ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
им. А. И. ВОЕЙКОВА

Выпуск

463

МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ОТ МАССОВОЙ СЕТИ НАЗЕМНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СТАНЦИЙ

Под редакцией проф. Н. П. РУСИНА

ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1982

Ub
T78

УДК 551.501

Содержатся результаты исследований, обосновывающих методические требования получения и первичной обработки метеорологической информации от массовой сети: наземных и морских метеорологических станций, МРЛ, актинометрических, теплобалансовых, озонометрических станций и станций по наблюдению за атмосферным электричеством.

Сборник рассчитан на руководящих работников сети Госкомгидромета, связанных с разработкой технических заданий на средства метеорологической измерительной техники, с разработкой метеорологических приборов, подготовкой методических пособий, контролем состояния метеорологической сети и качества выдаваемой ею информации, а также на преподавателей и студентов вузов и техникумов гидрометеорологического профиля.

The publication contains investigation results basing the procedure requirements for obtaining and primary processing of meteorological information from mass network: surface and sea meteorological stations, meteorological radar stations, actinometric, heat balance, ozone measuring stations and stations for observing atmospheric electricity.

The publication is intended for specialists dealing with guidance of hydrometeorological network, working out technical tasks for meteorological measuring equipment, development of meteorological instruments, preparation of procedure manuals, checking the state of meteorological network and quality of its information, as well as for instructors and students of hydrometeorological institutes and technical schools.

М $\frac{1903040000\text{-}142}{069(02)\text{-}82}$ 53-81(2)

© Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (ГГО), 1982.

Н. П. Русин

ПОДСИСТЕМЫ НАЗЕМНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ (ГЕОФИЗИЧЕСКИХ) НАБЛЮДЕНИЙ

Современная система наземных метеорологических наблюдений предназначена для получения информации о физическом состоянии атмосферы и ее взаимодействии с подстилающей поверхностью. Такая информация, нанесенная на карту или подвергнутая другим видам анализа и обобщения, отображает состояние атмосферы.

Учитывая большое разнообразие метеорологических параметров, за которыми должны вестись наблюдения, и различие требований к ним в отношении точности, частоты измерения, периодов осреднения и т. д., современную систему наземных метеорологических наблюдений, являющуюся частью государственной системы наблюдений (ГСН), условно можно разделить на три группы подсистем: общеметеорологические, осуществляющие получение информации об основных метеорологических элементах и их параметрах; специализированные, осуществляющие получение информации о радиационных характеристиках, атмосферном электричестве, тепловом балансе подстилающей поверхности, озоне, загрязнении атмосферы и т. д.; специальные, осуществляющие получение информации, необходимой для обеспечения конкретных отраслей народного хозяйства (авиации, морского транспорта, сельского хозяйства, медицины и др.).

В соответствии с возложенными на Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды задачами назначением подсистем первой и второй группы является не только получение информации, характеризующей физические условия и загрязнение приземного слоя атмосферы, но и информации, позволяющей осуществлять контроль за изменением этого состояния.

В связи с этими задачами, а также с техническим переоснащением общеметеорологической и специализированной сети, автоматизацией и стандартизацией средств получения и обработки метеорологической информации перед головными институтами Госкомгидромета была поставлена задача о разработке отраслевых документов, регламентирующих функционирование указанных вы-

ше подсистем и являющихся руководящими методическими материалами (РММ) при разработке технических заданий на средства измерения и создание самой измерительной техники, при подготовке методических пособий, производстве измерений и первичной обработке метеорологической информации и т. д.

Руководящие методические материалы содержат основные требования: по составу наземной метеорологической информации, включая и специализированную; диапазонам измерения наблюдаемых параметров; точности выдаваемой информации; срокам измерения; периодам осреднения; технологии ее получения; технологии формирования информации в зависимости от ее назначения и требований потребителей; по технологии первичной обработки и выдачи информации, принципы размещения сети станций и др.

Ниже приводится краткая характеристика общеметеорологических и специализированных подсистем, методическое руководство которыми осуществляет Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова.

I. Подсистема наземных метеорологических наблюдений (ПНМН)

Эта подсистема является одной из основных подсистем общей системы гидрометеорологических наблюдений. Она сформировалась свыше 100 лет назад и долгое время являлась единственной метеорологической системой. Для нее существует научно-организационная структура не только в масштабе страны, но и в глобальном масштабе, регламентируемая документами Всемирной метеорологической организации (ВМО) и национальными документами. Помимо этих документов при разработке РММ учитывалось, что в настоящее время существует ряд других подсистем, позволяющих пополнить или получить в большом объеме многие виды информации, выдаваемой ПНМН, а также появились новые технические средства, дистанционные или даже автоматические, облегчающие труд наблюдателя, освобождающие его от постоянного присутствия на площадке и дающие более объективную информацию; появилась возможность замены визуальных наблюдений об атмосферных явлениях, в том числе опасных и особо опасных, инструментальными; создались возможности для расширения состава метеорологической информации и более полного удовлетворения запросов и требований потребителей.

Исходя из этого были пересмотрены существующие научно-организационные принципы построения ПНМН в отношении состава наблюдений, их точности, сроков наблюдений, размещения сети, внесения изменений в методику наблюдений и др.; сформулированы требования к технологии получения, сбора, обработки и выдачи метеорологической информации в пункте наблюдения, требования к формированию информации, составу погодных комплексов, классификации информации, требования к техническим средствам и способам получения информации; уточнены требования к

размещению наблюдательной сети с учетом результатов эксперимента Белорусского УГКС, предложений Украинского и Казахского УГКС; проанализированы требования заинтересованных организаций к метеорологической информации, которые положены в основу рассматриваемого документа.

Требования потребителей рассмотрены в трех аспектах: удовлетворения запросов основных отраслей народного хозяйства; удовлетворения международным требованиям, сформулированным в коде КН-01 и др. документах; удовлетворения требованиям различных отраслей гидрометеорологии, сформулированным в регламентных документах (кодах, наставлениях, руководствах и др.). Объем наблюдаемых параметров близок к 100, а объем выдаваемой информации примерно в 3—4 раза превышает объем наблюдений, так как одни и те же параметры входят в разные погодные комплексы.

Требования и состав погодных комплексов представлены в РММ специальной таблицей. Там же отражены требования к первичной обработке и выдаче информации. В настоящей статье эти таблицы не приводятся.

В РММ не сформулированы требования к конкретным средствам измерения или другим видам получения информации в предположении, что любые из используемых в наблюдениях средства должны удовлетворять требованиям РММ. Вместе с тем в РММ заложено требование о необходимости использования таких средств измерения, которые бы не только облегчали труд наблюдателя, но и освобождали бы его от непрерывного слежения за погодой, а на станциях, не требующих круглосуточного дежурства, позволяли бы формировать необходимую информацию и передавать ее по каналам связи без присутствия наблюдателя. Такая возможность была подтверждена во время эксперимента на сети Белорусского УГКС, а также специальными исследованиями, выполненными ГГО совместно с Белорусским, Украинским и Казахским УГКС. На основании тех же исследований в РММ сформулированы требования к сети необслуживаемых, частично и полностью обслуживаемых метеорологических станций и принципы их размещения.

II. Подсистема морских метеорологических наблюдений (ПММН)

Массовые морские метеорологические наблюдения основываются на получении информации от судов морского и рыболовного флотов. В основу построения морской подсистемы заложен системный подход, основанный на модульной структуре как измерительных средств, так и математического обеспечения системы. Такой принцип позволяет наращивать степень автоматизации без переделки результатов предшествующих этапов работ по созданию системы. Кроме того, появится возможность оснащать судовые станции различного разряда по единому плану, усложняя техническое

и математическое обеспечение по мере повышения разряда и задач станции.

В РММ на ПММН предусматривается развитие системы в три этапа. На первом этапе должны развертываться работы по всем направлениям, начиная с разработки первичных преобразователей и других измерительных средств и кончая созданием новых методов измерения. Предполагается, что для станций массовой морской сети будут создаваться более простые технические средства получения информации, освобождающие наблюдателя от ручного труда. Здесь целесообразно обеспечить дистанционную регистрацию основных метеорологических элементов при помощи серийных самописцев. Требования, предъявляемые к точности наблюдений для судов, менее жесткие, чем для наземной сети. Это обусловлено тем, что расстояние между станциями меняется и обычно бывает больше 500—600 км. Для НИС и НИСП требования по точности наблюдений соизмеримы с требованиями, предъявляемыми к наземным станциям.

В местах центров действия атмосферы предполагается организация полигонов из буйковых станций на расстоянии между ними около 600 км, что обеспечит обнаружение крупномасштабных вихрей в атмосфере. Точность измерения основных параметров на них может быть существенно ниже, чем на сети наземных станций. При уменьшении расстояния до 300 км точность измерения должна повышаться.

Учитывая, что в настоящее время очень мало данных о статистической структуре метеорологических и актинометрических полей над океанами, заложенные в РММ рекомендации относительно точности измерений, дискретности и периодов осреднения в дальнейшем должны уточняться.

III. Подсистема метеорологических радиолокационных наблюдений (ПМРН)

Эта подсистема предназначена для получения информации о полях облачности и связанных с нею явлений (осадков, гроз, града и других опасных явлений). Она находится в процессе формирования, поэтому научно-организационные принципы ее построения будут совершенствоваться.

Состав информации, получаемой с помощью метеорологических радиолокаторов (МРЛ), заложен в РММ в существенно большем объеме, чем в настоящее время. Сравнительно в скором времени с помощью МРЛ предполагается получать количественные данные об осадках в зоне станции, турбулентности в атмосфере и некоторые другие. Технология получения информации с помощью МРЛ в основном сохраняется, хотя сами МРЛ могут совершенствоваться, т. е. приспосабливаться для выдачи более полного комплекса информации. Для ускорения процесса сбора информации предпола-

гается использование автоматов как непосредственно, так и в сопряжении с ЭВМ.

Учитывая, что одни и те же МРЛ могут быть использованы не только для получения общеметеорологической информации, но и специализированной (для обеспечения взлета и посадки самолетов), технология получения предусматривает разные способы формирования этой информации в зависимости от ее назначения. Получение наиболее полной информации предусмотрено в синоптические сроки, так как эта информация предназначается для выдачи одновременно всем потребителям (АМСГ, БП и Центру режимной обработки). В промежуточные сроки заложено получение информации только об облачных полях и их эволюции, а при штормовой обстановке — и о положении их в пространстве. Передача информации в центры сбора предусматривается особым кодом. Информация об облачности, полученная МРЛ, на АМСГ передается только по ближней зоне.

Существующие принципы размещения МРЛ предполагается сохранить. За оптимальное расстояние между станциями принято расстояние эффективного обнаружения Cb с вероятностью около 50%. В равнинных условиях оно соответствует примерно 300 км. Размещение МРЛ на территории страны предусматривается неравномерным. Они размещаются прежде всего по территории воздушных трасс и в наиболее обжитых районах. Общее число пунктов МРЛ планируется около 300.

IV. Подсистема наземных актинометрических наблюдений (ПНАН)

Обоснование основных принципов, заложенных в РММ на ПНАН, приведено в статье Е. П. Барашковой, помещенной в настоящем сборнике. Коротко эти принципы заключаются в следующем.

Основу подсистемы наземных актинометрических станций должна составлять существующая актинометрическая сеть (217 станций): 74 станции из этого числа (I класс) производят наблюдения по расширенной программе, остальные станции (II класс) производят измерения традиционных актинометрических характеристик. Станции I и II классов выдают режимную информацию. К проведению актинометрических наблюдений по минимальной программе — интегрирование суточных сумм радиации — предполагается привлечь сеть метеорологических станций, выдающих оперативную информацию. Они должны составлять сеть станций III класса. Предусматривается возможность организации станций специального назначения, работающих по заданию различных министерств и ведомств (IV класс).

На станциях I и II классов планируется замена срочных измерений регистрацией с необходимой дискретностью и одновременным или последующим интегрированием часовых сумм. На станциях

III класса предполагается получение интегрированных за сутки сумм радиации.

На первом переходном этапе рационализации актинометрической сети предусмотрено получение режимной актинометрической информации в относительных единицах с помощью регистрирующей актинометрической установки. На этой стадии на станции сохраняется большая доля ручного труда при первичной обработке наблюдений, которая сводится к получению средней часовой ординаты и к перфорации. Перфолента направляется в Центр режимной обработки, где информация обрабатывается, контролируется и выдается в виде таблиц. Одновременно производится запись информации на долговременный носитель для архивации. Таблицы, выдаваемые на ЭВМ фотоофсетным способом, используются при издании ежемесячников.

На следующей стадии технического развития ПНАН предполагается использование средств, позволяющих автоматизировать весь процесс получения информации от измерения до обработки и занесения на технический носитель непосредственно на станции. Для этой цели могут быть применены унифицированные информационные системы, основанные на комплексе средств электроизмерительной системы, в комплекте с мини-ЭВМ или интеграторами, выпускаемыми промышленностью СССР. Предусмотрена ежедневная передача информации по каналам связи заинтересованным организациям. Вся информация за месяц на технических носителях передается в центр сбора данных для пополнения банка режимной информации и обобщения.

Использование унифицированных информационных систем позволит автоматизировать получение не только актинометрической, но и всей метеорологической и геофизической информации, так как позволяет подключить большое число датчиков.

Оборудование станций III класса состоит из пираномера и электрического интегратора. Показания интегратора снимаются раз в сутки визуально. Обработка на станции производится вручную. Результаты включаются в телеграммы погоды и по линиям связи передаются заинтересованным организациям.

V. Подсистема теплобалансовых наблюдений (ПТБН)

Эта подсистема сравнительно новая. Она предназначена для наблюдений за тепловым балансом подстилающей поверхности в разных географических зонах. Основное ее назначение — получать данные о составляющих теплового баланса и их изменении под влиянием различных факторов, в том числе и деятельности человека. Она действует с 1953 г., т. е. имеет уже 25-летний ряд наблюдений. Материалы этих наблюдений в ближайшие годы должны быть подготовлены к изданию и занесены на магнитную ленту.

Данная подсистема создавалась на тех же принципах, что и

ПНАН. Основной задачей ПТБН является слежение за расходом остаточной радиации. Однако в связи с возросшими требованиями потребителей к этой информации (особенно со стороны гидрологов, водохозяйственников, мелиораторов и др.), наряду с основными теплобалансовыми станциями в настоящее время создалась большая сеть специальных теплобалансовых станций. В то же время большинство актинометрических станций по условиям их расположения оказались нерепрезентативными для производства теплобалансовых наблюдений.

Исходя из этого при подготовке РММ на ПТБН были пересмотрены некоторые принципы размещения сети теплобалансовых станций. Принимая за оптимальную густоту сети теплобалансовых станций густоту сети станций по наблюдениям за радиационным балансом (расстояние между станциями примерно равно 150 км), РММ предусматривает создание равномерно распределенной по территории сети, основанной на базе реперных климатических и актинометрических станций и в основном соответствующей требуемой плотности, с учетом сети водобалансовых станций и станций, создаваемых для контроля за изменением теплового баланса почвы в мерзлотных грунтах, в областях переброски стока северных рек и др. Состав теплобалансовых наблюдений на ближайшие годы предполагается без изменений, хотя наряду с градиентными наблюдениями возможно получение информации о составляющих баланса и прямыми методами.

Основным направлением в технологии получения информации предусматривается использование разработанных в ГГО автоматических геофизических станций, позволяющих практически исключить все трудности операции сбора и первичной обработки материалов наблюдений.

Центрами сбора информации предусматривается рассредоточенность станций по региональным центрам. За ГГО остается обобщение в масштабе страны.

VI. Подсистема наблюдений за атмосферным электричеством (ПНАЭ)

Эта подсистема обеспечивает народное хозяйство сведениями об электрических характеристиках атмосферы и об изменениях этих характеристик, вызванных как естественными причинами, так и антропогенным воздействием на атмосферу. Важнейшей задачей подсистемы является получение режимных данных об электричестве атмосферы, в результате чего возможно решение ряда задач: дополнительная индикация содержания примеси в атмосфере (аэрозоли, криптон-85), определение роли атмосферного электричества в биосфере, выявление возможности использования характеристик атмосферного электричества при поисках солнечно-земных связей. Круг задач может быть расширен.

Руководящие методические материалы на ПНАЭ являются первым нормативным документом по построению этой сети. В разделе РММ «Принципы построения» перечислены решаемые ею задачи, приведено функционально-структурное построение подсистемы. Введены понятия об элементах и характеристиках атмосферного электричества. Учитывая, что существующая система обладает рядом недостатков (отсутствуют регулярные наблюдения за электрическими свойствами свободной атмосферы, наблюдения на океанах; пункты размещены почти что только в одной климатической зоне, причем, как правило, в зоне активного строительства; ограничен состав наблюдений; конструктивно-технологическая база системы устарела; обработка информации производится вручную и др.), в разделе «Основные требования к построению подсистемы» изложены требования к построению новой системы, к технологии получения данных, их обработке и использованию на первом этапе. Признано нецелесообразным из-за ограниченности использования данных получать поля электрических характеристик. Задача получения режимных электрических характеристик сводится в основном к задаче получения значений характеристик, типичных для географического района или региона в целом. Рекомендовано строить сеть на базе существующей вышеназванной сети, развивающейся сети фоновых станций и проектируемой медико-метеорологической сети.

