

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет заочного обучения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине

«МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»

Специальность: 013600 – Геоэкология

Курс IV

*Подлежит возврату
на факультет заочного обучения*



Санкт-Петербург
2006

Российский государственный
гидрометеорологический университет
БИБЛИОТЕКА
195196, СПб, Малоохтинский пр., 98

Одобрено Методической комиссией метеорологического факультета и факультета экологии и физики природной среды

УДК 551.51:621, 396

Методические указания по дисциплине «Методы и средства гидрометеорологических измерений» для высших учебных заведений. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006. – 24 с.

Составители: Ю.Г. Осипов, доц., РГГМУ.
Н.В. Герасимова, зав.лаб. АМЗА, РГГМУ

Ответственный редактор: А.Д. Кузнецов, проф., РГГМУ

- © Ю.Г. Осипов, 2006
- © Н.В. Герасимова, 2006
- © Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методы и средства гидрометеорологических измерений являются специальной дисциплиной, необходимой для изучения теоретических, технических и методических основ измерений, включая перспективные разработки в области информационно-измерительных систем в гидрометеорологии применительно к решению экологических задач.

Главной задачей дисциплины является изучение контактных и дистанционных средств измерений с использованием методик измерений метеорологических и геофизических характеристик атмосферы. Изучение дисциплины основано на знании курсов: «Физика», «Высшая математика», «Общая метеорология», «Основы электроники».

В свою очередь она обеспечивает возможность изучения ряда дисциплин, среди которых «Геоинформационные системы».

В результате изучения дисциплины студенты получают знания по современным и перспективным методам измерений метеорологических величин и углубляют навыки в организации и производстве оперативных измерений с учетом перспективных методов исследования окружающей среды.

Студент должен уметь анализировать результаты метеорологических измерений, выполнять инженерные расчеты с использованием современных вычислительных средств применительно к решению экологических программ.

Общие указания

По дисциплине «Методы и средства гидрометеорологических измерений» предусматривается изучение разделов «Измерение температуры», «Измерение влажности», «Измерение параметров воздушного потока вблизи земной поверхности», «Контроль состояния атмосферы», «Измерение параметров ветра в свободной атмосфере», «Системы аэрологического зондирования», «Использование дистанционных методов при зондировании окружающей среды». Студент должен выполнить контрольную работу. Дисциплина завершается зачетом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 456 с.
2. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). – СПб; РГГМУ, 2004. – 428с.
3. Киселёв В.Н., Мушенко П.Н. Практикум по аэрологии и радиометеорологии. – Л.: ЛПИ, 1986 (ЛГМИ). – 141 с.
4. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 392 с.
5. Приборы и установки для метеорологических измерений на аэродромах. Под ред. Л.П. Афиногенова и Е.В. Романова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 295 с.
6. Городецкий О.А., Гуральник И.И., Лорин В.В. Метеорология, методы и средства наблюдений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 327 с.
7. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 358 с.

УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ

Введение

Первоначально изучите основные термины и преобразователи неэлектрических величин в электрические. Особое внимание следует уделить рассмотрению мостовых измерительных схем, фотоэлектрических преобразователей, оптоэлектронных преобразователей, преобразователей датчиков температуры, влажности в электрическое сопротивление. Также следует изучить информационно-измерительные системы, используемые для получения метеорологических параметров. Изучите принцип работы радиотелеметрических систем, которые используются при дистанционном зондировании.

Литература

Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – С. 5 – 66.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните смысл терминов и определений метрологии.
2. В чем различие температурных коэффициентов сопротивления для металлов и проводников.
3. Какой принцип действия электронного осциллографа.
4. Приведите примеры оптоэлектронных преобразователей.
5. Поясните принцип работы информационно-измерительной системы.
6. Поясните принцип действия радиотелеметрической системы.

Измерение температуры

В этом разделе основное внимание следует уделить изучению датчиков и особенностям измерения температуры в естественных условиях. Кроме того, следует рассмотреть тепловую инерцию термометров, инерционные и радиационные ошибки измерений, а также резисторные термометры сопротивления, термоэлектрические термометры. Обратит особое внимание на деформационные термометры, радиационные и акустические термометры и автоматизацию измерений.

Следует рассмотреть анализ уравнений чувствительности источников погрешностей и приемов, при которых эти погрешности делаются минимальными.

