59
Глина	0,92		

Средняя объёмная теплоемкость некоторых почв в МДж/м<sup>3</sup>-К

Характеристика влажности почвы	Состояние почвы	Песок	Глина	Гумус
Абсолютно сухая	твердое или сыпучее	1,21	0,96	0,67
Сухая	твердое или сыпучее	1,55	1,17	0,75
Слабо увлажненная	твердопластичное	1,84	1,42	0,84
Влажная	мягкопластичное	2,18	1,63	0,92
Сильно увлажненная	липкое	2,47	1,84	1,00

## Максимальная упругость паров воды (Е в миллибарах)

t <sup>0</sup>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Надо льдом										
-30	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,35	0,35
-29	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39
-28	0,47	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43
-27	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48
-26	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55	0,54	0,53	0,53
-25	0,64	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59
-24	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,65
-23	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,72	0,71
-22	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79
-21	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87
-20	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96
-19	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06
-18	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,19	1,18	1,17	1,16
-17	1,39	1,38	1,36	1,35	1,34	1,33	1,31	1,30	1,29	1,28
-16	1,52	1,51	1,50	1,48	1,47	1,46	1,44	1,43	1,41	1,40
-15	1,67	1,66	1,64	1,63	1,61	1,60	1,58	1,57	1,55	1,54
-14	1,83	1,81	1,80	1,78	1,77	1,75	1,73	1,72	1,70	1,69
-13	2,00	1,99	1,97	1,95	1,93	1,92	1,90	1,88	1,86	1,85
-12	2,19	2,17	2,15	2,14	2,12	2,10	2,08	2,06	2,04	2,02
-11	2,40	2,38	2,36	2,34	3,32	2,29	2,27	2,25	2,23	2,21
-10	2,62	2,60	2,57	2,55	2,53	2,51	2,49	2,46	2,44	2,42
-9	2,86	2,84	2,81	2,79	2,76	2,74	2,71	2,69	2,67	2,64
-8	3,12	3,09	3,07	3,04	3,02	2,99	2,96	2,94	2,91	2,88
-7	3,40	3,37	3,34	3,32	3,29	3,26	3,23	3,20	3,18	3,15
-6	3,70	3,67	3,64	3,61	3,58	3,55	3,52	3,49	3,46	3,43
-5	4,03	4,00	3,97	3,93	3,90	3,87	3,84	3,80	3,77	3,74
-4	4,39	4,35	4,31	4,28	4,25	4,21	4,17	4,14	4,10	4,07
-3	4,77	4,73	4,69	4,65	4,62	4,58	4,54	4,50	4,46	4,43
-2	5,18	5,14	5,10	5,06	5,02	4,98	4,93	4,89	4,85	4,81

-1	5,63	5,58	5,54	5,49	5,45	5,40	5,36	5,32	5,27	5,23
-0	6,11	6,06	6,01	5,96	5,91	5,86	5,82	5,77	5,72	5,67
Над водой										
-30	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46
-29	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51
-28	0,61	0,61	0,60	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,56
-27	0,67	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,62
-26	0,73	0,73	0,72	0,71	0,71	0,70	0,70	0,69	0,68	0,68
-25	0,80	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,74
-24	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81
-23	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89
-22	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97
-21	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06
-20	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17	1,16
-19	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,29	1,28	1,27	1,26
-18	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,42	1,41	1,40	1,39	1,37
-17	1,61	1,60	1,59	1,58	1,56	1,55	1,54	1,52	1,51	1,50
-16	1,76	1,74	1,73	1,71	1,70	1,68	1,67	1,66	1,64	1,63
-15	1,91	1,89	1,88	1,86	1,85	1,83	1,82	1,80	1,79	1,77
-14	2,07	2,05	2,04	2,02	2,01	1,99	1,97	1,96	1,94	1,92
-13	2,25	2,23	2,21	2,19	2,18	2,16	2,14	2,12	2,11	2,09
-12	2,44	2,42	2,40	2,38	2,36	2,34	2,32	2,30	2,29	2,27
-11	2,64	2,62	2,60	2,58	2,56	2,54	2,52	2,50	2,48	2,46
-10	2,86	2,84	2,81	2,79	2,77	2,75	2,73	2,71	2,68	2,66
-9	3,09	3,07	3,05	3,02	3,00	2,98	2,95	2,93	2,91	2,88
-8	3,34	3,32	3,29	3,27	3,24	3,22	3,19	3,17	3,14	3,12
-7	3,61	3,59	3,56	3,53	3,51	3,48	3,45	3,43	3,40	3,37
-6	3,90	3,87	3,84	3,82	3,79	3,76	3,73	3,70	3,67	3,64
-5	4,21	4,18	4,15	4,12	4,10	4,06	4,03	4,00	3,96	3,93
-4	4,54	4,51	4,48	4,44	4,41	4,38	4,34	4,31	4,28	4,24
-3	4,90	4,86	4,82	4,79	4,75	4,72	4,68	4,65	4,61	4,58
-2	5,27	5,24	5,20	5,16	5,12	5,08	5,05	5,01	4,97	4,93
-1	5,68	5,64	5,60	5,56	5,51	5,47	5,43	5,39	5,35	5,31