Наряду с элементами, за которыми уже проводились наблюдения, предлагается вести наблюдения за двумя элементами, являющимися индикаторами интегрального содержания некоторых примесей в атмосфере: интенсивностью ионообразования и электрической плотностью аэрозоля. На основе анализа общих уравнений, определяющих общий режим атмосферы, предложено размещение пунктов наблюдений за элементами атмосферного электричества. Это основные физико-географические зоны, горные и полярные районы, пары пунктов-городов и их окрестностей, суда погоды, основные медико-метеорологические обсерватории, полигоны активных воздействий — всего около 20 пунктов. Будущие пункты измерений должны представить автоматически действующий измерительный комплекс, обеспечивающий интегрирование данных за 1—3 ч и имеющий запись информации на магнитную ленту. Обработка информации централизованная и автоматизированная. В РММ приводятся некоторые требования к форме представления данных, основы объективного анализа данных и их публикации в виде ежемесячных сборников и обзоров состояния окружающей среды.

VII. Подсистема наблюдений за общим содержанием озона (ПНОО)

Основу подсистемы составляет существующая сеть озонометрических станций (45 станций, 19 из них выдают данные для международного обмена).

Руководящими методическими материалами предусматривается развитие ПНОО, которое обусловлено:

— мониторингом озона для контроля за возможным антропогенным воздействием на защитный озонный слой;

— использованием озона как индикатора (трассера) крупномасштабных синоптических процессов. Предполагается использовать данные об общем содержании озона (ОСО) для анализа и прогноза положения высотных фронтальных зон (ВФЗ) и струйных течений (СТ), поскольку в настоящее время установлено, что зона наибольших градиентов в поле ОСО практически совпадает с ВФЗ (СТ).

Развитие ПНОО предусматривает:

— развитие сети станций с сетевыми озонометрами (предел допустимой погрешности 0,015—0,025 атм-см) на базе аэрологических станций для оперативной информации (до 200 станций);

— работу 20 кустовых станций с наблюдениями по Солнцу, зениту неба, Луне с озонометрами, предел погрешности которых 0,015—0,020 атм-см. Данные этих станций используются для мониторинга озона;

— существование не менее трех станций — методических центров с высокоточными (эталонными) приборами.

Для осуществления этих задач предполагается разработать и организовать выпуск требуемых озонометров.

В заключение следует сказать, что изложенные выше методические требования следует рассматривать как предварительные или как опытные, так как в ряде случаев для их обоснования имелось еще недостаточно материала.

Н. П. Русин

МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ С СЕТИ НАЗЕМНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

При подготовке руководящих методических материалов (РММ), регламентирующих работу сети наземных метеорологических станций, прежде всего необходимо было обосновать ряд методических требований, обусловливающих получение метеорологической информации: сроки наблюдений, интервалы осреднения измеряемых параметров, точности измерения и выдачи информации, выбор целесообразных способов осреднения и др.

Напомним, что под понятием «срок наблюдений», согласно существующим методическим документам [16, 26], принят 10-минутный интервал времени, в течение которого предусматривается получение метеорологической информации о 13 метеорологических элементах, включающих около 90 параметров (характеристик).

Изучение статистической структуры этих параметров свидетельствует о большой их временно́й изменчивости. Вследствие этого достоверность получения данных о каждом из них в срок наблюдения существенно разная.

При обосновании указанных выше методических требований авторы РММ исходили из того, что эти требования должны быть согласованы между собой и основываться на одних и тех же принципах, вытекающих из их временно́й статистической структуры.

Временна́я статистическая структура воздушного потока

В настоящее время существует достаточно большое число экспериментальных исследований временно́й статистической структуры движущегося воздушного потока у земной поверхности, обобщенных в ряде монографий и статей [12, 22, 23, 27—29]. Все они свидетельствуют о том, что спектральная плотность скорости ветра, температуры и других параметров достаточно четко разделяется на два участка: низкочастотный (с периодами часов, суток и более) и высокочастотный (с периодами секунд и минут). Между этими участками расположен минимум спектральной плотности,

характеристика которого определяется как мезометеорологическими условиями, так и микроклиматическими особенностями пункта наблюдений.

На рис. 1, заимствованном из [7], показан общий вид распределения спектральной плотности скорости ветра на высотах 25 и 70 м в зависимости от частоты. По оси ординат отложено произведение спектральной плотности (s) на частоту (f), а по оси абсцисс — сама частота в логарифмическом масштабе. Аналогичного

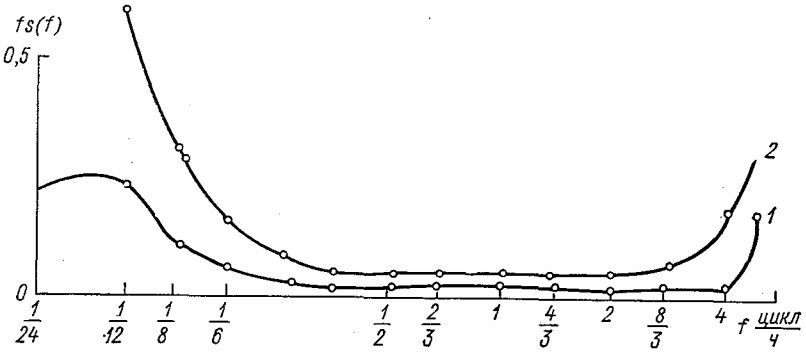


Рис. 1. Спектральная плотность скорости ветра в приземном слое воздуха.

1 — 25 м; *2* — 75 м.

вида спектры приводятся также в работах Вандерховена [32], В. Н. Иванова и Н. Ф. Мазурина [13] и др.

Из рис. 1 видно, насколько различен вклад в изменчивость метеорологических процессов пульсаций различной частоты. При метеорологических наблюдениях в срок выбирается такой период осреднения, который позволял бы исключить часть энергии, приходящей на высокочастотный интервал спектра, т. е. отфильтровать энергетическую часть спектра, превышающего 4—5 циклов в час. Интервал времени 10 мин подходит для такой фильтрации. Оптимальный интервал осреднения, как показано в работе М. И. Юдина [24], может быть определен на основе данных о спектральной плотности воздушного потока.

В практике метеорологических измерений наиболее часто используется арифметическое или экспоненциальное осреднение. При арифметическом осреднении для сглаживания спектра учитывается спектральный множитель

$$\lambda(f, \tau) = \frac{\sin^2 (f\tau/2)}{(f\tau/2)^2}, \qquad (1)$$

при экспоненциальном осреднении учитывается множитель

$$\lambda_э(f, \tau_э) = \frac{1}{1+f^2(\tau_э)^2}. \qquad (2)$$

Значения $(\sin x/x)^2$ для различных $x=f\tau/2$ в формуле (1) следующие:

x	0	0,2	0,5	0,8	1,0	2,0
$(\sin x/x)^2$ . . .	1	0,99	0,92	0,80	0,71	0,21

Если принять за критическую частоту фильтрации частоту, указанную в работе [7], т. е. 5—6 циклов в час, то при $f\tau/2=2$ $(\sin x/x)^2=0{,}2$ или $\tau=4:6\approx 0{,}7$ ч/цикл. Учитывая, что $f=2\pi$, при простом осреднении получим

$$T_0=0{,}7/2\pi\approx 10 \text{ мин.}$$

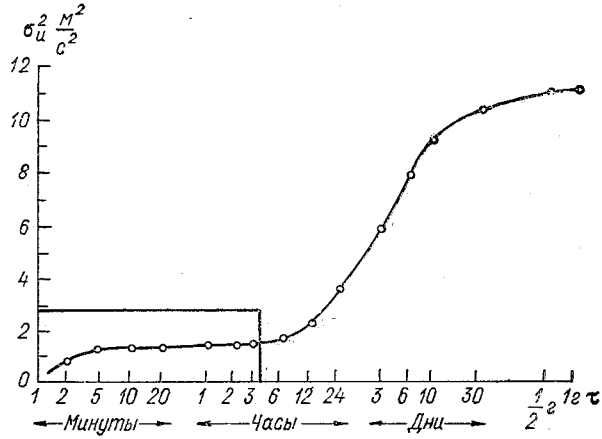


Рис. 2. Зависимость дисперсии скорости ветра от периода осреднения по данным, осредненным за 10 лет.

Для экспоненциального осреднения, обозначив предельную величину фильтрации частот $\frac{1}{1+f^2(\tau_э)^2}$ через ξ, получим, что

$$f\tau_э=\sqrt{1/\xi-1}, \qquad (3)$$

или

$$\tau_э=\frac{1}{f}\sqrt{1/\xi-1}. \qquad (4)$$

Для $\xi=1:5$ ч/цикл $\tau_э=2/f\approx 0{,}4/2\pi\approx 4$ мин.

Целесообразность 10-минутного интервала осреднения вытекает и из работ [1, 11]. Она подтверждается и ходом изменчивости дисперсии пульсаций измеряемых параметров в зависимости от интервала осреднения. На рис. 2 показана зависимость дисперсии скорости ветра на высоте 10 м от τ, полученная В. Н. Ивановым и Н. Ф. Мазуриным и приведенная в работе [17]. Из рис. 2 видно, что σ_u^2 увеличивается по мере увеличения периода осреднения лишь в первые 8—10 мин. В период мезометеорологического минимума σ_u^2 не меняется. Новый рост начинается лишь после окончания

этого периода. Таким образом, при 10-минутном арифметическом или 4-минутном экспоненциальном осреднении отфильтровывается практически вся высокочастотная область спектра, показанная на рис. 1. Более того полученные за указанные периоды времени средние значения измеряемых параметров оказываются репрезентативными не только для данного срока наблюдений, но также и для ближайшего к этому сроку 3-часового интервала.

Наблюдения за спектральной плотностью температуры, ветра и других параметров, проведенные в Белорусском УГКС с помощью автоматических метеорологических станций и обработанные В. Г. Сорокиным, показывают, что период мезометеорологического минимума может быть существенно меньше того, который показан на рис. 1. Поэтому новый рост дисперсии начинается ранее того, который показан на рисунке. Однако даже эти результаты не опровергают выводы о целесообразности выбора 10-минутного интервала осреднения. Они свидетельствуют лишь о том, что продолжительность и характер мезометеорологического минимума в значительной степени определяются условиями эксперимента и микроклиматическими особенностями пункта наблюдений и что экстраполировать данные за срок на ближайшие 3 ч возможно, по-видимому, не во всех случаях [18, 30].

Период осреднения в срок наблюдений должен быть увеличен при необходимости получения предельных значений измеряемого параметра в срок или между сроками. Более длительный период осреднения требуется и в случае получения данных о быстро меняющихся параметрах или параметрах, связанных с высокочастотными колебаниями.

С другой стороны, для получения некоторой специальной информации, например для оценки условий взлета и посадки самолетов, требуется более короткий период осреднения, примерно 2—3 мин. Разумеется, для получения такой информации должны существовать свои методы.

Период между сроками наблюдений определяется временной изменчивостью параметра. Наблюдения за сильно изменчивыми параметрами (особенно за опасными и особо опасными явлениями) должны вестись непрерывно. Период наблюдения за остальными параметрами определяется требованиями потребителей и условиями режимных обобщений. В соответствии с [17] период между сроками колеблется от 1 до 6 ч. Для режимных обобщений, как показано в работе [14], оптимальный период между сроками равен 3 ч. По данным В. Г. Сорокина, такой период должен быть равен 1 ч.

Оценка периода осреднения для инерционного прибора (датчика)

При использовании инерционных датчиков с заданной постоянной времени ($T_ф$) важно оценить оптимальный интервал осреднения (T) измеряемого ими параметра, для которого при выбран-

ном методе осреднения погрешность измерения будет минимальной. Для решения этой задачи С. М. Персии [19] предложил способ, не требующий фильтрации высокочастотной части спектра. Общее решение задачи заключается в следующем. Осреднение по времени результатов измерения параметра $x(\tau)$ в момент времени τ_i представляется в виде

$$z(\tau_i) = \int_0^\infty x(\tau_i - T)\, h(\tau)\, d\tau, \qquad (5)$$

где $h(\tau)$ — весовая функция, характеризующая осреднение процесса. При простом осреднении

$$h(\tau) = 1/\tau \text{ при } 0 \leqslant \tau \leqslant T \text{ и } h(\tau) = 0 \text{ при } \tau > T.$$

При экспоненциальном осреднении $h(\tau) = \frac{1}{T_\Phi} e^{\tau/T_\Phi}$, $\tau \geqslant 0$,

где T_Φ — постоянная времени прибора.

Выбор интервала осреднения для конкретного прибора сводится к отысканию такого периода времени, при котором погрешность измеряемой величины была бы минимальной. Минимум погрешности зависит от способа осреднения функции $h(\tau)$ или ее параметров T_Φ и T, частоты измерения, точности и статистической структуры измеряемого параметра.

В качестве примера использования такого способа на рис. 3 приведена заимствованная из работы С. М. Персина [18] номограмма, построенная им для решения указанного выше комплекса методических задач. Номограмма приведена для наиболее распространенного в метеорологии случая простого осреднения (метода прямоугольников), с равно отстоящими интервалами между отсчетами и корреляционной функции вида

$$R(\tau) = \sigma^2 e^{-a|\tau|}, \qquad (6)$$

где $1/a$ — оптимальный интервал корреляции (интервал, за который корреляционная функция убывает в e раз); σ^2 — дисперсия измеряемой величины. На номограмме по оси ординат отложен безразмерный параметр $\alpha_0 = T_\Phi/T$, умноженный на число измерений m, а по оси абсцисс — другой безразмерный параметр $\beta = aT$, представляющий собой отношение интервала осреднения T к интервалу корреляции, характеризующей временну́ю связность измерений (чем больше β, тем больше связность). Поскольку к номограмме, указанной на рис. 3, придется неоднократно возвращаться, остановимся на ней несколько подробнее.

Как видно из рис. 3, каждому числу отсчетов соответствует оптимальное $\alpha_0 = T_\Phi/T$. Для случаев, когда $\beta = aT < 1$, значение $\alpha_0 \approx 0{,}5$, т. е. оптимальный интервал осреднения

$$T_0 \approx 2T_\Phi m. \qquad (7)$$

При $m = 2$, например, $2T_\Phi/T_0 = 0{,}5$, $T_0 = 4T_\Phi$; при $m = 10$ ($10\,T_\Phi/T_0 = 0{,}5$) $T_0 = 20\,T_\Phi$ и т. д. [10]. При $\beta = aT > 1$, т. е. для про-

цессов, быстро меняющихся во времени или требующих большого периода осреднения, стабильность $\alpha_0 m$ нарушается.

Для таких метеорологических элементов, как ветер, температура и влажность воздуха, интервал корреляции которых составляет несколько десятков секунд, для фиксированного периода осреднения $T_0 = 10$ мин значения $\beta > 1$. Для скорости ветра, например, при интервале корреляции 20—30 с (среднее 25 с) $\beta = 600 : 25 = 24$,

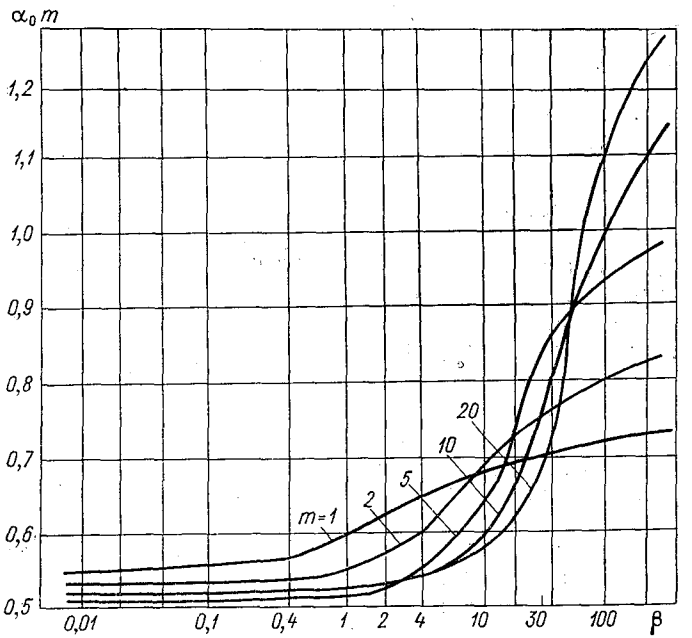


Рис. 3. График для нахождения оптимального периода осреднения по инерционному прибору для заданных значений T_Φ и числа отсчетов m.

т. е. $\alpha_0 m$ при пяти отсчетах равно 0,76 или $\alpha_0 = T_\Phi / T_0 = 0{,}76 : 5 = 0{,}15$, а $T_\Phi = 1{,}5$ мин. При $m = 10$ $\alpha_0 = 0{,}8$, а $T_\Phi \approx 0{,}8$ мин и т. д.

Значения T_0 существенно зависят также от способа осреднения времени между отсчетами внутри интервала осреднения, поэтому при выборе оптимального интервала осреднения и числа отсчетов по прибору в срок наблюдения необходимо одновременно решать весь комплекс методических вопросов, что удобно делать с помощью рассмотренных выше номограмм.

3202207

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
БИБЛИОТЕКА

Оценка оптимального периода осреднения при одном отсчете по инерционному прибору

На сети метеорологических станций в большинстве случаев используются инерционные приборы, по которым в срок измерения производится лишь один отсчет. В методическом отношении важно определить оптимальный период осреднения при использовании такого метода. Решение этой задачи выполнено Р. Л. Каганом. В качестве безразмерного параметра α им используется не T_Φ/T, а обратная величина $\tilde{T}=T/T_\Phi$, названная безразмерным периодом осреднения, а в качестве безразмерного параметра β принято отношение постоянной времени прибора к интервалу корреляции измеряемой величины, т. е. $\beta_1=a\tilde{T}_\Phi$.