Литература

Качурин Л. Г. Методы метеорологических измерений. – Л; Гидрометеиздат, 1985. – С. 67 – 125.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под коэффициентом инерции термометров, от каких параметров он зависит?
2. Какие основные источники погрешностей присущи термометрам сопротивления и как они устраняются на практике?
3. Какие законы положены в основу работы радиационных термометров? Объясните принцип действия радиационных термометров.

Измерение влажности воздуха

Необходимо изучить существующие принципы измерения влажности воздуха, используемые на метеорологических станциях и метеорологической и дистанционной аппаратуре. Необходимо освоить теорию, принцип работы и устройства измерителей влажности. При изучении психрометрического метода измерения влажности следует уяснить смысл понятия "психрометрический коэффициент". Обратит внимание на преимущество конденсационных и электролитических параметров. Для понимания радиационных параметров требуется знание процессов поглощения радиации водяным паром. Необходимо обратить внимание на деформационные гигрометры, датчики которых используются при радиозондировании. Следует познакомиться с новыми перспективными методами измерения влажности, такими как лазерное зондирование влажно-

сти в атмосфере, использование СВЧ-гигрометров, включая измерители влажности, применяемые в автоматических метеорологических станциях.

Литература

1. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 126 – 157.
2. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). – СПб; РГГМУ, 2004. – с. 74 – 78.
3. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – С. 88 – 98.

Вопросы для самопроверки

1. Какие методы измерения влажности используются в метеорологии?
2. Какова погрешность измерения влажности различными методами?
3. Назовите и обоснуйте перспективные методы влажности воздуха?

Измерение атмосферного давления

Ртутные барометры. Сифонно-чашечный и стационарный чашечный барометры. Поправки к ртутным барометрам. Деформационные барометры. Источники ошибок и способы их устранения. Газовые барометры. Гипсотермометры. Измерители малого давления. Вакуумметры.

Литература

1. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. Л., Гидрометеиздат, 1978 – с. 68–96.

Вопросы для самопроверки

1. Какие поправки вводятся при измерении давления ртутными барометрами?
2. От каких характеристик зависит чувствительность приборов, измеряющих атмосферное давление?

Измерение параметров воздушных потоков вблизи земной поверхности

В этом разделе следует знакомиться с методами и аппаратурой для измерения скорости и направления ветра. Необходимо освоить теорию монометрических, индукционных, контактных, фотоэлектрических и акустических измерителей скорости воздушного потока. Следует познакомиться с датчиками КРАМС, с работой анеморумбометра М-63. Обратит внимание на перспективные разработки приборов для измерения воздушных потоков с использованием лазеров.

Литература

1. Качурин Л. Г. Методы метеорологических измерений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 158 – 191.
2. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – С.186 – 200.

Вопросы для самопроверки

1. Какие датчики используются для измерения направления ветра?
2. Объясните принцип действия индукционных анемометров.
3. Объясните принцип действия теплового термоэлектрического анемометра.
4. Объясните принцип действия акустического анемометра – фазового, импульсного.
5. Объясните принцип действия искроанемометра.

Контроль состояния атмосферы

В этом разделе рассматриваются основные примеси в атмосфере естественного и антропогенного происхождения. Изучаются методы и приборы, которые используются для измерения концентрации примесей как в приземном слое, так и в высоких слоях атмосферы. Изучаются правила отбора проб как с помощью стационарных, так и передвижных комплексов.

Измерение озона. Озонометрическое радиозондирование атмосферы. Измерение корпускулярного излучения в атмосфере. Измерение радиоактивного фона и радиоактивного загрязнения местности.

Следует обратить внимание на то, как влияют метеорологические условия на распространение примесей, а следовательно и на результаты измерения концентраций примесей.

Литература

- Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. Л., Гидрометеиздат, 1978 – С. 287–324.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте основные вредные примеси в атмосфере.
2. С помощью каких приборов и как измеряется концентрация CO_2 ?
3. С помощью каких приборов и как измеряется концентрация CO ?
4. С помощью каких приборов и как отбираются пробы на газовые ингредиенты?