-0	6,11	6,06	6,02	5,98	5,93	5,89	5,85	5,81	5,76	5,72
0	6,11	6,15	6,20	6,24	6,29	6,33	6,38	6,42	6,47	6,52
1	6,56	6,61	6,66	6,71	6,76	6,80	6,86	6,90	6,95	7,00
2	7,05	7,10	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,42	7,47	7,52
3	7,58	7,63	7,68	7,74	7,79	7,85	7,90	7,96	8,02	8,07
4	8,13	8,19	8,24	8,30	8,36	8,42	8,48	8,54	8,60	8,66
5	8,72	8,78	8,84	8,91	8,97	9,03	9,09	9,16	9,22	9,28
6	9,35	9,41	9,48	9,54	9,61	9,68	9,74	9,81	9,88	9,95
7	10,02	10,08	10,15	10,22	10,29	10,36	10,44	10,51	10,58	10,65
8	10,72	10,80	10,87	10,95	11,02	11,10	11,17	11,25	11,32	11,40
9	11,48	11,56	11,63	11,71	11,79	11,87	11,95	12,03	12,11	12,20
10	12,28	12,36	12,44	12,53	12,61	12,70	12,78	12,87	12,95	13,04
11	13,13	13,21	13,30	13,39	13,48	13,57	13,66	13,75	13,84	13,93
12	14,03	14,12	14,21	14,31	14,40	14,50	14,59	14,69	14,78	14,88
13	14,98	15,08	15,18	15,28	15,38	15,48	15,58	15,68	15,78	15,88
14	15,99	16,09	16,20	16,30	16,41	16,51	16,62	16,73	16,84	16,95
15	17,06	17,17	17,28	17,39	17,50	17,61	17,73	17,84	17,96	18,07
16	18,19	18,30	18,42	18,54	18,66	18,78	18,90	19,02	19,14	19,26
17	19,38	19,51	19,63	19,76	19,88	20,01	20,13	20,26	20,39	20,52
18	20,65	20,78	20,91	21,04	21,17	21,30	21,44	21,58	21,71	21,85
19	21,98	22,12	22,26	22,40	22,54	22,68	22,82	22,96	23,10	23,25
20	23,39	23,54	23,68	23,83	23,98	24,13	24,28	24,43	24,58	24,73
21	24,88	25,04	25,19	25,35	25,50	25,66	25,82	25,98	26,13	26,29
22	26,46	26,62	26,78	26,94	27,11	27,27	27,44	27,61	27,77	27,94
23	28,11	28,28	28,46	28,63	28,80	28,98	29,15	29,33	29,50	29,68
24	29,86	30,04	30,22	30,40	30,59	30,77	30,96	31,14	31,33	31,51
25	31,70	31,89	32,08	32,27	32,47	32,66	32,86	33,05	33,25	33,44
26	33,64	33,84	34,04	34,24	34,45	34,65	34,86	35,06	35,27	35,48
27	35,68	35,90	36,11	36,32	36,53	36,75	36,96	37,18	37,40	37,62
28	37,84	38,06	38,28	38,50	38,73	38,95	39,18	39,41	39,64	39,87