Для экспоненциональной функции (6) оптимальное значение безразмерного периода осреднения $\tilde{T}_0$ при измерениях инерционным прибором мало зависит от временно́й связности β_1 (колеблется в пределах от 2,26 при $\beta_1=0{,}1$ до 1,70 при $\beta_1=100$). При $\beta_1>10$ $\tilde{T}_0=1{,}7$, а оптимальный период осреднения $T_0=1{,}7\ T_\Phi$.

Наиболее репрезентативным отсчетом по прибору будет отсчет, произведенный в конце периода, т. е. для термометра с постоянной времени, равной, например, 100 с, не точно в срок наблюдения, а через 170 с, т. е. примерно через 3 мин после него. Для отсчета, произведенного в середине периода осреднения, т. е. через 85 с, ошибка измерения будет почти в 2 раза больше, чем в первом случае. Для случаев, когда $\tilde{T}$ отличается от $\tilde{T}_0$, период осреднения T при одних и тех же β_1 будет существенно зависеть от $\tilde{T}$.

Соотношение между периодом осреднения $T=1{,}7\ T_\Phi$ сохраняется практически таким же не только для случаев с фиксированной постоянной времени прибора, но и для случаев с фиксированным периодом осреднения, когда требуется подбирать оптимальное значение T_Φ, а также для случаев, когда временна́я корреляционная функция измеряемого параметра отличается от экспоненты (6) или аппроксимируется суммой таких экспонентов. Практически это соотношение остается близким к оптимальному для всех случаев, когда $\beta_1>5$ и отсчет по инерционному прибору производится в конце периода осреднения.

При $\beta_1=1...3$ значения $\tilde{T}$ изменяются от 1,96 до 1,75, а при $\beta_1<1$, т. е. для быстро меняющихся процессов, оптимальный период осреднения при единичном отсчете можно принимать равным $2{,}2\ T_\Phi$. Наиболее репрезентативным отсчетом за этот период будет отсчет, сдвинутый от конца интервала на $0{,}3\ T_\Phi$.

Оценка погрешности средних значений измеряемых параметров

Изменчивость дисперсии скорости ветра в зависимости от периода осреднения позволяет судить о погрешности измеряемого параметра за данный интервал осреднения.

Для выбранного интервала частот дисперсия случайных ошибок

$$\sigma^2 = \int_{f_1}^{f_2} S(f)\,df. \qquad (8)$$

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического ($\overline{\sigma_x}$) при нормальном распределении случайных ошибок и отсутствии связности ряда измерений, как известно, равна

$$\overline{\sigma}_c = \sigma/\sqrt{m}, \qquad (9)$$

где σ — случайная погрешность единичного отсчета, а m — число измерений, произведенных за период осреднения.

Для связного ряда измерений

$$\overline{\sigma}_x = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}\sqrt{1+\frac{1}{m}\Sigma\Sigma R_{i,k}}, \qquad (10)$$

где $R_{i,k}$ — коэффициенты корреляции между i и k измерениями.

Наличие связности измерений внутри интервала осреднения даже при небольших значениях коэффициента корреляции приводит к тому, что погрешности, оцененные по формуле (10), могут оказаться больше погрешностей, рассчитанных по формуле (9), в несколько раз. Поэтому для оценки погрешностей измерений в метеорологии обычно используют временные структурные или корреляционные функции, с помощью которых и оценивают средние квадратические погрешности измеряемых величин.

Поскольку для большинства метеорологических параметров корреляционная функция с достаточной точностью аппроксимируется экспонентой вида (6), средняя квадратическая погрешность измерений определяется путем экстраполяции параметра x до ординаты $R(0)$. Случайная ошибка будет тем больше, чем больше $R(0)$ будет отличаться от единицы. В ординатах $Y=\lg R(\tau)$ и $X=\tau$ точки $\lg R(\tau)$ ложатся на прямую и значения $a\tau \lg e$ равны 0,43 $a\tau$. Тангенс угла наклона этой кривой характеризует оптимальное время между отсчетами.

Экстраполируя прямую до пересечения с осью Y, получают величину $\lg R(0)$, разность между которой и нулем соответствует $\overline{\sigma_x}$.

Для инерционных приборов, используемых на массовой сети метеорологических станций, дисперсия случайных ошибок измерений данным прибором ($\sigma_п$) и дисперсия неопределенности ($\sigma_н$), которая оценивается по спектру, сглаженному этим прибором, суммируются, т. е.

$$\sigma^2 = \sigma^2_п + \sigma^2_н. \qquad (11)$$

Суммарная средняя квадратическая погрешность метода в таких случаях будет зависеть прежде всего от постоянной времени прибора. Согласно данным В. Д. Решетова [17, 20], дисперсия неопределенности равна

$$2\sigma^2_{н} = \frac{1}{2} b\left(\frac{1}{3}\ \tau_0\right) - 2\sigma^2, \qquad (12)$$

а суммарная погрешность метода измерения

$$\sigma = \frac{1}{2}\sqrt{2\sigma_{н} + \frac{1}{2} b\left(\frac{1}{3}\ \tau_0\right)}, \qquad (13)$$

где b — временная структурная функция измеряемого параметра, а τ — интервал между отсчетами.

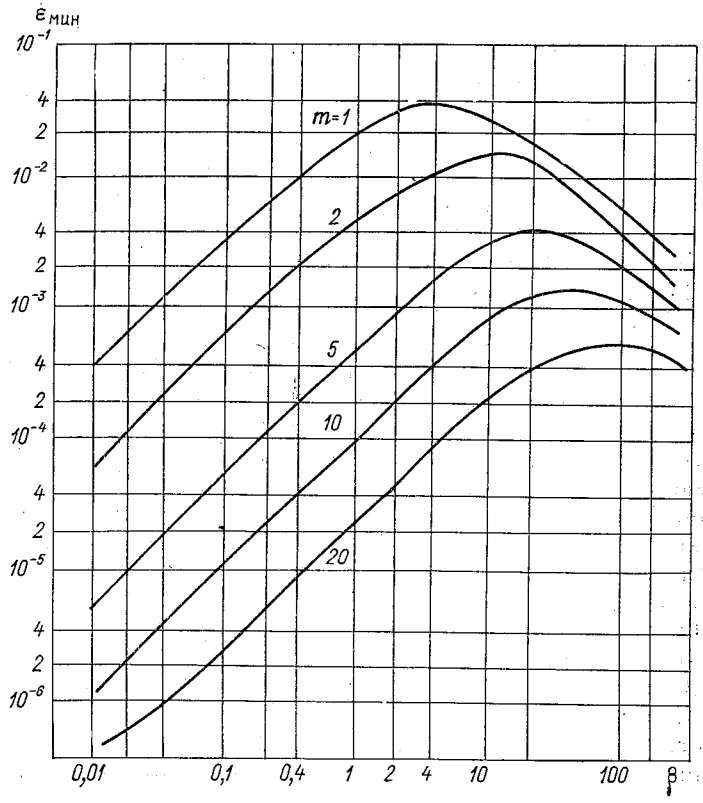


Рис. 4. Минимальные значения меры ошибки $\varepsilon_{мин}$ определения среднего инерционным прибором в зависимости от числа отсчетов m и параметра β.

В случае если одна из погрешностей в формуле (11) существенно меньше другой, ею обычно пренебрегают. В оптимальном же случае, когда $\sigma_{п} = \sigma_{н}$, по данным [17] ошибка метода составляет 30%, а инструментальная ошибка и ошибка неопределенности — около 20% от значения изменчивости в интервале между отсчетами. В случае когда $\sigma_{п}^2 \gg \sigma_{н}^2$, прибор не может обеспечить необходимой точности. Однако такая оценка погрешностей может ис-

пользоваться лишь в качестве первого приближения. При известных или задаваемых постоянной времени прибора $T_ф$ и интервале осреднения T оценку погрешности измерения удобнее и проще производить с помощью номограммы, построенной С. М. Персиным [19], одна из которых приведена на рис. 4.

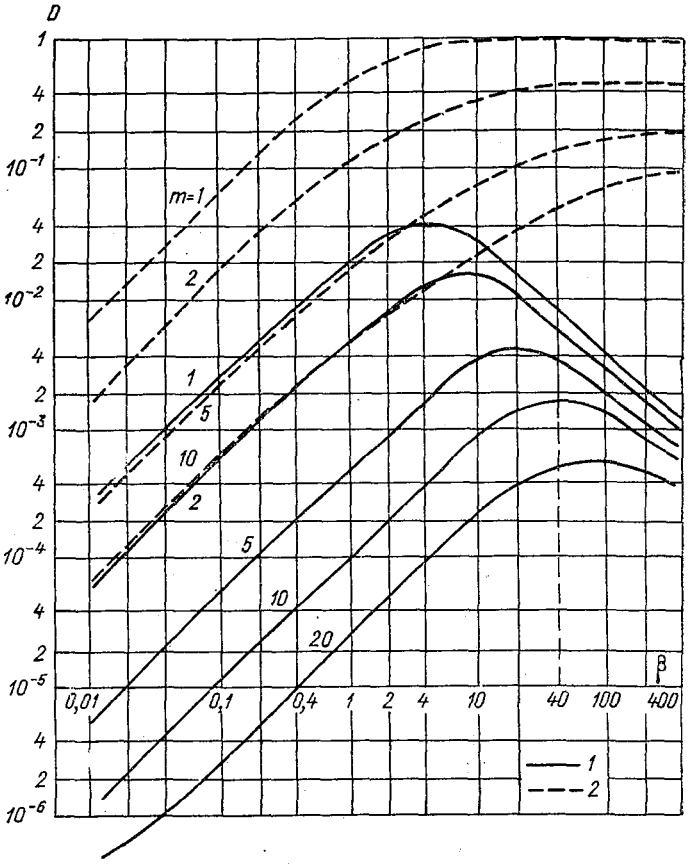


Рис. 5. Погрешность среднего за интервал осреднения T для среднего арифметического из числа отсчетов m.
1 — инерционный, *2* — безынерционный прибор.

Номограмма построена для рассматриваемого выше случая простого осреднения измерений, произведенных инерционным прибором с оптимально выбранной постоянной времени ($T_ф$). По оси ординат на номограмме отложена минимальная мера ошибки $\varepsilon_{мин}$, т. е. отношение дисперсии ошибки к дисперсии измеряемой величины $\varepsilon_{мин}=\delta^2/\sigma^2$, а по оси абсцисс — значение $\beta=aT$.

Определение минимальной погрешности с помощью такой номограммы сводится к нахождению значения β указанным выше способом при заданном числе измерений m. Для рассмотренного выше примера осредненной за 10 мин скорости ветра ($\beta=24$ и $m=5$) $\varepsilon_{мин}=6{,}5\%$.

Учитывая, что средняя квадратическая относительная погрешность метода измерения скорости ветра $\overline{\sigma_{макс}}=\frac{\sigma_v}{v}\frac{\delta_v}{\sigma_v}$ и что

Таблица 1

Зависимость меры ошибки ε от $\tilde{T}$ и β_1

$\tilde{T}$	β_1						
	1	2	5	10	20	50	100
0	0,500	0,667	0,833	0,909	0,952	0,980	0,991
1	0,075	0,080	0,060	0,038	0,021	0,009	0,005
1,6	0,034	0,040	0,032	0,020	0,011	0,005	0,002
1,8	0,035	0,043	0,033	0,021	0,012	0,005	0,002
2	0,041	0,049	0,036	0,027	0,012	0,005	0,003
3	0,105	0,099	0,060	0,035	0,019	0,008	0,004
4	0,178	0,148	0,082	0,046	0,024	0,010	0,005
5	0,238	0,184	0,098	0,054	0,027	0,012	0,006

коэффициент вариации c_v для средней скорости ветра равен 0,3, получим $\overline{\sigma_{макс}}=0{,}3\frac{\delta_v}{\sigma_v}\approx 2\%$. При заданной максимальной погрешности, равной 2 $\overline{\sigma_{макс}}$, получим максимально допустимую суммарную погрешность измерения скорости ветра, равную 4%. Погрешность среднего можно определить и с помощью номограммы, построенной С. М. Персиным (рис. 5), как корень квадратный из дисперсии ошибки D.

При использовании на сети станций инерционных приборов с разовым отсчетом мера ошибки (ε) замены средней по периоду (T) мгновенным отсчетом по прибору, т. е. относительная ошибка метода, равная отношению дисперсии ошибки δ^2 к дисперсии измеряемой величины (σ^2), может быть определена по формуле Р. Л. Кагана:

$$\varepsilon^2(\beta_1\tilde{T})=\left[1-\frac{2}{\tilde{T}}(1-e^{-\tilde{T}})\right]\frac{1}{1+\beta_1}-\frac{2}{\tilde{T}}e^{-\tilde{T}}\times$$

$$\times\frac{1-e^{-(1-\beta_1)\tilde{T}}}{1-\beta_1}-\frac{2}{\beta^2_1\tilde{T}^2}\left[1-(1-\beta_1\tilde{T})e^{-\beta_1\tilde{T}}\right]. \qquad (14)$$

В табл. 1 приведено значение меры ошибки ε^2 для безынерционного прибора ($\tilde{T}=0$) и инерционных приборов с разной постоянной времени для наиболее характерных случаев сетевых метеорологических измерений, когда $\tilde{T}=T/T_\Phi>1$ и $\beta_1>1$. Из таблицы видно, что с увеличением временной связности измеряемого параметра, т. е. с увеличением β_1, при одинаковых значениях $\tilde{T}$ мера

ошибки для инерционных приборов уменьшается, иными словами достоверность единичного отсчета возрастает. Относительная ошибка увеличивается по мере отклонения $\bar{T}$ от T_0 от 0 до 1,7 в ту и другую сторону. Максимальные значения ε^2 при разных $\bar{T}$ приходятся на разные β_1 и лежат в интервалах 0,5...5,5. Минимальные же ошибки определения средних величин, при оптимально выбранном периоде осреднения, имеют наибольшее значение при $\beta_1 \approx 1$, поэтому определение среднего по единичному отсчету в условиях, близких к 1, будет менее точным.

Выбор оптимальной постоянной времени

Для получения минимальной погрешности измерения большое значение имеет правильный выбор постоянной времени прибора (T_Φ). Это особенно важно при использовании инерционных приборов с разовым отсчетом.

При использовании номограммы, приведенной на рис. 3, или аналогичных номограмм, указанных в работе [19], оптимальная постоянная времени определяется для заданного числа измерений и β из отношения

$$T_\Phi = \alpha_0 m / T_0.$$

Так, для рассматриваемого выше примера измерения средней скорости ветра за 10 мин ($\beta = 0{,}24$, $\alpha_0 = 0{,}71$ для $m = 1$ и $\alpha_0 = 1{,}53$ для $m = 5$) получим $T_\Phi = 0{,}7\ T_0$ для $m = 1$ и $T_\Phi = 0{,}18\ T_0$ для $m = 5$.

Следует отметить, что за счет применения инерционных приборов средняя квадратическая погрешность измеряемой величины может быть снижена в несколько раз по сравнению с $\sigma_{макс}$ для безынерционных или малоинерционных приборов. Выбор оптимального T_Φ в зависимости от безразмерного периода осреднения $\bar{T}$ и параметра β_1 может быть определен и с помощью табл. 1.

Выбор оптимального числа измерений за период осреднения

С помощью изложенных выше приемов может быть решена и еще одна важная методическая задача — выбор оптимального числа измерений (отсчетов) за требуемый интервал осреднения.

Для прибора с малой инерцией или безынерционного прибора выбор числа измерений в срок и оптимальное время между отсчетами может быть установлен, исходя из интервала корреляции $R(\tau)$, который принимают примерно равным 0,3, т. е. равным интервалу, за который коэффициент корреляции убывает в e раз. Для инерционных приборов с известной или заданной постоянной времени и в заданном интервале осреднения оптимальное число измерений может быть выбрано с помощью рекомендуемых в работах [18, 19] номограмм и таблиц, в частности с помощью номо-

граммы, приведенной на рис. 4, по заданной минимальной погрешности средней величины, для которой определяется число измерений. Более того при разработке прибора может быть подобрана такая постоянная времени, при которой значение параметра с заданной точностью можно получить, произведя лишь одно измерение в срок. В этом случае необходимо определить оптимальное время для снятия отсчета по прибору.