Измерение параметров ветра в свободной атмосфере

В этом разделе следует ознакомиться с однопунктными и двухпунктными (базисными) шаропилотными наблюдениями, включая проведение наблюдений. Рассматриваются методы графической и аналитической обработки результатов наблюдений, точность оптических методов определения ветра в атмосфере.

Следует также ознакомиться с радиопеленгационными, радиолокационными и навигационными методами определения ветра в атмосфере.

Рассмотреть рассеяние электромагнитных волн в атмосфере; эффективную поверхность рассеяния; радиолокационные цели; основное уравнение дальности радиолокационного сопровождения точечной цели; уравнение радиолокации с активным ответом; точность определения ветра в атмосфере радиотехническими методами.

Литература

Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). – СПб.: РГГМУ, 2004. – С. 28 – 46.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные погрешности однопунктных шаропилотных наблюдений.
2. В чем состоит сущность графического и аналитического методов обработки шаропилотных наблюдений?
3. Какие законы вертикального распределения ветра известны?
4. Какие существуют радиометоды определения ветра в свободной атмосфере?

Системы аэрологического зондирования

Системы комплексного температурно-ветрового зондирования.

Система "Метеорит" – МАРЗ-2 и ее модификация и технические характеристики. Основы обработки. Автоматизация процесса обработки данных зондирования.

Система Аэрологический вычислительный комплекс (АВК-1), радиозонд МРЗ. Технические характеристики, особенности работы. Точность зондирования атмосферы.

Специальные виды зондирования по измерению характеристик состояния атмосферы.

Измерение длинноволновых потоков излучения в атмосфере с помощью актинометрических радиозондов. Измерение концентрации озона в атмосфере с помощью озонзондов. Радиозонды для измерения корпускулярного излучения в атмосфере.

Литература

Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). – СПб.: РГГМУ, 2004. – С. 126 – 156.

Использование дистанционных методов зондирования окружающей среды

Изучая радиофизические характеристики и условия распространения электромагнитных волн в свободной атмосфере, следует обратить внимание на влияние метеорологических характеристик на коэффициент преломления, диэлектрическую проницаемость и градиент коэффициента преломления.

Наряду с эффектом преломления, электромагнитная волна испытывает ослабление и рассеяние на компонентах атмосферы (аэрозоли, капли, ледяные кристаллы). Количество энергии, рассеиваемое в направлении РЛС, характеризуется эффективной площадью рассеяния (ЭПР). Теоретическая ЭПР может быть вычислена только для частиц несложных форм, в частности, для сферических. Метеорологические радиолокаторы позволяют количественно измерить мощность сигналов, отраженных от облаков и осадков. Это позволяет решить ряд следующих задач:

1. Определение местоположения и высот зон радиоэхо кучево-дождевых облаков с явлениями (ливни, грозы, град).
2. Предупреждение о грозах и сильных ливневых дождях с заблаговременностью, зависящей от характера явления.
3. Определение скорости и направления перемещения зон радиоэхо кучево-дождевых облаков и зон радиоэхо осадков обложного характера.
4. Оценка мгновенной максимальной интенсивности выпадающих осадков в радиусе до 90 км от МРЛ.
5. Определение типа радиоэхо в зависимости от измерения характеристик облачных систем.

Литература

1. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). – СПб: РГГМУ, 2004. – С. 287 – 324.
2. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1 МРЛ-2, МРЛ-5. – СПб.: Гидрометеониздат, 1993. – 3 58 с.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое радиорефракция?
2. Какие параметры характеризуют величину радиорефракции?
3. От каких параметров зависит величина коэффициента преломления?
4. Что такое стандартная радиоатмосфера?
5. Какие существуют типы радиорефракции?

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Общие указания

К выполнению контрольной работы следует приступить после тщательного изучения рекомендованных глав литературы. Для решения задач полезны сведения о расчетных формулах и пояснениях, которые можно найти [3].

В результате самостоятельного изучения дисциплины необходимо выполнить одну контрольную работу, которая состоит из 9 заданий, представленных в таблицах 0–9. Студент выполняет контрольную работу с таким сочетанием вариантов, номер которого соответствует последней цифре его зачетной книжки. По представленному графическому материалу должен быть проведен анализ, чтобы был ясен физический смысл представленного материала.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Задание 1

По данным температурно-ветрового зондирования произвести расчет вертикального распределения коэффициента преломления радиоволн и предельной дальности обнаружения метеорологических объектов. Номер варианта совпадает с номером таблицы исходных данных.