29	40,10	40,33	40,56	40,80	41,03	41,27	41,51	41,75	41,99	42,23
30	42,48	42,72	42,97	43,21	43,46	43,71	43,96	44,21	44,46	44,72
31	44,98	45,23	45,49	45,75	46,01	46,27	46,54	46,80	47,06	47,33
32	47,50	47,87	48,14	48,42	48,69	48,96	49,24	49,52	49,80	50,08
33	50,36	50,64	50,93	51,21	51,50	51,79	52,08	52,37	52,67	52,96
34	53,26	53,55	53,85	54,15	54,46	54,76	55,06	55,37	55,68	55,99
35	56,30	56,61	56,92	57,24	57,55	57,87	58,19	58,51	58,84	59,16
36	59,49	59,81	60,14	60,47	60,80	61,14	61,47	61,81	62,15	62,49
37	62,83	63,17	63,52	63,86	64,21	64,56	64,91	65,26	65,62	65,98
38	66,33	66,69	67,05	67,42	67,78	68,15	68,52	68,89	69,26	69,63
39	70,01	70,38	70,76	71,14	71,52	71,91	72,29	72,68	73,07	73,46

## Приложение 9

## Бланк для записи градиентных наблюдений

Дата \_\_\_\_\_ Срок \_\_\_\_\_ Бригада \_\_\_\_\_

Облачность Кол-во/форма	Состояние диска солнца	Температура по- верхности почвы	Состояние поверхности почвы	Атмосферные явления

Показания приборов	0,5 м (психро- метр)	1,5 м (психрометр)	2,0 м (будка)
Температура воздуха по сухому термометру ( $t_{\text{сух}}$ )	1 – 2 – Ср:	1 – 2 – Ср:	
Температура воздуха по смоченному термометру ( $t_{\text{см}}$ )	1 – 2 – Ср:	1 – 2 – Ср:	
Характеристики влажно- сти	$t_d$ – $e$ – $f$ – $d$ –	$t_d$ – $e$ – $f$ – $d$ –	$t_d$ – $e$ – $f$ – $d$ –

Отсчет по анемометру после измерения			
Отсчет по анемометру до измерения			
Разница отсчетов			
Скорость по анемометру м/с			
Температура поверхности почвы			
Направление ветра по флюгеру			
Скорость ветра по флюгеру м/с			

Расчет градиентов:

$$\gamma(0 - 0,5) = \frac{(t_0 - t_{0,5})}{0,5} \cdot 100 \text{ [град/100м]}$$

$$\gamma(0,5 - 1,5) = \frac{(t_{0,5} - t_{1,5})}{1} \cdot 100 \text{ [град/100м]}$$

$$\gamma(0 - 2,0) = \frac{(t_0 - t_{2,0})}{2} \cdot 100 \text{ [град/100м]}$$

В заключение строятся графики хода измерения определяемых метеорологических параметров

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I Общие положения	3
II Приборы и их установка	5
III Поверка психрометров и анемометров	12
IV Производство и запись наблюдений	14
V Обработка наблюдений	17
VI Расчет характеристик турбулентности и составляющих теплового баланса	19
VII Контроль материалов наблюдений	23
VIII СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА	28
ЛИТЕРАТУРА	30
ПРИЛОЖЕНИЯ	31
1 Пример записи и обработки наблюдений в книжке КМ-16	32
2 Переход от разностей метеоэлементов, измеренных на высотах 0,5 и 1,5 м, к их значениям для высот 0,5 и 2 м ( $\Delta\Gamma_c=1,26\Delta\Gamma$ )	33
3 Значение $K_I$ при разных $\Delta t_c$ и $\Delta u_c$	34
4 Значения $Q_T = 0,94 \cdot K_I \cdot \Delta t_c$ при разных $K_I$ и $\Delta t_c$	38
5 Значения $V = 1,47 \cdot K_I \cdot \Delta e_c$ при разных $K_I$ и $\Delta e_c$	40
6 Удельная теплоемкость сухой части различных почв	42
7 Средняя объёмная теплоемкость некоторых почв в МДж/м <sup>3</sup> ·К	42
8 Максимальная упругость паров воды (Е в миллибарах)	43
9 Бланк для записи градиентных наблюдений	47
СОДЕРЖАНИЕ	48