Таблица 2

Значение $\varepsilon_{мин}=\delta^2/\sigma^2\alpha_0=T_ф/T$ и $T_ф$ в зависимости от интервала осреднения T_o и отношения интервала осреднения к интервалу корреляции процесса $\beta=aT_o$

β	Характеристика	Число измерений (m)			
		1	2	5	10
0,1	$\varepsilon_{мин}$	$2{,}977\cdot10^{-3}$	$5{,}401\cdot10^{-4}$	$5{,}908\cdot10^{-5}$	$1{,}248\cdot10^{-5}$
	α_o	$5{,}40\cdot10^{-1}$	$2{,}60\cdot10^{-1}$	$1{,}02\cdot10^{-1}$	$5{,}20\cdot10^{-2}$
	$T_ф$	$0{,}54T_o$	$0{,}13T_o$	$0{,}02T_o$	$0{,}005T_o$
1	$\varepsilon_{мин}$	$2{,}458\cdot10^{-2}$	$4{,}937\cdot10^{-3}$	$5{,}725\cdot10^{-4}$	$1{,}220\cdot10^{-4}$
	α_o	$5{,}60\cdot10^{-1}$	$2{,}66\cdot10^{-1}$	$1{,}04\cdot10^{-1}$	$5{,}20\cdot10^{-2}$
	$T_ф$	$0{,}56T_o$	$0{,}13T_o$	$0{,}02T_o$	$0{,}005T_o$
4	$\varepsilon_{мин}$	$4{,}009\cdot10^{-2}$	$1{,}264\cdot10^{-2}$	$1{,}954\cdot10^{-3}$	$4{,}507\cdot10^{-4}$
	α_o	$6{,}30\cdot10^{-1}$	$2{,}90\cdot10^{-1}$	$1{,}10\cdot10^{-1}$	$5{,}40\cdot10^{-2}$
	$T_ф$	$0{,}3T_o$	$0{,}14T_o$	$0{,}022T_o$	$0{,}005T_o$
10	$\varepsilon_{мин}$	$2{,}779\cdot10^{-2}$	$1{,}475\cdot10^{-2}$	$3{,}578\cdot10^{-3}$	$9{,}530\cdot10^{-4}$
	α_o	$6{,}80\cdot10^{-1}$	$3{,}32\cdot10^{-1}$	$1{,}26\cdot10^{-1}$	$6{,}00\cdot10^{-2}$
	$T_ф$	$0{,}67T_o$	$0{,}17T_o$	$0{,}025T_o$	$0{,}006T_o$
30	$\varepsilon_{мин}$	$1{,}161\cdot10^{-2}$	$8{,}836\cdot10^{-3}$	$4{,}220\cdot10^{-3}$	$1{,}658\cdot10^{-3}$
	α_o	$7{,}10\cdot10^{-1}$	$3{,}80\cdot10^{-1}$	$1{,}60\cdot10^{-1}$	$7{,}80\cdot10^{-2}$
	$T_ф$	$0{,}71T_o$	$0{,}19T_o$	$0{,}032T_o$	$0{,}008T_o$
100	$\varepsilon_{мин}$	$3{,}748\cdot10^{-3}$	$3{,}198\cdot10^{-3}$	$2{,}137\cdot10^{-3}$	$1{,}314\cdot10^{-3}$
	α_o	$7{,}20\cdot10^{-1}$	$4{,}00\cdot10^{-1}$	$1{,}90\cdot10^{-1}$	$1{,}06\cdot10^{-1}$
	$T_ф$	$0{,}072T_o$	$0{,}20T_o$	$0{,}038T_o$	$0{,}011T_o$

Взаимосвязь методических характеристик (T_o, $T_ф$, ε, α, β и m) позволяет получать их значения при разных сочетаниях $\beta=aT$ и числа измерений m, используя и табл. 2 [18]. Промежуточные значения нужных характеристик можно находить с помощью соответствующих графиков, построенных по данным этой таблицы.

Определение экстремальных значений наблюдаемых параметров

Для ряда метеорологических элементов, помимо средних значений, измеряемых в срок наблюдений, или сумм за период между сроками, определяются их экстремальные значения (абсолютные $H_{макс}$ или кратковременные интегральные значения выбросов, превышающие среднее значение параметра $h_{макс}$). Интегральные

выбросы, как правило, определяются за несколько секунд (для скорости ветра, например, за 3 с). Оба вида экстремумов могут быть определены с помощью приборов и расчетным путем.

В первом случае они могут фиксироваться на ленте или оцениваться визуально по шкале прибора, во втором — определяться в процессе первичной или климатологической обработки. Абсолютные значения экстремумов определяются по максимальному отклонению выбросов от среднего значения. Его определение трудностей не вызывает. Для получения распределения $h_{макс}$ Л. В. Анискин и С. М. Персин [2] предлагают использовать известную формулу Г. Крамера, которая имеет вид

$$\bar{h}_{макс} = \frac{\bar{H}_{макс}}{\sigma_x} = \sqrt{2 \ln \mu(T)} + \frac{0{,}577}{\sqrt{2 \ln \mu(T)}}, \qquad (15)$$

где $\mu(T)$ — безразмерный параметр, равный числу пересечений выбросами среднего значения измеряемого параметра за период осреднения T. Константа 0,577 характеризует математическое ожидание $h_{макс}$. Для рассматриваемого выше примера (средней за 10 мин скорости ветра ($\beta=24$)) $\mu(T) \approx 7$, т. е. выбросы длительностью 3 с в среднем 7 раз пересекают средний уровень. Сама же величина $h_{макс} \approx 2{,}3...2{,}5$, т. е. в 2,3—2,5 раза превышает скорости ветра. Несколько иначе решается задача выбора $h_{макс}$ с помощью инерционного прибора за период между сроками наблюдений. Решение этой задачи для осредняющих и сглаживающих приборов изложено в работе [2, 19]. Там же приведен способ определения максимума по дискретным отсчетам и дана оценка погрешностей измеряемых величин.

Оптимальное время снятия отсчета по инерционному прибору и реальная погрешность дискретного измерения температуры, влажности воздуха и атмосферного давления

Выше рассматривались способы решения методических задач, связанных с обоснованием $T_о$, $T_ф$, $\varepsilon_{мин}$ и $\alpha_о$ при получении средней скорости ветра. Если такое осреднение производится самим прибором, то нет необходимости выбирать оптимальное число отсчетов за данный интервал осреднения, а достаточно задать суммарную погрешность измеряемой величины. Остальные параметры ($T_ф$, $\varepsilon_{мин}$, $\alpha_о$) должны определяться разработчиками приборов. Если же период осреднения прибором неизвестен или задается наблюдателю, то для получения средней за 10 мин предварительно должны быть определены все указанные выше характеристики.

При необходимости производства измерений по инерционному прибору важное значение имеет время снятия отсчета по нему. Как следует из формулы (7), при $m=1$ период осреднения прибором $T=(1{,}7...2)\ T_ф$, т. е. при стационарных условиях отсчет по прибору целесообразнее всего снимать через интервал времени, примерно равный удвоенному значению его постоянной времени,

например по термометру, $T_ф$ которого равно 120 с в срок наблюдения 13 ч, отсчет следует производить в 13 ч 4 мин. При более точном определении оптимального времени разового измерения по инерционному прибору, как показано в работах Д. Даттона [25], Л. Л. Брагинской, Р. Л. Кагана [4—6] и др., следует учитывать также разность показаний прибора на концах периода осреднения, т. е. корреляционную функцию процесса.

Таблица 3

Средняя квадратическая ошибка (° С) определения средней за 10 мин температуры воздуха термометрами с разной инерцией, помещенными в психрометрическую будку

Условие	$T_ф$ мин		
	150	200	300
Конвекция	0,16	0,12	0,08
Изотермия	0,05	0,04	0,03
Инверсия	0,03	0,02	0,02

При периоде осреднения, намного превышающем постоянную времени прибора, полученное по нему значение параметра (x) при разовом отсчете практически совпадает с действительным средним, полученным по безынерционному прибору. При интервалах осреднения, сравниваемых с постоянной времени приборов, ошибка будет зависеть от разности показаний на концах интервала осреднения, т. е. в значительной степени будет определяться условиями наблюдений.

По данным Брагинской [4], исследовавшей временну́ю корреляционную функцию температуры воздуха термометрами с разной постоянной времени, в том числе и малоинерционными, оптимальный интервал корреляции для малоинерционных термометров при устойчивой стратификации атмосферы у земной поверхности составляет 5—6 с, а при неустойчивой— 10—30 с. Средние квадратические погрешности измерения при таких интервалах корреляции варьировали в пределах 0,1—0,8° С над поверхностью суши и 0,05—0,5° С над водной поверхностью.

При помещении малоинерционного термометра в психрометрическую будку корреляционные функции затухают примерно в 4—5 раз медленнее, чем вне будки. На основе результатов исследований Брагинской [5] были оценены погрешности средних значений температуры воздуха за 10-минутный интервал осреднения в естественных условиях для термометров с различной постоянной времени в зависимости от стратификации в приземном слое воздуха (табл. 3). Максимальная же погрешность единичного измерения такими термометрами при неустойчивой стратификации в летний полдень достигает 1° С.

Аналогичные погрешности средних значений температуры воз-

духа на высоте 2 м (σ) в зависимости от числа измерений m за осредняемый интервал времени для условий сильной конвекции были получены Л. Р. Струзером и автором для аспирационных психрометров:

m	1	2	3	5	10	20	50
σ °C	0,52	0,47	0,39	0,33	0,29	0,17	0,11

При измерении температуры инерционным термометром, как указывалось выше, существенное значение имеет выбор оптимального времени снятия отсчета. Оптимальным временем для снятия единичного отсчета является время, отнесенное после срока наблюдения на величину, равную не 2,0, а 1,7 $T_ф$, т. е. для получения наиболее правильного значения температуры, например, по ртутному термометру с инерцией 200 с точно в 13 ч отсчет следует производить в 13 ч 3 мин.

Данных о временно́й статистической структуре параметров влажности воздуха меньше, чем данных о структуре температуры и ветра. Бо́льшая часть таких исследований проведена над водными поверхностями [31]. Некоторые результаты исследований подобного рода над поверхностью суши, выполненные Брагинской, публикуются в настоящем сборнике. В результате проведенных исследований установлено, что, как и для температуры, временна́я структурная функция пульсаций упругости водяного пара хорошо аппроксимируется экспонентой вида, приведенного в формуле (6). Интервал корреляции, по данным Брагинской, меняется от 3 до 11 с, т. е. близок к интервалу корреляции для температуры воздуха при устойчивой и безразличной стратификации. При неустойчивой стратификации он в 2—3 раза больше.

На основании этого можно сделать вывод, что для периода осреднения 10 мин при таком интервале корреляции мера ошибки измерения упругости водяного пара (ε) при использовании безынерционного или малоинерционного прибора в условиях сильной конвекции (в летний полдень) в зависимости от числа отсчетов меняется от 0,6—0,7 гПа при двух отсчетах до 0,2 гПа при 30 отсчетах. При использовании современного психрометрического метода и ртутных термометров с инерцией 150—200 с мера ошибки осредненного за 10 мин значения упругости водяного пара составит около 0,1—0,2 гПа, а сама средняя квадратическая погрешность при одном-двух измерениях составит 0,4—0,5 гПа. Ниже приводятся средние квадратические погрешности (σ) для средней упругости водяного пара при различном числе отсчетов психрометра m:

m	1	2	3	5	10	20
σ гПа	0,55	0,46	0,41	0,32	0,24	0,22

Эти данные согласуются с данными оценок погрешностей измерения влажности аспирационными психрометрами, которые были получены при сравнении отдельных приборов с групповым эталоном в естественных условиях при наличии сильной конвекции [3].

Учитывая, что максимальные отклонения мгновенных значений упругости водяного пара в течение 10-минутного интервала могут отличаться от среднего ее значения в летний период не более чем на 1—2 гПа, указанное выше значение погрешности измерения упругости водяного пара принятым в настоящее время методом при оптимально выбранном времени отсчета термометров (через 3—4 мин после срока) в теплый период составит в среднем 2—4%

Таблица 4

Погрешность определения относительной влажности воздуха (%) в зависимости от погрешности определения точки росы (Δt) при разных температурах воздуха

Относительная влажность, %	Δt °С	Температура воздуха, °С						
		—40	—30	—20	—10	0	10	20
100	0,5	6	5	4	4	3	3	3
	1,0	11	10	9	8	7	6	6
80	0,5	5	4	4	3	3	3	2
	1,0	9	8	6	6	6	5	5
60	0,5	4	3	3	2	2	2	2
	1,0	—	6	5	5	4	4	4
40	0,5	2	2	2	2	1	1	1
	1,0	—	4	3	3	3	3	2

от измеряемой величины, а погрешность измерения относительной влажности не превысит 2—3%. В условиях слабой конвекции, изотермии или инверсии в приземном слое воздуха эти погрешности будут значительно меньше.

В холодный период года психрометрический метод не может обеспечить такой точности измерения влажности воздуха, поэтому наиболее приемлемым методом является метод температуры точки росы (t).

Погрешность измерения упругости водяного пара (Δe) и относительной влажности воздуха (Δr) этим методом можно оценить, проинтегрировав известную формулу Магнуса, используемую в психрометрических таблицах для получения максимальных упругостей водяного пара, как это сделано в работе [3]:

$$\Delta e = 0{,}073\, e \frac{\Delta t}{(1+t/241{,}9)^2} = k(t) e \Delta t, \qquad (16)$$

где Δt — погрешность определения температуры точки росы.

Зависимость $k(t) = \dfrac{0{,}073}{(1+t/241{,}9)^2}$ от температуры точки росы выглядит следующим образом:

t °С	—30	—20	—10	0	10	20	30
$k(t)$	0,095	0,087	0,079	0,073	0,067	0,062	0,058

В случае небольших интервалов t для оценки погрешности измерения относительной влажности воздуха методом точки росы

при разных температурах воздуха можно пользоваться простой линейной зависимостью вида

$$\Delta r = r\frac{\Delta e}{e} = k(t)r\Delta t, \qquad (17)$$

задаваясь соответствующей величиной $k(t)$.

Зависимость погрешности относительной влажности воздуха от погрешности определения точки росы представлена в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что при высоких температурах воздуха погрешность измерения $t = 0{,}5°$ С обеспечит получение относительной влажности примерно с той же точностью, что и психрометрический метод. При низких температурах такая точность измерения температуры точки росы уже недостаточна.

Для того чтобы зимой обеспечить такую же точность измерения влажности воздуха, что и летом, погрешность измерения точки росы не должна превышать 0,2° С.

Суммарная погрешность единичного измерения атмосферного давления ртутным чашечным барометром, которую предполагается использовать в будущем и в дистанционной системе гидрометеорологических наблюдений (ДСГИ), составляет в среднем 0,10—0,12 гПа и не превышает 0,25 гПа.

Методические требования, заложенные в РММ

Основные методические требования к метеорологической информации, получаемой от массовой сети наземных метеорологических станций, помещены в РММ и здесь не приводятся. Эти требования составлены не только с учетом рассмотренных выше соображений, но и с учетом практической целесообразности и соответствия их требованиям, предъявляемым основным потребителем метеорологической информации и требованиям контроля за состоянием природной среды [15, 17, 21]. При составлении требований учитывалось также, что технические средства получения информации позволят обеспечить сочетание всех этих условий.

Способы и средства получения метеорологической информации не регламентируются РММ. В них регламентируются только методические требования к средствам измерения. Одним из основных требований является обеспечение предельной погрешности выдаваемой информации, которая согласно [9] задана в РММ в виде допустимой суммарной погрешности измерения. Эта ошибка согласно [8] включает допустимые систематическую и случайную составляющие суммарной погрешности. Допустимые значения систематической составляющей характеризуют технические возможности прибора. Они задаются нижним и верхним интервалами, в которых должны находиться эти погрешности с вероятностью 0,95%. Допустимые значения случайной составляющей заданы в виде удвоенного среднего квадратического отклонения (2σ) осредненной величины при стандартной аппроксимации функции распределения ошибок.

Если половина систематической составляющей меньше или рав-

на 0,8 значения случайной составляющей суммарной погрешности, то ею пренебрегают и тогда в РММ значение «точность» параметра задана лишь одной случайной ошибкой. Наоборот, если половина систематической составляющей больше или равна 0,8 случайной составляющей, пренебрегают случайной погрешностью. Для параметров ветра, например, при малых значениях которого относительная погрешность велика, а при больших мала, суммарная погрешность задана в аддитивно-мультипликативной форме: $\widetilde{\sigma_v} = \pm(0{,}5 \pm 0{,}05v)$. Для параметров, точность представления информации которых задана потребителем в виде относительной ошибки, допустимая суммарная погрешность приведена в РММ в мультипликативной форме, например для метеорологической видимости ($S_м$) $\sigma_{S_м} = \pm 0{,}4 S_м$.

Поскольку методические требования потребителей к одному и тому же наблюдаемому на станции метеорологическому параметру разные, в РММ они приведены для потребителей, требующих наиболее точной информации. Такими потребителями являются в основном гидрометеорологические прогностические органы. У других потребителей требования к метеорологической информации менее жесткие и удовлетворяются автоматически.

К сожалению, в некоторых случаях существующие в настоящее время технические средства не могут обеспечить получение метеорологической информации, удовлетворяющей заданным методическим требованиям, например параметры влажности воздуха в холодное время года. В таком случае они не могут соответствовать требованиям РММ и могут допускаться к использованию на сети станций в качестве временных.

Для большой группы метеорологических параметров, наблюдаемых в настоящее время визуально, методические требования в РММ приведены в условной форме и будут уточняться в последующем по мере перевода этих наблюдений на инструментальную основу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев И. Д. Выбор оптимального интервала осреднения скорости ветра.— Труды ГГО, 1958, вып. 83, с. 20—24.
2. Анискин Л. В., Персин С. М. О погрешностях измерения экстремальных значений случайного процесса.— Труды ГГО, 1972, вып. 292, с. 12—25.
3. Беспалов Д. П., Школяр Л. Ф. Методы оценки погрешностей определения характеристик влажности воздуха.— См. наст. сб.
4. Брагинская Л. Л. Об учете инерции прибора при измерениях температуры воздуха.— Мет. и гидрол., 1972, № 7, с. 94—99.
5. Брагинская Л. Л., Каган Р. Л. О точности определения средних величин по мгновенным отсчетам инерционных приборов.— Труды ГГО, 1965, вып. 174, с. 3—20.
6. Брагинская Л. Л., Каган Р. Л. О влиянии инерции прибора на точность метеорологических измерений.— Труды ГГО, 1966, вып. 191, с. 72—76.
7. Бызова Н. Л., Иванов В. Н., Морозов С. А. Турбулентные характеристики скорости ветра и температуры в пограничном слое атмосферы.— В кн.: Атмосферная турбулентность и распространение радиоволн.— М.: Наука, 1967, с. 76—103.
8. ГОСТ 8.009—72. Государственная система обеспечения единства измерений.— М.: Изд-во стандартов, 1976.