На процессы распространения радиоволн существенное влияние оказывает атмосферная радиорефракция. Диэлектрическая проницаемость газа (ϵ) определяется его молекулярным весом, плотностью, абсолютной температурой и электрическими свойствами молекул. Диэлектрическая проницаемость влажного воздуха имеет вид:

$$(\epsilon - 1) \cdot 10^6 = \frac{156}{T} \left(P + \frac{4800e}{T} - \frac{e}{T} \right). \quad (1)$$

Так как коэффициент преломления $n = \sqrt{\epsilon}$, а следовательно, $(n - 1) \approx \frac{1}{2}(\epsilon - 1)$, то выражение для коэффициента преломления влажного воздуха имеет вид:

$$(n - 1) \cdot 10^6 = \frac{78}{T} \left(P + \frac{4800e}{T} - \frac{e}{T} \right), \quad (2)$$

где T – температура воздуха в К; P – давление воздуха гПа, e – парциальное давление водяного пара гПа, так как по данным радиозондирования измеряется относительная влажность (U), а не упругость водяного пара (e), для выполнения расчетов может быть использовано следующее выражение:

$$e = 0,0063U \cdot 10^{(7,5t/273+t)}, \quad (3)$$

где t – температура воздуха, °С.

Если известна удельная влажность воздуха, определяемая по формуле

$$q = 622 \frac{e}{P}. \quad (4)$$

где q – удельная влажность, г/кг,

тогда расчет коэффициента преломления n производится по следующей формуле

$$(n-1) \cdot 10^6 = \frac{78P}{T} + 6 \cdot 10^2 \frac{Pq}{T^2}. \quad (5)$$

Электромагнитные волны распространяются в атмосфере в пределах прямой видимости по криволинейным траекториям. Причина такого явления – атмосферная рефракция. При распространении радиоволн над сферической поверхностью Земли появляется понятие "радиогоризонт", граница касания линии "радиозрения" с поверхностью Земли. Предельной дальностью обнаружения для РЛС является такое расстояние, при котором объект, находящийся на определенной высоте, расположен на границе радиовидимости. Для учета рефракции используется метод эквивалентного радиуса, который сводит задачу криволинейного распространения электромагнитной волны к задаче прямолинейного распространения. Криволинейную траекторию "разгибают", увеличивая радиус Земли до тех пор, пока траектория луча не окажется прямолинейной. Эквивалентный радиус земли определяется по формуле:

$$R_3 = \frac{R_3}{1 + R_3 \frac{dn}{dh}} \cdot \frac{1}{n_0}, \quad (6)$$

где R_3 – радиус Земли, $\frac{dn}{dh}$ – градиент коэффициента преломления, n_0 – коэффициент преломления у поверхности Земли.

Тогда предельная дальность обнаружения объектов определяется следующим образом:

$$R_{\text{пр}} = \sqrt{2R_3} \left(\sqrt{H} + \sqrt{h_0} \right), \quad (7)$$

где H – высота объекта; h_0 – высота РЛС над поверхностью Земли.

Используя данные зондирования по формулам (2), (3) или (4), (5), рассчитать коэффициент преломления радиоволн и его вертикальные градиенты в различных слоях через 500 – 1000 м в тропосфере и определить средний вертикальный градиент показателя преломления радиоволн для тропосферы. Построить график зависимости n от h и сопоставить его с данными стандартной радиодатмосферы. Проанализировать характер распространения радиоволн в реальной атмосфере и определить тип рефракции, используя данные вертикального градиента коэффициента преломления в тропосфере. Рассчитать $R_{\text{пр}}$ и R_3 по формулам (6), (7) для высот расположения объектов (0, 1, 2 ..., 12) км. Расчет $R_{\text{пр}}$ и R_3 провести

для $\frac{dn}{dh} = 0$ (отсутствие рефракции), $\frac{dn}{dh}$ (стандартная атмосфера),

$\frac{dn}{dh}$ (реальная атмосфера).

При выполнении расчетов можно положить $h_0 = 30$ м. Построить график зависимости $R_{\text{пр}}$ от H для выше отмеченных условий.

Используя данные морфологической классификации облачности на графике условно показать предельные дальности обнаружения различных типов облачности.