9. ГОСТ 8.011—72. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений.— М.: Изд-во стандартов, 1972.

10. Грушин С. И., Персии С. М. К вопросу о погрешности измерения средних значений инерционным прибором.— Труды ГГО, 1971, вып. 259, с. 3—13.

11. Джод Мин Юй. Оптимальный интервал осреднения при измерениях метеорологических полей.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1966, № 5, с. 486—493.

12. Зубковский С. Л. Частотные колебания пульсаций горизонтальной компонента скорости ветра в приземном слое воздуха.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1962, № 10, с. 1425—1433.

13. Иванов В. Н., Мазурин Н. Ф. Законы распределения пульсаций скорости ветра в нижнем 300-метровом слое атмосферы.— Труды ИЭМ, 1972, вып. 27, с. 25—36.

14. Каган Р. Л., Дроздовская П. П. Об интерполяции метеорологических элементов во времени.— Труды ГГО, 1966, вып. 194.

15. Наблюдения на гидрометеорологической сети СССР. Определение понятий гидрометеорологических элементов и оценка точности наблюдений /Под ред. О. А. Городецкого.— Л.: Гидрометеоиздат, 1970.

16. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Метеорологические наблюдения на станциях.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969.— 306 с.

17. О составе, точности и пространственно-временном разрешении информации, необходимой для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и службы гидрометеорологических прогнозов/ Под. ред. М. А. Петросянца, В. Д. Решетова.—Л.: Гидрометеоиздат, 1975.— 217 с.

18. Персин С. М. Анализ погрешности нахождения средних по результатам ряда дискретных опросов инерционного прибора.— Труды ГГО, 1971, вып. 259, с. 149—176.

19. Персии С. М. Основы теории и проектирования автоматических измерительных систем.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976.— 320 с.

20. Решетов В. Д. Изменчивость метеорологических элементов в атмосфере.— Л.: Гидрометеоиздат, 1973.— 215 с.

21. Технический регламент Всемирной метеорологической организации.— ВМО № 49. 1971.

22. Торочков В. Ю., Суражский Д. Я., Свейко А. А. Частотный анализ работы ветроизмерительных приборов.— М.: Гидрометеоиздат, 1964.

23. Цванг Л. Р. Измерение частотных спектров температурных пульсаций в приземном слое атмосферы.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1960, № 8, с. 1252—1262.

24. Юдин М. И. Вопросы методики измерения в связи с закономерностями пульсаций метеорологических элементов.— Труды ГГО, 1972, вып. 292, с. 184—188.

25. Dutton I. A. Space and time responce of airborne radiation sensors for the measurement of graund variables.— J. Jeophys. res., 1962, vol. 67, N 1.

26. Guide to meteorological instrument and observing practices.— 4th. ed. WMO, N 8. TP. 3. Geneva, 1975.

27. McBeean L. A. Statistics of wind temperature and humidity fluctuations.— Bondary Layer. Meteorol., 1971, vol. 1, N 4, p. 438—457.

28. Miyake M., McBeean G. On the measurement of vertical humidity transport over land.— Bondary Layer. Meteorol., 1970, vol. 1, N 1, p. 24—34.

29. Monji W., Businger J. A. Stability dependence of temperature, humidity and vertical wind velocity variances in the atmospheric. Surface layer.— J. Meteorol. Soc. Japan, 1972, S. 11, 50, N 2, p. 122—130.

30. Högström. Spectral gap in surface layer measurements.— J. Atmos. Sci., 1975, vol. 32, N 2, p. 122—130.

31. Phelps G., Pond S. Spectres of the temperature and humidity fluctuations and of fluxes of moisture and sensible heat in the marine bondary layer.— J. Atmos. Sci., 1971, vol. 28, N 6. p. 918—928.

32. Van der Hoven. Power spectrum of horisontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 90 cycles per hour.— J. Meteorol. 1957, vol. 14, N 2, p. 160—167.

ки через погрешности какой-либо одной, приняв эту характеристику за основную. В качестве такой характеристики целесообразно принять либо упругость водяного пара, либо температуру точки росы.

В метрологических построениях системы единиц для измерения влажности воздуха в качестве основной характеристики для получения контрольных значений влажности установлено отношение смеси, которое связано с упругостью водяного пара соотношением:

$$r = \frac{0{,}621\,98\,e}{p-e}, \qquad (5)$$

где p — атмосферное давление.

Соотношение (5) без труда позволяет переходить от погрешности Δe к погрешности Δr и обратно, при этом погрешность Δp практически не имеет существенного значения, поскольку при обычных метеорологических условиях (в наземных измерениях) величина p существенно больше e (на порядок и более). Поэтому для оценки различных методов измерения влажности воздуха удобнее применять выражение погрешности упругости водяного пара, которая связана и с остальными характеристиками достаточно простыми соотношениями.

Из соотношений (1) — (4) получим выражения погрешностей для f, d и τ через погрешность Δe. Для этого запишем погрешность ΔE в зависимости от Δt. Для практических расчетов ΔE нет необходимости пользоваться точной зависимостью E от t в виде (2), а достаточно приближенной формулы Магнуса

$$E = E_0 \cdot 10^{\frac{7{,}63t}{241{,}9+t}}. \qquad (6)$$

где $E_0 = 6{,}11$ гПа.

Логарифмируя и дифференцируя (6), получим

$$\frac{dE}{E} = 0{,}073 \frac{dt}{(1+\frac{t}{241{,}9})^2}. \qquad (7)$$

Из (7) получаем

$$\Delta E = 0{,}073\, E \frac{\Delta t}{(1+\frac{t}{241{,}9})^2}. \qquad (8)$$

Из (4) и (8) получаем

$$\Delta e = 0{,}073\, e \frac{\Delta\tau}{(1+\frac{\tau}{241{,}9})^2} = k(\tau)\, e \Delta\tau, \qquad (9)$$

где

$$k(\tau) = \frac{0{,}073}{(1+\frac{\tau}{241{,}9})^2}.$$

Для сравнительно узких интервалов τ можно пользоваться простой линейной зависимостью $\Delta e/e$ от $\Delta\tau$, выбирая множитель k из приведенных ниже данных:

τ °C	—30	—20	—10	0	10	20	30
k	0,095	0,087	0,079	0,073	0,067	0,062	0,058

Отсюда следует, что погрешность в определении точки росы в 1 °С обусловливает относительную погрешность в определении упругости водяного пара от 9,5% значения упругости при температуре —30 °С до 5,8% при температуре +30 °С. При этом погрешность в определении упругости водяного пара при относительной влажности 70% будет изменяться от 0,03 гПа при температуре воздуха —30 °С (e=0,357 гПа) до 1,79 гПа при температуре воздуха +30 °С (e= =29,8 гПа). При уменьшении $\Delta\tau$ соответственно уменьшается и погрешность e. Для обеспечения погрешности измерения упругости водяного пара в 1% от ее значения погрешностью около 0,2 °С.

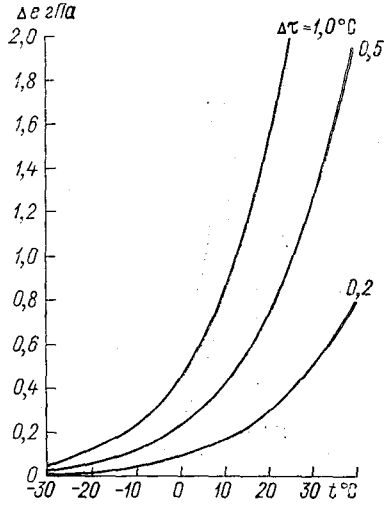


Рис. 1. Зависимость погрешности упругости водяного пара от температуры воздуха для трех значений погрешности точки росы при относительной влажности 100%.

При сопоставлении результатов измерения точки росы с результатами измерения упругости водяного пара погрешность измерения точки росы нужно выражать в погрешности e. Для этого удобно пользоваться графиком (рис. 1), построенным по формуле (9), на котором приведена зависимость Δe от t для $\Delta\tau$= =1,0; 0,5 и 0,2 °С при относительной влажности 100% ($e=E$). При относительной влажности менее 100% снятую с графика величину Δe нужно умножить на 0,1 f. Для получения Δe при $\Delta\tau$=0,1 °С нужно Δe, снятое при $\Delta\tau$=1 °С, умножить на 0,1; аналогично и для других значений $\Delta\tau$.

Погрешность в относительной влажности в зависимости от погрешности e из (3) получается в виде

$$\Delta f=\frac{\Delta e}{E_w(t)}\cdot 100=f\frac{\Delta e}{e}, \qquad (10)$$

т. е. относительная погрешность определения упругости водяного пара равна относительной погрешности определения относительной влажности.

При постоянной температуре воздуха погрешность относительной влажности пропорциональна Δe. Чем выше температура воз-

духа, тем больше допускается погрешность Δe для обеспечения одной и той же погрешности Δf.

На рис. 2 представлен график зависимости Δf от e при различных значениях относительной влажности и погрешности определения упругости $\pm 0{,}2$ гПа.

При $\Delta e \neq 0{,}2$ гПа снятое с графика значение Δf в соответствии с (10) нужно разделить на 0,2 и умножить на требуемое значение Δe. Как видно из рис. 2, Δf существенно возрастает при уменьшении e при одной и той же относительной влажности (при по-

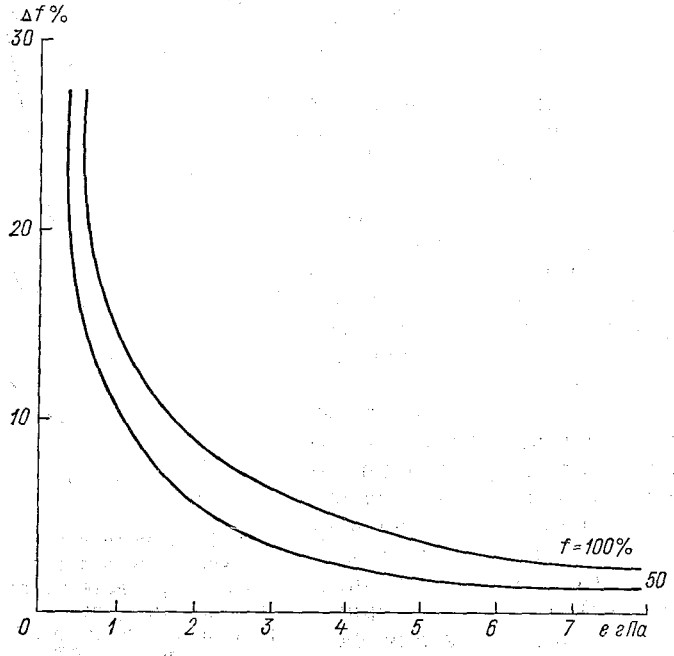


Рис. 2. Зависимость погрешности относительной влажности воздуха от упругости водяного пара при $f=50$ и 100% и погрешности определения упругости $\pm 0{,}2$ гПа.

нижении температуры воздуха). При уменьшении относительной влажности величина Δf уменьшается пропорционально уменьшению f при одном и том же значении e (при повышении температуры воздуха). Следовательно, для обеспечения одной и той же погрешности определения относительной влажности при понижении температуры воздуха (за счет радиационного охлаждения воздушной массы) необходимо повышать точность определения упругости водяного пара. При упругости водяного пара менее 3 гПа целесообразнее измерять относительную влажность, нежели упругость водяного пара.

Из (9) и (10) может быть получено следующее выражение за-

висимости между погрешностью определения точки росы и погрешностью относительной влажности:

$$\Delta f = k(\tau) f \Delta\tau. \qquad (11)$$

Как видно из (11), погрешность определения относительной влажности линейно связана с погрешностью определения точки росы. Зависимость этой связи от температуры определяется множителем $k(\tau)$ (выше мы получили, что для интервала 5—10 °С множитель несуществен). На рис. 3 приведена зависимость Δf от $\Delta\tau$ для различных значений относительной влажности при температуре —25° и +25 °С. Как видно из рис. 3, при значениях $\Delta\tau \leqslant 0{,}2$ °С с достаточной точностью можно пренебречь зависимостью Δf от температуры.

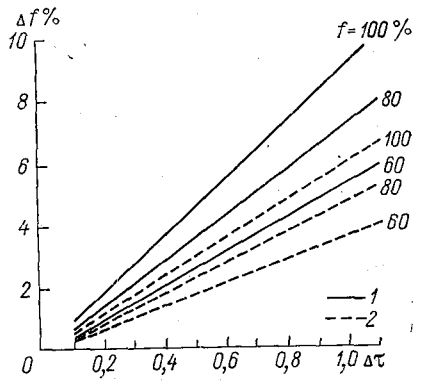


Рис. 3. Зависимость погрешности относительной влажности воздуха от погрешности точки росы при фиксированных значениях относительной влажности воздуха и температуре воздуха —25 °С (*1*) и +25 °С (*2*).

Погрешность определения дефицита упругости водяного пара, как следует из (1), равна погрешности упругости, взятой с обратным знаком. Соответственно и выражения ее через погрешности определения точки росы и относительной влажности могут быть получены из (9) и (10).

Таким образом, полученные здесь связи между погрешностями определения различных характеристик влажности воздуха позволяют рассчитать погрешность любой из них, если известна погрешность определения какой-либо одной характеристики влажности.

Такого рода анализ необходимо выполнять при сравнении различных методов определения (измерения) влажности воздуха, сравнении точностных характеристик различных приборов для измерения влажности, а также для выбора наиболее рациональной характеристики с целью разработки прибора или определения области его применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 51—54.

2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969, с. 57—58.

3. Усольцев В. А. Краткий обзор и оценка методов измерения влажности воздуха.— Труды НИИГМИ, 1957, вып. 4, с. 3—49.

4. Харрисон Л. П. Основные понятия и определения, относящиеся к влажности.— В кн.: Влажность. Измерение и регулирование в научных исследованиях и технике. Т. 3.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969, с. 8—70.

5. Guide to meteorological instrument and observing practices.— 4th ed. WMO, N 8. TP. 3. Geneva, 1971.

Л. Л. Брагинская

О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

В работах [3, 4, 8] рассмотрен вопрос о погрешности измерения инерционным прибором. Показано, что точность измерений инерционным прибором существенно зависит от статистической структуры измеряемой величины. В этой связи сведения о временной статистической структуре метеорологических параметров представляют значительный интерес.

Летом 1973 г. в п. Колтуши с помощью аппаратуры, разработанной в Агрофизическом институте (АФИ), производились структурные наблюдения за пульсациями абсолютной влажности, температуры и составляющих скорости ветра. Полученные в процессе этих исследований структурные характеристики пульсаций абсолютной влажности (корреляционные функции и дисперсия) были любезно предоставлены нам сотрудником АФИ М. Н. Яккером.

Измерения пульсаций абсолютной влажности производились емкостным пульсационным гигрометром, в котором использован рефрактометрический метод, основанный на зависимости показателя преломления влажного воздуха от парциального давления содержащегося в нем водяного пара. Описание прибора содержится в [7]. В состав измерительного комплекса была включена система цифровой магнитной записи, которая давала возможность регистрировать реализации длительностью до 40 мин. Обработка записей на магнитной ленте производилась по специально разработанной программе на ЭВМ БЭСМ-2. Дискретность отсчетов составляла 0,01 с, максимальный временной сдвиг равнялся 25 с. Измерения производились на высоте 1 м от слоя шероховатости.

Цель настоящей работы — на основании данных о статистической структуре пульсаций абсолютной влажности воздуха оценить ошибку определения средней по данным инерционного прибора при различных метеорологических условиях.

В работе [1] обобщены сведения о дисперсии пульсаций влажности, приводится зависимость нормированного среднего квадратического отклонения σ_q/q_* от параметра устойчивости z/L, где σ_q — среднее квадратическое отклонение пульсаций удельной влажности, L — масштаб длины Монина-Обухова, который харак-

теризует стратификацию; z — высота; q_* — поток водяного пара в атмосферу. Однако для методических разработок представляет интерес ненормированное среднее квадратическое отклонение пульсаций метеорологических параметров. Для этих разработок удобнее также пользоваться упругостью водяного пара e в гектопаскалях. На рис. 1 приведены данные о среднем квадратическом отклонении упругости водяного пара при разных значениях параметра стратификации z/L. К сожалению, бóльшая часть данных получена при стратификации, характеризующейся слабой неустойчивостью. При этом разброс точек очень велик и получить сколько-нибудь достоверную зависимость σ_e от параметра стратификации не представляется возможным. С ростом неустойчивости величина σ_e должна расти, как это имеет место со средним квадратическим отклонением пульсации температуры. Это вытекает из того физически очевидного и подтвержденного экспериментальными исследованиями факта, что при устойчивой стратификации преобладают вихри небольшого масштаба. С ростом неустойчивости масштаб вихрей увеличивается. Из рисунка видно, что величина σ_e меняется в пределах 0,3—2 гПа.

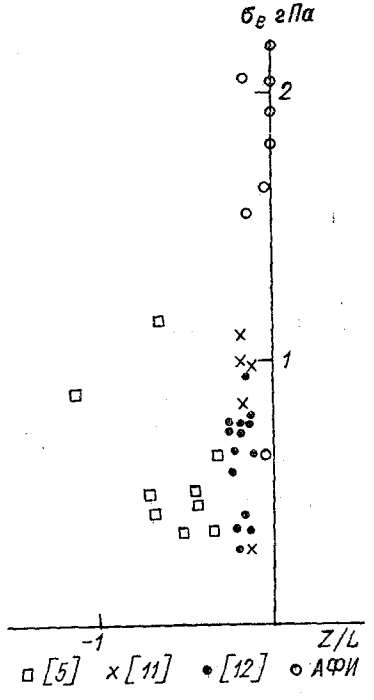


Рис. 1. Среднее квадратическое отклонение σ_e пульсаций абсолютной влажности при разных значениях параметра устойчивости z/L по данным разных авторов.