Рассчитать занижение высот метеорологических объектов за счет кривизны поверхности Земли в зависимости от расстояния до цели при неучете рефракции и при использовании нормальной рефракции (стандартная атмосфера). Проанализировать полученные результаты.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Изучение наземной дистанционной метеорологической аппаратуры (КРАМС).
2. Метеорологические информационные измерительные комплексы МСЗ «Сюжет», ИК-радиометр.
3. Изучение систем зондирования Метеорит – р/з МАРЗ-2, аэрологический вычислительный комплекс (АВК-1) р/з МРЗ-3А.
4. Изучение метеорологических радиолокационных станций МРЛ-2, МРЛ-5.
5. Автоматизация радиометеорологических измерений.

**Варианты исходных данных
температурно-ветрового зондирования**

Таблица 1

<i>H</i> , м	<i>P</i> , гПа	<i>T</i> , С	<i>dT</i> , С	<i>D</i> , град	<i>V</i> , м/с
70	1012.0	-19.1	2.8	250	3
160	1000.0	-18.5	2.9	310	6
640	938.0	-15.5	3.4	—	—
780	922.0	-16.1	3.6	—	—
870	910.0	-15.1	3.7	—	—
1110	882.0	-15.7	3.9	—	—
1290	861.0	-14.9	3.7	—	—
1370	852.0	-15.3	3.6	—	—
1390	850.0	-15.3	3.6	340	15
1430	845.0	-15.1	3.6	—	—
2070	776.0	-20.5	3.4	—	—
2190	764.0	-18.1	3.6	—	—
2830	700.0	-24.1	4.4	335	16
3000	684.0	-25.5	3.6	—	—
3310	655.0	-26.5	3.1	—	—
3390	648.0	-25.3	3.3	—	—
5220	500.0	-37.7	4.7	335	25
6730	400.0	-47.9	5.0	330	28
7830	338.0	-54.9	5.0	—	—
8550	302.0	-57.7	6.0	—	—
8590	300.0	-57.9	6.0	335	25
9740	250.0	-58.3	6.0	335	24
10350	227.0	-58.1	6.0	—	—
10690	215.0	-53.1	6.0	—	—
11160	200.0	-53.1	6.0	335	20
13010	150.0	-52.7	7.0	330	20
15620	100.0	-55.7	9.0	315	15
17890	70.0	-55.9	9.0	305	18
18420	64.4	-56.1	9.0	—	—
19620	53.1	-60.1	10.0	—	—
20000	50.0	-60.1	10.0	—	—
23210	30.0	-59.1	10.0	—	—
24060	26.2	-60.1	10.0	—	—
24120	26.0	-60.1	10.0	—	—

Таблица 2

H , м	P , гПа	T , С	dT , С	D , град	V , м/с
70	1009.0	-14.1	3.7	230	4
140	1000.0	-13.7	3.5	225	8
430	963.0	-12.1	3.3	-	-
690	930.0	-13.1	3.3	-	-
920	904.0	-11.1	2.5	-	-
1390	850.0	-14.1	2.0	300	13
1730	812.0	-16.7	1.7	-	-
1860	798.0	-15.5	1.6	-	-
2460	738.0	-20.3	1.2	-	-
2850	700.0	-23.7	1.3	-	-
3330	655.0	-28.3	2.0	-	-
3430	646.0	-26.3	2.0	-	-
5240	500.0	-38.1	3.1	325	25
6740	400.0	-48.1	4.0	325	26
7020	383.0	-50.3	4.0	-	-
8280	316.0	-55.1	4.1	-	-
8610	300.0	-55.1	4.3	330	23
9780	250.0	-53.5	5.0	335	22
10040	240.0	-53.9	5.0	-	-
10570	221.0	-51.9	6.0	-	-
11210	200.0	-53.3	6.0	335	21
12080	175.0	-54.1	6.0	-	-
13070	150.0	-52.1	7.0	335	19
14000	130.0	-51.7	8.0	-	-
15680	100.0	-56.3	8.0	315	18
16090	93.8	-57.1	8.0	-	-
16520	87.6	-54.7	8.0	-	-
17940	70.0	-56.7	8.0	300	18
18270	66.4	-57.1	8.0	-	-
19060	58.6	-61.5	8.0	-	-
20050	50.0	-58.5	8.0	295	18
20350	47.7	-57.9	8.0	-	-
21690	38.5	-60.1	8.0	-	-
21910	37.2	-58.9	9.0	-	-
22320	34.8	-59.3	9.0	-	-