Результаты измерений, выполненных сотрудниками АФИ, показали, что пульсации влажности можно считать подчиняющимися нормальному закону. Следовательно, в 10-минутном интервале измерения мгновенные значения абсолютной влажности отклоняются от среднего не более чем на 0,4—4 гПа, что составляет 3—20% от среднего значения упругости водяного пара в воздухе в летний период, равного 10—20 гПа.

Полученные экспериментальным путем временны́е корреляционные функции пульсаций влажности хорошо аппроксимируются экспоненциальной функцией вида

$$r(\tau) = e^{-\alpha|\tau|}, \qquad (1)$$

где $1/\alpha$ — интервал корреляции, т. е. время, за которое корреляционная функция убывает в e раз.

На рис. 2 для примера приведена экспериментальная корре-

ляционная функция пульсаций абсолютной влажности и аппроксимирующая ее функция. Получить зависимость интервала корреляции от параметра стратификации не удалось. В табл. 1 приводится сводка сведений о параметре стратификации, среднем квадратическом отклонении и интервале корреляции.

Для целей изучения приземного слоя представляет интерес интегральный масштаб турбулентности, определяемый по формуле

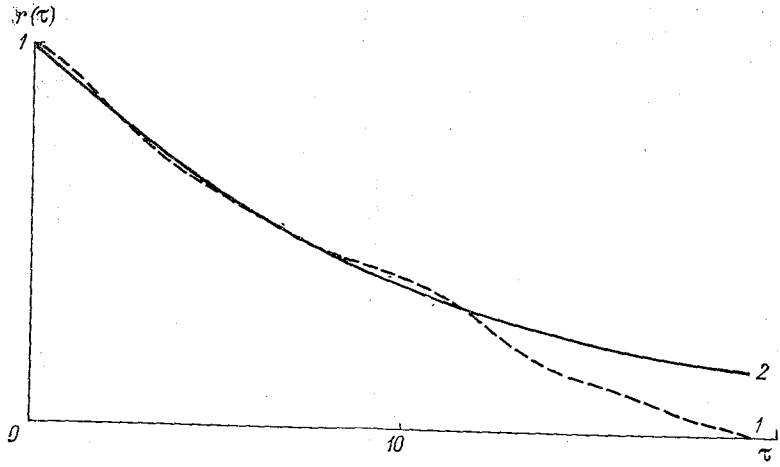


Рис. 2. Временна́я корреляционная функция пульсаций абсолютной влажности (*1*) и аппроксимирующая ее функция (*2*).

$$t = \int_0^\infty r(\tau)\, d\tau. \qquad (2)$$

В случае экспоненциальной корреляционной функции это есть не что иное, как интервал корреляции. Масштаб турбулентности является одной из основных характеристик атмосферной турбулентности. Однако до сих пор эта характеристика остается мало изученной. Обзор имеющихся экспериментальных данных о масштабах турбулентности имеется в [6]. В [2] оценки масштаба турбулентности проводятся на основе обобщения имеющейся информации об экспериментально полученных характеристиках турбулентности в стратифицированном приземном слое. Однако экспериментальных данных о масштабах турбулентности очень мало. Более подробные данные имеются о пульсациях температуры. В [4] приведена зависимость интервала корреляции пульсаций температуры от параметра стратификации. Существенный интерес представляет получение такой зависимости также для пульсаций абсолютной влажности.

Как видно из табл. 1, интервал корреляции меняется в пределах от 3 до 11 с. Если сравнить эти результаты с оценками интервала корреляции, приведенными в [4], то оказывается, что

эти данные близки к значению интервала корреляции пульсаций температуры при устойчивой и близкой к безразличной стратификации. Для суждения о размере интервала корреляции пульсаций влажности при сильно неустойчивой стратификации нет данных. По аналогии с масштабом турбулентности пульсаций температуры и компонент скорости ветра можно предположить, что с ростом неустойчивости интервал корреляции растет.

Таблица 1

Результаты измерений флуктуаций абсолютной влажности в приземном слое

Дата и время	z/L	Интервал корреляции, с	σ_q г/м³
15/VI 14 ч 40 мин	—0,023	4	1,28
20/VI 11 ч 30 мин	—0,022	3	1,71
21/VI 11 ч 50 мин	—0,175	3	1,65
15 ч	—0,130	5	1,25
21 ч 40 мин	0,0	11	—
6/VIII 16 ч 23 мин		5	0,54
8/VIII 16 ч 48 мин	—0,05	4	1,46
20 ч 35 мин	0,0	6	1,59
10/VIII 10 ч 5 мин	0,0	4	1,53

Используя полученные данные о временной статистической структуре пульсаций влажности, попытаемся оценить погрешность определения среднего за период значения по данным прибора с различной постоянной времени. Такие данные необходимы для выбора постоянной времени прибора и числа отсчетов. Эти вопросы должны решаться совместными усилиями методистов и прибористов. Данная работа не претендует на выдачу рекомендаций о выборе постоянной времени прибора и интервала осреднения. Ее цель — определить, какие погрешности будут иметь место при том или ином решении.

Выбор периода осреднения представляет самостоятельную задачу. Обычно принято считать, что достаточно 10-минутного осреднения турбулентных пульсаций. Однако в работе [9] показано, что частота, на которую приходится минимум энергии турбулентности (т. е. мезометеорологический минимум), зависит от стратификации атмосферы и при сильной неустойчивости сдвигается в сторону низких частот. При этом 10-минутного осреднения для пульсаций компонент скорости ветра может оказаться недостаточно. Что касается пульсаций влажности, то для них мезометеорологический минимум приходится на более высокие частоты, и 10-минутного, а в некоторых случаях и 2-минутного осреднения оказывается достаточно. В случае когда корреляционная функция имеет вид $r\ (\tau) = e^{-\alpha|\tau|}$, относительная средняя квадратическая ошибка E замены истинного среднего значения параметра в определенном интервале средним арифметическим, составленным из n дискретных измерений, равна

$$E^2 = \frac{1}{n} + \frac{2q}{(1-q)n^2}\left(n - \frac{1-q^n}{1-q}\right) + \frac{2}{h\alpha T}\frac{1-q^n}{1-q} -$$

$$- \frac{1}{\alpha T}\left[1 + \frac{1}{2\alpha T}(1-e^{-2\alpha T})\right], \qquad (3)$$

где $q = e^{-\frac{\alpha}{\tau_0}}$ — корреляционная функция, соответствующая интервалу между измерениями; $\tau_0 = \frac{2T}{n-1}$ — интервал между измерени-

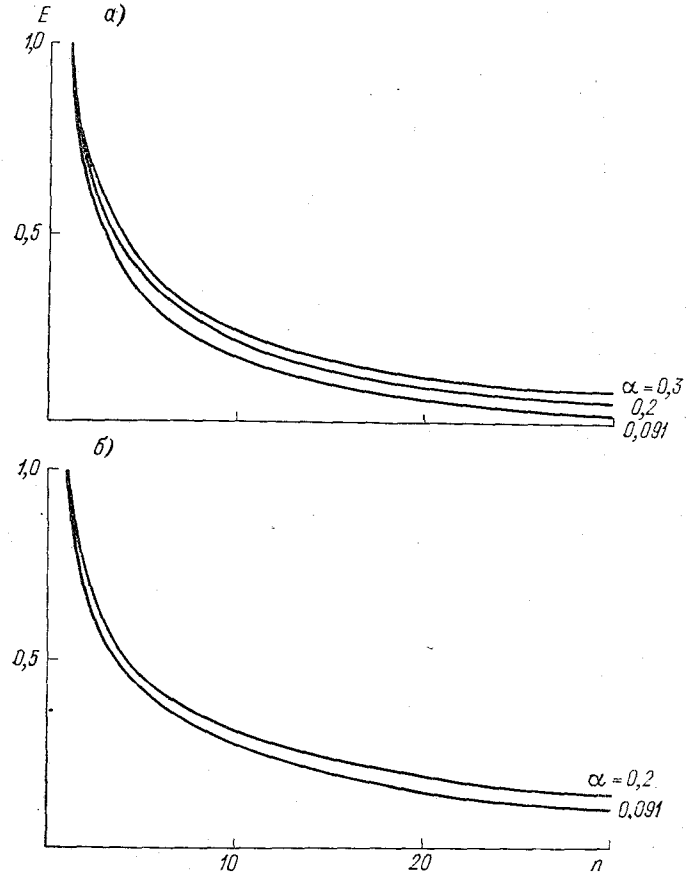


Рис. 3. Относительная средняя квадратическая погрешность определения среднего значения для периодов осреднения 2 мин (*а*) и 10 мин (*б*).

ями; $2T$ — интервал осреднения; n — число измерений, а E — отношение среднего квадрата ошибки к дисперсии измеряемой величины.

На рис. 3 приводится относительная квадратическая погрешность определения среднего значения для периода осреднения 2 и

10 мин в зависимости от числа отсчетов и интервала корреляции $1/\alpha$. При этом использовались крайние значения интервала корреляции из табл. 1 и его среднее значение.

Как видно из рис. 3, при двух, трех и четырех отсчетах ошибка определения средней не зависит от интервала корреляции и определяется только числом отсчетов. Объясняется это тем, что измерения в отдельные моменты можно рассматривать как не связанные ме-

Таблица 2

Относительная средняя квадратическая погрешность определения среднего за период значения по данным мгновенных отсчетов инерционного прибора

T_0 с	$1/\alpha$			T_0 с	$1/\alpha$		
	3	5	11		3	5	11
	$T=2$ мин				$T=10$ мин		
30	0,21	0,27	0,35	120	0,12	0,16	0,23
70	0,10	0,14	0,17	200	0,08	0,10	0,15
150	0,12	0,15	0,22	350	0,05	0,06	0,09

жду собой данные. Ошибка измерения среднего определяется по обычной формуле ошибок

$$E^2=\sigma^2/n. \qquad (4)$$

При десяти отсчетах связность между значениями измерений в отдельных точках начинает сказываться и видна зависимость погрешности определения среднего от интервала корреляции. Чем больше связность между значениями измеряемой величины в разные моменты времени, тем меньше ошибка измерения средней. При 10—20 отсчетах ошибка определения среднего за 2 мин значения абсолютной влажности составляет 10—20% от естественной изменчивости измеряемой величины.

При определении среднего за 10 мин значения влияние связности меньше, погрешность же существенно больше, чем при определении среднего за 2 мин. Чтобы погрешность определения среднего за 10 мин была не более 10% от среднего квадратического отклонения, необходимо сделать не менее 30 отсчетов.

Уменьшить погрешность определения среднего за период значения можно рациональным выбором постоянной времени прибора. В табл. 2 приведена относительная средняя квадратическая погрешность определения среднего за 2 и 10 мин значения абсолютной влажности по данным мгновенных отсчетов инерционного прибора с различной постоянной времени T_0. При этом была использована приведенная в работе [3] мера погрешности определения среднего за период значения по мгновенным отсчетам линейного инерционного прибора первого порядка. В работе [3] показано, что мера ошибки минимальна в случае, когда пери-

од осреднения в 1,7 раза больше постоянной времени прибора. Как видно из табл. 2, выбор оптимальной постоянной времени прибора позволяет уменьшить ошибку определения среднего за 2 мин значения до 10—15% от среднего квадратического отклонения абсолютной влажности. Однако не всегда даже при оптимальном выборе постоянной времени прибора точность определения среднего за период значения удовлетворяет требованиям, предъявляемым к результатам измерений. Свести к минимуму погрешность определения средней за период величины можно осреднением отсчетов инерционного прибора. В работе [8] оценивается мера погрешности получения среднего значения путем осреднения ряда отсчетов по инерционному прибору. Показано, что когда временная корреляционная функция измеряемой величины имеет вид экспоненциальной функции, то минимум меры ошибки имеет место при

$$T_0 n/T = 0{,}65,$$

где T_0 — постоянная времени прибора, n — число отсчетов, T — период осреднения.

Таблица 3

Мера погрешности E определения средней за 2 мин величины при осреднении данных инерционного прибора

T_0 с	n	
	2	5
10	0,36	0,07
15	0,26	0,06
30	0,14	0,12

Следовательно, оптимальная постоянная времени измерителя влажности для получения среднего за 3 мин значения при пяти отсчетах должна составлять около 16 с. В табл. 3 приведена мера погрешности E определения среднего за 2 мин значения абсолютной влажности при двух и пяти отсчетах по инерционному прибору с различной постоянной времени.

Как видно из табл. 3, при выборе оптимальной постоянной времени погрешность уменьшается до 0,06 σ или около 0,1 гПа, что соответствует мере ошибки определения среднего по 20 отсчетам безынерционного прибора.

Представленные результаты позволяют лишь приближенно оценить возможные погрешности получения среднего за некоторый период значения абсолютной влажности по дискретным отсчетам линейного прибора. Очевидна необходимость проведения более детальных исследований временной статистической структуры пульсаций влажности, получения ее зависимости от стратификации атмосферы. Особенно существенно получить более детальные сведения о среднем квадратическом отклонении пульсаций влажности в различные часы суток и различных условиях.

В заключение автор выражает искреннюю признательность сотрудникам АФИ М. А. Яккеру и Ю. А. Песчанскому за содействие в выполнении настоящей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ариель Н. З., Надежина Е. Д. Безразмерные характеристики турбулентности при разных условиях стратификации.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, т. 12, № 8, 1976, с. 802—809.

2. Ариель Н. З., Надежина Е. Д. Оценка масштаба турбулентности по экспериментальным данным.— Труды ГГО, 1977, вып. 382, с. 64—69.

3. Брагинская Л. Л., Каган Р. Л. О точности определения средних величин по мгновенным отсчетам инерционных приборов.— Труды ГГО, 1965, вып. 174, с. 3—20.

4. Брагинская Л. Л. Об учете инерции прибора при измерении температуры воздуха.—Метеорология и гидрология, 1972, № 7, с. 94—99.

5. Волков Ю. А., Елагина Л. Т., Копров Б. М. Спектральные характеристики турбулентного обмена между океаном и атмосферой в тропической зоне Атлантики.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1974, т. 10, № 6, с. 619—627.

6. Гисина Ф. А., Пономарева С. М. К вопросу о масштабах турбулентности различных компонент скорости ветра в приземном слое атмосферы.— Труды ЛГМИ, 1971, вып. 42, с. 105—115.

7. Каганов М. А., Песчанский Ю. А. Емкостный пульсационный гигрометр.— Труды по агрономической физике, 1970, вып. 25, с. 5—15.

8. Персин С. М. Анализ погрешности нахождения средних по результатам ряда дискретных опросов инерционного прибора.— Труды ГГО, 1971, вып. 259, с. 149—176.

9. Högström. Spectral gap in surface layer measurements.— J. Atmos. Sci., 1975, vol. 32, N. 2, p. 340—350.

10. Miyake M., McBean G. On the measurement of vertical humidity transport over land.— Boundary Layer. Meteorol., 1970, vol. 1, N 1, p. 24—34.

11. Phelps G., Pond S. Spectra of the temperature and humidity fluctuations and of fluxes of moisture and sensible heat in the marine boundary layer.— J. Atmos. Sci., 1971, vol. 28, N 6, p. 918—928.

Б. И. Протопопова

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ИЗМЕРЕНИЮ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА

При решении методических вопросов измерения приземного ветра на сети метеорологических станций исходят, с одной стороны, из физико-статистических характеристик ветрового поля, с другой — из требований, предъявляемых потребителями к информации о ветре.

Скорость ветра — это векторная величина, вертикальная составляющая которой мала по сравнению с горизонтальной. В метеорологии обычно измеряют горизонтальную составляющую скорости ветра. Измерение вертикальной составляющей производится при специальных исследованиях (например, при вертикальном переносе тепла и влаги и т. п.).

Для однозначной оценки горизонтальной составляющей вектора скорости ветра необходимо измерять как минимум два параметра: модуль (скорость ветра) и аргумент вектора (направление ветра).

Вследствие турбулентности воздушного потока скорость и направление ветра характеризуются большой пространственно-временной изменчивостью. Изменения носят случайный характер. Из этого следует вывод о том, что для оценки параметров ветра необходимо выбирать такие статистические характеристики, которые исключали бы элемент случайности при измерениях.

Поскольку на наземной сети станций измерение параметров ветра производится в неподвижной точке пространства, здесь и далее будет идти речь о временной изменчивости вектора скорости ветра. (Вопросы пространственного распределения ветрового поля решаются в метеорологии путем оптимизации размещения метеостанций по территории.)

Случайный характер изменения скорости и направления ветра дает возможность применить закон математической статистики для получения устойчивых оценок параметров ветра. Так, например, ветровое поле можно разбить на поле средних значений и поле случайных флуктуаций относительно среднего уровня. Средние значения скорости и направления ветра, полученные за оптимальный интервал времени, должны быть достаточно устойчивы-

ми, чтобы экстраполировать их во времени и пространстве, для которого точка измерения является репрезентативной. Для оценки случайных флуктуаций мгновенной скорости ветра следует использовать такие характеристики, как дисперсия (или среднее квадратическое отклонение) и максимальные значения скорости ветра за заданный интервал времени (обычно за интервал осреднения в срок или между сроками наблюдения).