Таблица 3

H , м	P , гПа	T , C	dT , C	D , град	V , м/с
70	1010.0	15.2	10.0	80	2
160	1000.0	13.8	9.0	60	4
1230	878.0	3.8	4.6	—	—
1370	863.0	3.0	4.9	—	—
1500	850.0	2.0	4.4	310	3
1770	822.0	-0.1	3.9	—	—
2000	798.0	0.4	3.7	—	—
2100	788.0	-0.5	3.7	—	—
2360	764.0	0.2	3.7	—	—
3050	700.0	-4.7	3.6	325	6
3950	624.0	-11.3	2.6	—	—
5610	500.0	-21.3	2.6	280	8
7110	407.0	-31.1	2.4	—	—
7230	400.0	-31.9	2.8	275	8
8930	312.0	-45.7	2.8	—	—
9190	300.0	-48.5	2.7	260	8
9430	289.0	-50.9	2.6	—	—
9640	280.0	-53.1	2.6	—	—
10200	257.0	-54.5	3.2	—	—
10380	250.0	-54.1	3.4	275	9
10540	244.0	-54.1	3.3	—	—
11550	200.0	-46.7	4.6	—	—
11840	190.0	-46.7	5.0	295	6
13740	150.0	-49.9	7.0	315	7
15360	117.0	-52.5	8.0	—	—
16320	101.0	-50.3	8.0	—	—
16380	100.0	-50.7	8.0	320	7
16930	91.8	-52.7	8.0	—	—
18700	70.0	-51.9	9.0	305	4
20880	50.0	-52.3	10.0	310	4
22700	37.8	-52.9	10.0	—	—
23520	33.3	-52.1	10.0	—	—
24200	30.0	-50.9	—	325	2
26850	20.0	-49.1	—	305	2
30250	12.0	-42.9	—	—	—

Таблица 4

$H, \text{ м}$	$P, \text{ гПа}$	$T, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$dT, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$D, \text{ град}$	$V, \text{ м/с}$
70	1000.0	-14.1	2.6	280	4
410	956.0	-14.1	2.2	-	-
630	929.0	-14.5	1.8	-	-
930	893.0	-13.3	1.5	-	-
1310	850.0	-16.3	1.8	320	12
2750	700.0	-26.3	3.3	330	14
3620	619.0	-33.5	4.7	-	-
3770	606.0	-33.1	5.0	-	-
4700	530.0	-39.5	4.3	-	-
5100	500.0	-42.7	4.5	310	12
6100	430.0	-51.3	4.5	-	-
6570	400.0	-54.3	4.4	310	10
6700	392.0	-55.1	4.3	-	-
8010	320.0	-56.1	4.9	-	-
8420	300.0	-54.3	5.0	305	8
9590	250.0	-52.1	6.0	285	10
9720	245.0	-51.1	6.0	-	-
11030	200.0	-51.3	7.0	270	12
11860	176.0	-52.3	7.0	-	-
12360	163.0	-53.9	8.0	-	-
12890	150.0	-54.9	8.0	260	15
14860	110.0	-59.5	8.0	-	-
15460	100.0	-58.9	8.0	260	20
17690	70.0	-61.1	8.0	265	28
19780	50.0	-61.1	8.0	265	36
22200	33.9	-62.9	8.0	-	-
22950	30.0	-61.5	8.0	270	41
25470	20.0	-60.5	8.0	280	47
26200	17.8	-60.3	8.0	-	-
27060	15.5	-59.5	-	-	-
29520	10.4	-62.9	-	-	-