Измерение средних квадратических значений скорости и направления ветра (σ_v и σ_φ) позволило бы характеризовать степень порывистости (турбулентности) ветра, а в случае нормального закона распределения отклонений мгновенных значений от среднего уровня — определить значение максимальной скорости как $2\sigma_v$ или $3\sigma_v$. Однако устройства для выработки σ_v и σ_φ в настоящее время технически сложны. Создание приборов для измерения σ_v и σ_φ связано с применением микрокомпьютерной техники. Это задача ближайшего будущего.

Бóльшую часть потребителей интересует максимальная скорость ветра, как параметр, более удобный для прямого использования в оперативных и режимных целях. Это предопределило широкое распространение ветроизмерительных приборов для измерения максимальных и средних во времени значений скорости ветра и его направления. При решении этой задачи весьма важным представляется вопрос о выборе оптимального временнóго интервала осреднения скорости и направления ветра. Необходимо определить отрезок времени, за который средние значения параметров ветра являлись бы статистически устойчивыми оценками, не подверженными сколько-нибудь существенному влиянию нестационарности ветрового поля. Практически решение задачи сводится к оптимальной фильтрации турбулентных «помех».

Экспериментальные исследования [2] показали, что спектральная плотность скорости ветра имеет два явно выраженных максимума: низкочастотный (с периодами от часов до суток) и высокочастотный (с периодами от секунд до минут). Эти участки довольно хорошо разделены между собой, что позволяет сравнительно легко отфильтровать турбулентные возмущения путем осреднения параметров ветра во времени. Данное свойство спектра скорости ветра было использовано для определения оптимального временнóго интервала осреднения. В работа [1, 3, 5] авторы, исходя из структуры ветрового поля в пределах часа (в работе [5] — в пределах 5000 с), определили оптимальные интервалы осреднения для различных стратификаций атмосферы. Для устойчивой стратификации таким интервалом является 10-минутный, а для безразличной и неустойчивой — 15-и 20-минутный интервалы соответственно. Авторы показали, что среднее значение скорости ветра можно экстраполировать на час и более с заданной средней вероятностной погрешностью (погрешность экстраполяции принята равной $\pm 10\%$).

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) рекомендовала 10-минутный интервал как основной для осреднения пара-

10 м/с. Погрешность измерений направления ветра, равная ±10°, удовлетворяет подавляющее число потребителей этой информации.

Допустимая погрешность измерения ветра в точке должна состоять из погрешности прибора и метода измерения и являться частью погрешности информации о ветре.

Потребителей информации о ветре можно разделить на две группы — потребителей режимной и потребителей оперативной

Измеряемый параметр ветра	Диапазон	Требуемая точность информации		Частота наблюдения	Период осреднения
		режимной	оперативной		
Средняя скорость в срок наблюдения, $\bar{v}$ м/с	0,5—40	$\pm(0{,}5+0{,}05\times\bar{v})$	$\pm(0{,}5+0{,}05\times\bar{v})$	4—24 раза в сутки	10 мин
Максимальное значение мгновенной скорости в срок наблюдения, $v_{макс}$ м/с	1—60	—	$\pm(1+0{,}05\times v_{макс})$	Непрерывно	3 с
Максимальное значение мгновенной скорости между сроками наблюдений, $v_{макс}$ м/с	1—60	$\pm(1+0{,}05\times v_{макс})$	$\pm(1+0{,}05\times v_{макс})$	»	3 с
Среднее направление, $\bar{\varphi}$ градусы (румбы)	0—360 (0—16)	±1 румб	±10°	»	10 мин

информации. Несмотря на то что требования к режимной и оперативной информации имеют некоторые отличия, первичная информация о ветре для обеих групп потребителей должна формироваться на единой метеорологической сети. В связи с этим требования к точности измерения параметров ветра в точке измерения (на метеостанции) должны определяться требованиями потребителя информации с более высокой точностью.

Рассмотрим каждую из составляющих погрешностей измерения, например, средней скорости ветра. Проанализируем случай независимого скалярного осреднения скорости и направления ветра. Средняя вероятная погрешность этого метода составит +(4...5)% при определении средней скорости ветра [7]. Погрешность прибора, реализующего определение среднего значения путем корректного интегрирования, составит ±2%. Погрешность метода по знаку является систематической погрешностью, а погрешность прибора — случайной величиной. Суммарная погрешность определяется в виде $\delta_v = (5\pm2)\%$.

В случае реализации метода векторного осреднения методическая погрешность определения средней скорости будет отсутст-

вовать. Погрешность прибора, осуществляющего корректное интегрирование составляющих вектора, состоит из погрешностей определения каждой из составляющей плюс погрешность их геометрического сложения. Погрешность определения составляющей примерно равна $+2\%$ и погрешность геометрического сложения $\pm 2\%$. Суммарная погрешность составит (как случайной величины) $\delta_v' = \sqrt{2^2+2^2+2^2} \approx 3{,}5\%$.

Следует отметить, что в указанных выше оценках погрешности измерений не учтены динамические погрешности чувствительных элементов ветроизмерительных приборов, которые зависят от конкретной конструкции датчиков.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что погрешность измерения средней скорости ветра лежит в пределах $\pm (5...6)\%$.

В таблице приводятся измеряемые параметры ветра для режимных и оперативных целей.

Максимальное значение средней скорости между сроками и суточный ход параметров ветра могут быть получены в результате обработки анеморумбограмм. Как следует из таблицы, требования к точности измерения параметров ветра (в точке измерения) должны сводиться к следующему:

— для средней скорости $\pm (0{,}5+0{,}05\bar{v})$ м/с;

— для максимальной скорости $\pm (1+0{,}05 v_{\text{макс}})$ м/с;

— для направления $\pm 10^\circ$.

Эти требования в основном удовлетворяют подавляющее число потребителей информации о ветре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев И. Д. Выбор оптимального интервала осреднения скорости ветра.— Труды ГГО, 1958, вып. 83, с. 20—24.

2. Бызова Н. Л., Иванов В. Н., Морозов С. А. Турбулентные характеристики скорости ветра и температуры в пограничном слое атмосферы.— В кн.: Атмосферная турбулентность и распространение радиоволн. М.: Наука, 1967, с. 76—103.

3. Джоу Мин Юй. Оптимальные периоды осреднения при измерениях метеорологических полей.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1966, т. 2, № 5, с. 486—493.

4. Инструкция гидрометеорологическим станциям по информации об опасных гидрометеорологических явлениях.— М.: Гидрометеоиздат, 1972.

5. Мазурин Н. Ф. Статистические характеристики пограничного слоя атмосферы, полученные с помощью автоматизированного измерительного комплекса высотной метеорологической мачты. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. физ.-мат. наук.—Обнинск, 1974, 16 с.

6. О составе, точности и пространственно-временном разрешении информации, необходимой для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и службы гидрометеорологических прогнозов /Под ред. М. А. Петросянца, В. Д. Решетова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.

7. Протопопов Н. Г. Проектирование ветроизмерительных приборов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, 192 с.

8. Положение о сборе сведений о порядке предупреждений об особо опасных гидрометеорологических явлениях.— М.: Гидрометеоиздат, 1972.

Л. Р. Струзер

ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА НИМИ

Атмосферные осадки — один из важнейших метеорологических элементов, данные о котором необходимы всем потребителям метеорологической информации. В СССР условия для наблюдений за осадками сложнее, чем в большинстве других стран мира, так как значительная доля осадков выпадает в твердом виде.

В настоящее время ведутся наблюдения за 6 параметрами, связанными с атмосферными осадками. Они перечислены в таблице, где указаны также требования к диапазону измерений, точности их, частоте наблюдений и разряд округления выдаваемых значений параметров. Кроме параметров, перечисленных в таблице, 4 характеристики осадков подлежат определению как опасные метеорологические явления (опасный ливень, опасный дождь, град, ледяной дождь) и 3 характеристики как особо опасные метеорологические явления (особо опасные дожди и снегопады, особо опасный ливень, особо опасный град).

1. Недостатки существующих наблюдений за осадками

В настоящее время становится все более ясно, что наблюдения за рядом параметров атмосферных осадков уже не удовлетворяют требованиям потребителей. Рассмотрим недостатки существующих наблюдений.

1.1. Количество осадков. Везде, кроме труднодоступных мест, количество осадков измеряется одним и тем же прибором — осадкомером Третьякова О-1, приемное отверстие которого располагается на высоте 2 м. Методика измерений изложена в наставлениях [6, 7]. По сравнению с методикой, применяемой в других странах, она наиболее унифицирована, однородна. Осадкомер Третьякова остается одним из лучших в мировой практике. Он предназначен для измерения не только жидких, но и твердых сплавов. Тем не менее полная унификация не достигнута. Зимой прибор эксплуати-

Параметры атмосферных осадков, наблюдаемые в настоящее время

№ п.п.	Параметр и единица измерения	Диапазон измерений на территории СССР	Погрешность измерения		Разряд округления информации для целей		Частота наблюдений
			суммарная	систематическая составляющая	режимных	оперативных	
1	Количество осадков x мм						
	а) жидких	0—100	$\pm(1+0{,}2x)$	от 0 до $0{,}15x$	0,1	1	2—4 раза в сутки
	б) твердых и смешанных	0—50	от $-(0{,}1+x)$ до $+(0{,}1+0{,}2x)$	от 0 до x	0,1	1	То же
	в) суммы осадков всех видов за сезон (в труднодоступных местностях)	0—2500	от $-(1+x)$ до $+(1+0{,}2x)$	от 0 до x	Н	1	2—4 раза в год
2	Интенсивность жидких осадков I мм/мин	0—10	от $-(0{,}01+0{,}15I)$ до $+(0{,}01\pm0{,}05I)$	от $-0{,}15I$ до $+0{,}01I$	0,01	0,01	Непрерывная регистрация
3	Вид осадков	15 видов	—	—	—	—	Непрерывно
4	Интенсивность выпадающих осадков, градации по Наставлению [6]	3 градации	$\pm0{,}1$	—	1	1	»
5	Время начала и прекращения выпадения осадков, час	0—24	$\pm0{,}1$	от $-0{,}1$ до $+0{,}1$	1	0,25	»
6	Отметка о выпадении осадков в окрестностях станций, но не на самой площадке, с оценкой расстояния до места выпадения	—	—	—	Н	—	»

Примечание. Буква «Н» в графах 6 и 7 обозначает, что для данных целей информация не требуется.

руется без воронки, даты ее замены не фиксируются. Для оперативных целей разрешено использовать грубый весовой способ вместо объемного. В местах с высоким снежным покровом осадкомер переставляется на бо́льшую высоту. В жаркую погоду меняются сроки наблюдений.

Помимо стандартных, на гидрологических и колхозно-совхозных станциях используются еще и иные приборы и методика:

— суммарные осадкомеры М-70 в труднодоступных высокогорных районах;

— почвенные дождемеры двух видов: ГГИ-3000 и ГР-28 на водно- и почвенно-испарительных площадках;

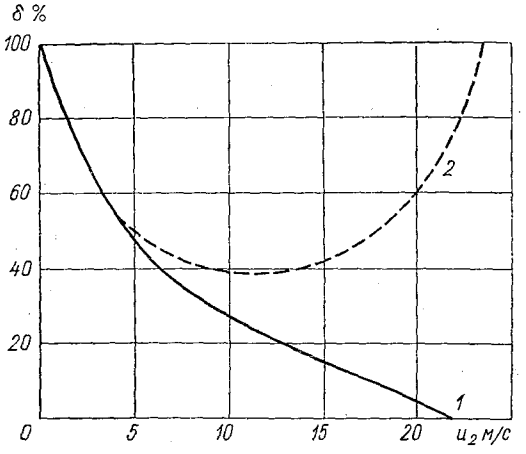
— датчики жидких осадков М-96-8 челночного типа в АРМС (малообжитые районы) и такие же датчики УАТГМС-4 в Белорусском УГКС;

— полевой дождемер Давитая М-99 на колхозно-совхозной осадкомерной сети.

Важнейший недостаток используемой методики измерения количества осадков — это большая систематическая составляющая погрешности измерений. В таблице указаны ее оценки. Они приведены по данным работ [11, 12] для средних многолетних месячных и годовых сумм осадков. Работами последнего десятилетия, в основном отечественными [1, 8, 9, 14], установлено не только наличие этих погрешностей, но и факторы, от которых они зависят: скорость ветра, вид и интенсивность осадков, дефицит влажности воздуха, вид и продолжительность метелей. Найдены и сами зависимости. Если использовать эти зависимости для вычисления поправок к срочным данным, то можно устранить систематическую составляющую суммарной погрешности измерений. Однако входные параметры такого расчета — само количество уловленных осадков и значения перечисленных метеорологических факторов — измеряются в каждый отдельный срок недостаточно точно. Например, скорость ветра, температура и дефицит влажности воздуха измеряются как средние за 10 мин в самый срок наблюдений, а осадки выпадают в течение любого промежутка времени в период между сроками наблюдений. Часты случаи, когда значения входных параметров расчета сильно отличаются от влияющих на улавливание осадков. В результате случайная составляющая суммарной погрешности измерений при корректировке срочных данных столь велика, что теряет смысл введение поправок. С увеличением числа сроков, входящих в расчетный период, и соответствующим увеличением суммы осадков за все эти сроки вместе случайная составляющая погрешности уменьшается именно потому, что она случайная.

Опыт показал, что расчет поправок возможен, если измеренная сумма осадков не слишком мала, практически он возможен для месячных и декадных сумм [8]. Поэтому во всех случаях, когда потребителю требуется количество осадков за сутки или часть суток, корректировка малых измеренных величин нецелесообразна и в оперативные сообщения приходится помещать непосредствен-

но измеренную сумму осадков (с поправкой на смачивание). Оценки систематической составляющей погрешности для сумм за декады и месяцы приведены в таблице. Для жидких осадков диапазон ее возможных значений оценен от 0 до 15%, а для твердых — от 0 до 100% (от измеренной суммы с поправкой на смачивание). В некоторых особо неблагоприятных условиях, когда ветер очень сильный, ошибки измерения жидких осадков могут прево-



Доля δ улавливаемых твердых осадков с введенными поправками на смачивание (рассчитаны для осадкомера Третьякова О-1 при температуре воздуха ниже —5° С).

1 — при отсутствии метелей; *2* — при развитых метелях.

сходить 20% (Кольский полуостров, Камчатка), а твердых — 120% (Казахстан). В Арктике, где особо часты и интенсивны метели, наметаемые «ложные» осадки превышают иногда собственно осадки в несколько раз [15]. Однако такие экстремальные значения систематической составляющей не учтены в таблице как редко встречающиеся.

Сжатое изложение вопроса о систематических ошибках измерения осадков содержится в работе [5].

Систематическая составляющая погрешности измерения жидких осадков хотя и велика по сравнению с аналогичными погрешностями измерения других метеорологических параметров, но все же ограничена значениями до 15—20%. Положение же с измерением твердых осадков в настоящее время крайне неблагополучно. Ошибки не идут ни в какое сравнение с погрешностями измерения любого другого метеорологического элемента. Иллюстрацией сказанному служит рисунок. На нем для средних условий (температура воздуха от —5 до —20° С) в зависимости

от скорости ветра u_2 на высоте приемного отверстия осадкомера (ось абсцисс) представлено улавливание $\delta = \frac{x' + \Delta x_c}{x} \cdot 100$ твердых осадков осадкомером Третьякова. Улавливание (ось ординат) есть доля в процентах, которую составляет измеренная сумма осадков x', исправленная поправкой на смачивание Δx_c, по сравнению с истинными осадками x. Сплошная кривая представляет уменьшение этой доли с возрастанием скорости ветра, когда нет метели. Ход кривой показывает, что улавливание δ быстро уменьшается от 96—98% при отсутствии ветра, когда недоучет определяется только потерями на испарение, до 47% при скорости ветра $u_2 = 5$ м/с и спадает почти до нуля при скоростях ветра около 20 м/с. Обычно, однако, когда скорость ветра u_2 достигает 6 м/с, начинает развиваться метель, и общее количество снега, попадающего в осадкомер, включает в себя и «ложные» осадки, количеству которых соответствует на рисунке длина вертикального отрезка между сплошной и пунктирной кривыми. Общее количество осадков, попавших в осадкомер, изменяется со скоростью ветра уже не по сплошной, а по пунктирной кривой. С усилением ветра до значений примерно 23 м/с, характерных для побережья арктических морей, ордината пунктирной кривой достигает 100% и продолжает весьма быстро расти дальше. В таких районах количество снега, попавшего в осадкомер, в несколько раз превышает собственные осадки. К сожалению, интенсивность метелей зависит не только от скорости ветра, но и от других причин. Поэтому при больших скоростях ветра улавливание δ не всегда следует пунктирной кривой и становится менее определенным.

Кривые рисунка показывают, что осадкомер будет являться исключительно плохим измерительным средством до тех пор, пока тот или иной способ учета систематической составляющей погрешности не будет введен в методику эксплуатации прибора.

Однако, учитывая, что очень большие скорости ветра во время осадков на большей части территории наблюдаются редко и основной «рабочий диапазон» рисунка ограничивается участком до 5 м/с, обычно осадкомер улавливает 50—70% осадков.

Трудности вызываются еще и отсутствием приборов, которые могли бы работать автономно, без участия наблюдателя, и выдавать необходимую информацию о количестве осадков. По этой причине на 60% территории страны плотность осадкомерной сети существенно ниже оптимальной. Между тем изучение климата этих территорий должно предшествовать их хозяйственному освоению, а не наоборот, как это зачастую имеет место сейчас. Необходимо заблаговременное накопление режимных данных об осадках по северу ЕТС, Сибири и Дальнего Востока. Недостаточная плотность осадкомерной сети в высокогорных зонах, осадки которых определяют режим стока рек с горным питанием, создает трудности в работе службы гидрологических прогнозов этих районов. Особенно важно устранить указанный недостаток в горах Средней Азии.