Таблица 7

$H, \text{ м}$	$P, \text{ гПа}$	$T, \text{ C}$	$dT, \text{ C}$	$D, \text{ град}$	$V, \text{ м/с}$
70	1009.0	-10.5	2.9	290	1
140	1000.0	-11.1	2.8	325	5
350	973.0	-13.7	2.5	-	-
870	909.0	-15.7	2.0	-	-
1010	893.0	-14.1	2.1	-	-
1340	854.0	-14.7	2.4	-	-
1380	850.0	-14.9	2.4	335	11
2820	700.0	-26.5	2.2	5	8
3000	683.0	-28.1	2.1	-	-
3070	676.0	-28.9	2.2	-	-
3410	645.0	-28.3	3.3	-	-
4570	547.0	-35.5	8.0	-	-
4970	516.0	-37.5	10.0	-	-
5190	500.0	-38.9	10.0	340	13
6710	400.0	-44.7	12.0	335	16
7450	358.0	-48.3	12.0	-	-
7600	350.0	-48.1	12.0	-	-
8610	300.0	-50.1	12.0	335	26
9400	266.0	-52.3	12.0	-	-
9570	259.0	-51.3	12.0	-	-
9800	250.0	-51.9	12.0	340	25
11180	202.0	-51.9	13.0	-	-
11240	200.0	-51.7	13.0	330	27
11170	186.0	-49.3	13.0	-	-
13100	150.0	-52.9	13.0	325	22
13820	134.0	-54.7	12.0	-	-
14220	126.0	-53.3	13.0	-	-
15330	106.0	-57.5	12.0	-	-
15700	100.0	-56.5	12.0	305	20
16140	93.4	-54.5	13.0	-	-
16970	81.9	-58.1	12.0	-	-
17960	70.0	-58.9	12.0	290	17
19300	56.6	-56.5	12.0	-	-
20080	50.0	-58.3	12.0	275	18
23140	30.7	-59.9	12.0	-	-
23280	30.0	-60.5	13.0	-	-
23950	26.9	-63.9	12.0	-	-
24240	25.7	-61.3	12.0	-	-
24830	23.4	-59.5	12.0	-	-

Таблица 8

$H, \text{ м}$	$P, \text{ гПа}$	$T, \text{ C}$	$dT, \text{ C}$	$D, \text{ град}$	$V, \text{ м/с}$
70	993.0	-17.3	1.7	320	4
270	967.0	-12.7	1.6	-	-
700	914.0	-16.7	1.2	-	-
1240	850.0	-19.9	0.9	320	7
1540	816.0	-21.3	1.1	-	-
1750	793.0	-20.7	1.4	-	-
2520	715.0	-24.7	2.9	-	-
2670	700.0	-25.9	3.0	10	4
4390	548.0	-41.3	1.6	-	-
5010	500.0	-44.9	2.1	25	7
5490	465.0	-46.1	2.7	-	-
5570	460.0	-45.9	2.8	-	-
6490	400.0	-49.7	3.4	310	6
6860	378.0	-50.7	3.7	-	-
8370	300.0	-52.1	4.3	245	12
8910	276.0	-52.1	4.5	-	-
9560	250.0	-50.7	4.7	250	16
10950	202.0	-50.1	5.0	-	-
11010	200.0	-50.5	5.0	250	17
12870	150.0	-53.9	5.0	260	20
13500	136.0	-56.3	5.0	-	-
15440	100.0	-58.3	6.0	255	24
17670	70.0	-59.3	6.0	260	29
17750	69.1	-59.3	6.0	-	-
19520	51.9	-63.7	6.0	-	-
19750	50.0	-63.7	6.0	265	33
22890	30.0	-63.5	6.0	265	39
23380	20.0	-63.9	6.0	270	50
25920	18.3	-63.1	7.0	-	-
26230	17.4	-63.9	7.0	-	-
28360	12.3	-63.3	-	-	-

Таблица 9

$H, \text{ м}$	$P, \text{ гПа}$	$T, \text{ C}$	$dT, \text{ C}$	$D, \text{ град}$	$V, \text{ м/с}$
70	1011.0	19.8	9.0	200	0
170	100.0	18.2	8.0	155	1
1330	870.0	8.0	3.3	-	-
1400	863.0	7.2	3.8	-	-
1530	850.0	7.4	4.8	205	1
2030	800.0	8.4	8.0	-	-
2290	775.0	7.8	11.0	-	-
2430	762.0	7.6	10.0	-	-
2960	714.0	2.6	7.0	-	-
4400	596.0	-7.1	20.0	-	-
4890	559.0	-8.7	30.0	-	-
5150	541.0	-9.7	32.0	-	-
5750	500.0	-13.3	32.0	285	1
6030	482.0	-14.3	32.0	-	-
6730	439.0	-19.3	30.0	-	-
7420	400.0	-23.7	20.0	275	10
75300	394.0	-24.5	19.0	-	-
9460	300.0	-37.7	10.0	270	13
10690	250.0	-49.3	6.0	275	17
11260	229.0	-54.7	4.2	-	-
11880	208.0	-59.9	3.7	-	-
12120	200.0	-60.9	3.7	275	22
13060	172.0	-66.9	3.7	-	-
13200	168.0	-63.1	3.8	-	-
13900	150.0	-61.5	4.2	270	16
16000	107.0	-57.7	6.0	-	-
16430	100.0	-58.3	6.0	255	1
18690	70.0	-56.3	8.0	280	0
19550	61.2	-53.5	10.0	-	-
20520	52.6	-55.3	12.0	-	-
20840	50.0	-53.5	12.0	290	0
21500	45.1	-52.5	14.0	-	-
22350	39.4	-56.1	14.0	-	-
22870	3.3	-54.5	14.0	-	-
24100	3.0	-52.1	-	5	0
24360	2.8	-51.5	-	-	-
26730	2.0	-53.5	-	105	3
26830	1.7	-53.5	-	-	-
27600	1.5	-51.0	-	-	-
28210	1.9	-51.9	-	-	-
31300	1.0	-41.5	-	280	3
31580	96	-40.1	-	-	-
32490	84	-39.7	-	-	-

Таблица 10

H, м	P, гПа	T, C	dT, C	D, град	V, м/с
7	1012.0	-18.7	3.6	300	2
10	1000.0	-18.7	3.5	320	10
50	949.0	-17.9	4.4	-	-
780	921.0	-19.1	4.7	-	-
870	909.0	-18.5	4.8	-	-
910	904.0	-18.7	4.8	-	-
1080	884.0	-17.7	6.0	-	-
1300	859.0	-18.3	8.0	-	-
1370	850.0	-18.1	8.0	345	16
1610	824.0	-17.3	11.0	-	-
1900	792.0	-18.5	11.0	-	-
2040	778.0	17.5	12.0	-	-
2470	734.0	-20.9	12.0	-	-
2550	726.0	-21.9	10.0	-	-
2690	712.0	-21.7	9.0	-	-
2820	700.0	-22.7	8.0	345	20
3070	676.0	-24.5	6.0	-	-
4240	574.0	-30.5	11.0	-	-
4620	544.0	-32.5	12.0	-	-
5210	500.0	-36.9	9.0	345	25
6330	424.0	-43.5	8.0	-	-
6720	400.0	-46.3	8.0	350	30
7760	342.0	-53.9	8.0	-	-
8590	300.0	-57.3	8.0	355	32
9470	261.0	-60.7	8.0	-	-
9740	250.0	-58.7	8.0	350	20
10000	240.0	-56.9	8.0	-	-
11150	200.0	-54.7	9.0	350	20
13000	150.0	-52.7	10.0	335	22
13590	137.0	-51.7	10.0	-	-
15620	100.0	-54.7	11.0	320	20
16370	88.8	-57.7	12.0	-	-
17610	73.0	-53.7	13.0	-	-
17880	70.0	-54.5	13.0	305	22
18070	67.9	-55.1	13.0	-	-
18760	61.0	-56.7	13.0	-	-

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Общие указания	3
Указания по разделам	4
Введение	4
Измерение температуры	5
Измерение влажности воздуха	5
Измерение атмосферного давления	6
Измерение параметров воздушных потоков вблизи земной поверхности	6
Контроль состояния атмосферы	7
Измерение параметров ветра в свободной атмосфере	7
Системы аэрологического зондирования	8
Использование дистанционных методов зондирования окружающей среды	9
Контрольные работы	10
Общие указания	10
Контрольная работа № 1	10
Задание 1	10
Примерный перечень лабораторных работ	13
Варианты исходных данных температурно-ветрового зондирования	14

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине

«МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»

Составители: Осипов Юрий Германович,
Герасимова Нина Васильевна

Редактор И.Г. Максимова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 07.08.06. Формат 60х90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,5. Уч.-изд.л. 1,5. Тираж 200 экз. Заказ № 71
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «НПП «Система», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 80/2..