В последние годы все настоятельнее требуется информация о количестве осадков, выпадающих на вертикальные и наклонные ограждающие конструкции зданий различной ориентации, и на вступающие в хозяйственное освоение горные склоны различного уклона и ориентации. Эти наблюдения не ведутся. Не разработана и их технология.

1.2. Интенсивность осадков. В настоящее время на ограниченной сети станций действуют самописцы дождя, регистрирующие на бумажной ленте приращение количества жидких осадков со временем. Технология приспособлена к использованию данных в режимных целях, так как информация получается лишь на исходе каждого дня или месяца — после обработки лент плювиографа. Методика обработки учитывает в основном требования гидрологии. Поэтому записи дождей, за время которых выпало менее 2,5 мм осадков, не обрабатываются. Эта система не удовлетворяет ряду требований народного хозяйства. Важнейшие ее недостатки следующие:

— значительная часть информации пропадает, так как дожди, при которых выпало меньше 2,5 мм осадков, не обрабатываются и публикуются данные только сравнительно обильных дождей;

— интенсивность твердых и смешанных осадков не регистрируется;

— технология не позволяет использовать информацию в оперативных целях;

— значения интенсивности получаются с заметными систематическими ошибками (до 10—15%);

— не определяется интенсивность осадков, выпадающих на вертикальные и наклонные поверхности.

Быстро возрастающие потребности различных ведомств в информации об интенсивности осадков всех видов заставляют искать пути устранения перечисленных недостатков системы.

1.3. Вид осадков, время их выпадения, визуальная оценка интенсивности и отметка о выпадении осадков в окрестностях станции. Все перечисленные параметры определяются в настоящее время визуально и требуют непрерывного слежения за погодой.

При выпадении жидких осадков наблюдатель должен различать 3 их вида, а при выпадении твердых и смешанных осадков — 9 видов. Кроме того, он должен на глаз оценить интенсивность выпадающих осадков по трем градациям — слабые, умеренные, сильные — и зафиксировать время начала выпадения, смены вида или интенсивности, прекращения. Информация используется в оперативных целях, а часть ее подвергается режимным обобщениям, при которых вычисляются повторяемость и продолжительность осадков разных видов без учета их интенсивности. Только для удовлетворения требований оперативных служб фиксируется выпадение осадков в пределах видимости, с площадки станции, но не на самой метеорологической площадке. При этом отмечается время явления, направление, в котором оно замечено, и дается оценка расстояния до него.

Важнейший недостаток этого вида наблюдений в том, что они производятся визуально, т. е. с частыми и значительными погрешностями и пропусками субъективного происхождения. Состав наблюдений излишне сложен и нуждается в упорядочении.

1.4. Опасные и особо опасные метеорологические явления, связанные с выпадением осадков. Перечень опасных и особо опасных явлений сформировался определенными требованиями различных отраслей народного хозяйства, но он непременно изменяется и пополняется. Лишь некоторые из этих явлений связаны с выпадением осадков.

Опасным является уже сам факт выпадения ледяного дождя и града. Критерием для фиксации возникновения опасного явления служит обнаружение этих видов осадков.

Для остальных опасных явлений из числа связанных с выпадением осадков критерием возникновения опасности служат уже некоторые количественные характеристики:

— количество осадков больше установленного значения, выпавшее в течение одного часа (опасный ливень);

— количество осадков больше установленного значения, выпавшее за время одного дождя (опасный дождь).

Среди особо опасных метеорологических явлений для трех критериями являются характеристики осадков:

— величина градин, превышающая установленное значение (особо опасный град);

— количество осадков за один час, превышающее установленные пределы (особо опасный ливень);

— количество осадков (жидких или твердых) за сутки или меньший промежуток времени, превышающее установленное значение (особо опасный дождь или снегопад).

В настоящее время технология рассматриваемого вида наблюдений неудовлетворительна. Поэтому и качество соответствующей информации не отвечает возросшим требованиям. Наблюдения необходимо вести непрерывно. Приспособленных для этого приборов нет. Используются осадкомер, плювиограф и, главное, глаз наблюдателя. В результате часты пропуски опасных явлений, недостаточно точное измерение определяющих критериев, невозможность проводить эти наблюдения на постах и станциях с сокращенным рабочим днем. Плотность сети, следящей за опасными явлениями, недостаточна.

1.5. Дополнительные сведения о важных явлениях погоды. Сведения, предусмотренные 9-й группой синоптического кода КН-01 [4], включают дополнительную информацию о ряде важных для синоптической службы явлений погоды. Некоторые из них связаны с выпадением осадков:

— обильные осадки (количество за 12 ч, превышающее 30 мм);
— выпадение града при ливне или грозе;
— туман при выпадении осадков;
— ливневый мокрый снег при температуре выше 0°С;
— выпадение окрашенных осадков.

Фиксация перечисленных сведений требует непрерывных наблюдений, которые производятся визуально. Отсюда те же недостатки, что и в технологии наблюдений за опасными метеорологическими явлениями.

2. Требования к системе наблюдений за осадками

Перечисленные недостатки наблюдений за осадками требуют критического пересмотра всех сторон методики получения информации об этом элементе и прежде всего критического анализа требований потребителей к информации об осадках. Основные требования сформулированы в [10]. Просмотрены также всевозможные справочные издания, содержащие показатели режима осадков, и существующие коды для передачи по телеграфу оперативных сообщений. В результате установлен ряд важных обстоятельств.

2.1. Требования к составу наблюдений за осадками и к разрешению информации во времени.

а) Количество осадков требуется

в оперативной практике:

— за 3 ч: только жидкие осадки для составления гидрологических прогнозов (дождевых паводков) по ливнеопасным горным речным бассейнам; общая площадь таких бассейнов меньше 0,5% площади бассейнов, по которым составляются гидрологические прогнозы;

— за 6 ч: для эксплуатации и строительства промышленных, гражданских, транспортных наземных объектов; размеры объектов малы — площади 1—200 км^2, трассы до 0,2×100 км;

— за 12 ч между синхронными сроками 3 и 15 ч зимнего московского декретного времени: для краткосрочных синоптических прогнозов погоды; требующееся среднее расстояние между пунктами, дающими эту информацию 100—150 км;

— за сутки: для гидрологических прогнозов по речным бассейнам равнинной территории; среднее расстояние между пунктами 20—30 км;

— за неделю или декаду; для обслуживания сельского хозяйства и составления агрометпрогнозов на областном и районном уровне; среднее расстояние между пунктами 20—30 км;

— за месяц — не требуется;

для выработки режимной информации:

— за 3, 6, 9 ч — не требуется;

— за 12 ч между синфазными сроками, ближайшими к 7 и 19 часам местного среднего солнечного времени: для оценки режима суточного хода осадков;

— за сутки: для получения вероятностных характеристик осадков в целях обеспечения перспективного планирования и текущего проектирования промышленного и гражданского строительства, наземного транспорта и ряда других отраслей народного хозяйства;

— за декаду: для перспективного планирования и текущего проектирования сельскохозяйственного производства; информация требуется только за теплый период года и только по территории с развитым сельским хозяйством;

— за месяц: в целях перспективного планирования и текущего проектирования всех отраслей народного хозяйства.

б) Критические значения количества осадков требуются:

в оперативной практике:

— за 1 ч или меньшие промежутки времени (только жидкие осадки): для эксплуатации промышленных, гражданских и транспортных наземных объектов;

— за сутки: для обеспечения эксплуатации промышленных, гражданских и транспортных объектов и для обслуживания сельского хозяйства;

в режимных целях: та же информация для выработки сведений о повторяемости опасных и особо опасных явлений.

в) Интенсивность осадков (мм/мин) требуется

— только в режимных целях ежемесячно для выработки информации, необходимой для текущего проектирования промышленных, гражданских и транспортных наземных объектов, а также для перспективного планирования и текущего проектирования авиационных объектов;

— в последнее время часто появляются запросы об интенсивности осадков, не учтенные в [10], со стороны многих отраслей народного хозяйства и оперативных служб.

г) Атмосферные явления (начало и окончание выпадения, вид осадков, оценка их интенсивности по трем градациям) требуются

в оперативной практике:

— по мере возникновения: для эксплуатации авиации; для краткосрочных синоптических и авиационных прогнозов;

— ежедневно: для обслуживания сельского хозяйства;

— кроме того, требуются сведения о прерывистости выпадения, отметки о месте выпадения (на станции или в отдалении);

в режимных целях:

— ежемесячно: для выработки информации, необходимой при перспективном планировании и проектировании всех отраслей народного хозяйства.

д) Количество осадков за месяц, выпадающих на вертикальные поверхности различной ориентации, требуется

— ежемесячно: для выработки режимной информации в целях обеспечения проектирования промышленных, гражданских и транспортных наземных объектов.

е) Критические значения интенсивности осадков (только жидких), выпадающих на вертикальные поверхности, требуются

в оперативной практике:

— по мере возникновения: для эксплуатации промышленных, гражданских и транспортных наземных объектов.

3. Целесообразные изменения в методике получения информации об осадках

Проведенный анализ недостатков существующей системы и требований потребителей позволяет предложить некоторые меры по улучшению этой системы.

3.1. Для улучшения измерения количества осадков:

— измерять разными, специально для этого предназначенными приборами осадки жидкие и осадки твердые и смешанные. Эта мера позволит использовать имеющиеся возможности устранения больших систематических ошибок измерения;

— жидкие осадки измерять наземным дождемером [3, 16], который обеспечивает устранение систематических ошибок в суммах осадков за любой период от срочных до месячных;

— использовать метод измерения твердых и смешанных осадков двумя осадкомерами [13, 17—19]. Метод позволяет определять количество осадков этих видов без существенных систематических ошибок и при количестве измеренных осадков больше 10 мм характеризуется приемлемыми значениями случайных ошибок (примерно 10—30%). Метод пригоден для использования как на станциях, так и на постах для получения информации о декадных и месячных суммах осадков, т. е. в основном режимного назначения;

— в целях повышения точности измерений методом двух осадкомеров и существенного сокращения затрат труда на эти наблюдения измерять осадки дополнительным осадкомером (без ветровой защиты) [18] не в каждый срок наблюдений, а лишь один раз в декаду или в месяц.

В оперативные сообщения (в телеграммы за отдельные сроки) включать по-прежнему измеренные значения осадков (с поправкой на смачивание), а в режимных сообщениях (таблицах) публиковать как их месячные суммы, так и месячные суммы осадков, исправленные всеми видами поправок; значения поправок к суммам осадков за месяцы холодного периода получать методом двух осадкомеров;

— информацию режимного и агрометеорологического назначения, т. е. суммы осадков за месяц (декаду) получать не сложением срочных данных, а непосредственным измерением один раз в месяц (декаду). Такая мера, помимо снижения ошибок измерений, существенно сократит затраты труда на эти наблюдения;

— на гидропрогностических постах измерять осадки в теплый период года 1 раз в сутки (в ливнеопасных районах через каждые 3 ч), а в холодный период — 1 раз в декаду или месяц;

— произвести климатические обобщения материалов измерений осадков между синфазными сроками и выявить различия между дневными и ночными осадками с целью отменить затем эти измерения и тем самым вдвое сократить нагрузку наблюдателя, оставив только два срока наблюдений в сутки (синхронных);

— ввести измерение месячных сумм осадков в программу ав-

томатической климатологической станции. Эта мера необходима для освещения режимными данными не освоенных в настоящее время территорий страны;

— существенно увеличить сеть осадкомерных пунктов в высокогорных частях речных бассейнов. Сеть должна состоять из суммарных осадкомеров, позволяющих получать информацию о месячных суммах осадков без подхода к ним наблюдателя. Эта мера необходима для улучшения гидрологических прогнозов;

— ввести в программу станций и постов, информация которых используется для эксплуатации промышленных и гражданских сооружений, наблюдения за количеством жидких осадков, выпадающих на вертикальные поверхности различных ориентаций. С этой целью разработать соответствующий прибор или метод.

3.2. Для получения информации об интенсификации осадков:

— изменить порядок обработки записей существующих плювиографов, с тем чтобы их информация не пропадала частично, как это имеет место в настоящее время;

— ввести в программу части осадкомерной сети регистрацию интенсивности твердых и смешанных осадков, для чего создать соответствующий прибор;

— на ограниченной сети регистрировать интенсивность осадков, выпадающих на вертикальные и наклонные поверхности различной ориентации.

3.3. Для улучшения наблюдений за гидрометеорами:

— создать индикаторы осадков, способные регистрировать их выпадение и подавать сигналы о нем наблюдателю;

— пересмотреть требования к составу наблюдений за атмосферными явлениями с целью упрощения наблюдений за гидрометеорами и облегчения перевода этих наблюдений на иструментальную основу.

4. Необходимые приборы

Чтобы реализовать предложения, приведенные в п. 3, необходимо пополнить состав приборов, используемых для получения информации об атмосферных осадках. Вместо имеющихся сейчас трех первичных преобразователей (осадкомер О-1, плювиограф П-2, суммарный осадкомер М-70) потребуются следующие 12 приборов:

— дождемер — измеритель жидких осадков; рассчитан на измерение количества жидких осадков за 3 или 6, 9, 12, 24 ч;

— осадкомер — измеритель твердых и смешанных осадков; рассчитан на измерение количества этих осадков за 3 или 6, 9, 12, 24 ч;

— суммарный дождемер — измеритель декадных или месячных сумм жидких осадков;

— суммарный осадкомер — измеритель декадных или месячных сумм твердых и смешанных осадков;

— самописец жидких осадков — регистратор интенсивности жидких осадков;

— самописец твердых и смешанных осадков;

— ливнемер — сигнализатор критических (опасных и особо опасных) значений количества осадков за 1, 6, 12, 24 ч;

— индикатор осадков — отметчик и сигнализатор времени начала и окончания выпадения осадков, регистратор длительности выпадения;

горный сезонный (или месячный) тотализатор с радиоканалом связи — работающий автономно измеритель количества осадков за длительный период;

— автономная климатическая станция — работающая автономно станция с сезонным накоплением информации, в том числе о количестве и продолжительности осадков;

— измеритель количества жидких осадков, выпадающих на вертикальную поверхность;

— регистратор интенсивности жидких осадков, выпадающих на вертикальную поверхность.

Практическая работа по разработке перечисленных приборов покажет, по-видимому, что некоторые из них можно объединить в одной конструкции. Желательно, разумеется, чтобы новые приборы могли использоваться также и как датчики дистанционных или автоматических метеорологических станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова Э. Г. Исследование ветровой погрешности измерения осадков.— Труды ГГО, 1966, вып. 195, с. 40—52.

2. Богданова Э. Г. О возможности учета ветровой погрешности в текущих наблюдениях за жидкими осадками.— Труды ГГО, 1971, вып. 260, с. 3—23.

3. Временные указания гидрометеорологическим станциям и постам по измерению жидких атмосферных осадков наземным дождемером.— Л.: Ротапринт ГГО, 1975.— 10 с.

4. Код для передачи данных гидрометеорологических наблюдений с наземных и морских наблюдательных станций КН-01.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981— 72 с.

5. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974.— 638 с.

6. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969.— 307 с.

7. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 2.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969.

8. Нечаев И. Н. Потери осадков на смачивание осадкомеров и методика корректировки сумм осадков.— Труды ГГО, 1965, вып. 175, с. 76—86.

9. Нечаев И. Н. Исследование погрешности измерения атмосферных осадков, вызванной испарением их из прибора.— Труды ГГО, 1968, вып. 215, с. 73—87.

10. О составе, точности и пространственном разрешении информации, необходимой для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и службы гидрометеорологических прогнозов /Под ред. Н. А. Петросянца и В. Д. Решетова.— Л., Гидрометеоиздат, 1975.— 220 с.

11. Струзер Л. Р. Первые результаты корректировки норм атмосферных осадков на территории СССР.— Изв. АН СССР, Сер. геогр., 1967, № 3, с. 90—95.

12. Струзер Л. Р. и др. Опыт корректировки норм осадков.— Труды ГГО, 1968, вып. 215, с. 3—15.

13. Струзер Л. Р. Метод измерения правильных величин твердых атмосферных осадков.— Труды ГГО, 1969, вып. 244, с. 41—47.

14. Струзер Л. Р. О способах учета ошибок осадкомеров, вызванных попаданием в них «ложных» осадков во время метелей.— Труды ГГО, 1970, вып. 260, с. 35—60.

15. Струзер Л. Р., Брязгин Н. Н. Методика вычисления поправок к измеренным величинам атмосферных осадков в полярных районах.— Труды ГГО, 1971, вып. 260, с. 61—76.

16. Струзер Л. Р. О применении наземных дождемеров для измерения количества жидких осадков.— Труды ГГО, 1972, вып. 280, с. 115—127.

17. Струзер Л. Р. Метод измерения количества твердых атмосферных осадков двумя осадкомерами (сообщение второе: обоснование расчетных зависимостей метода).— Труды ГГО, 1978, вып. 416, с. 43—55.

18. Струзер Л. Р. Метод измерения количества твердых атмосферных осадков двумя осадкомерами (сообщение третье: применение метода на гидрометеорологических станциях).— Труды ГГО, 1980, вып. 435, с. 22—39.

19. Струзер Л. Р. Метод измерения твердых атмосферных осадков двумя осадкомерами (сообщение четвертое: испытание метода).— Труды ГГО, 1980, вып. 435, с. 40—51.

Л. С. Мордовина

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА АТМОСФЕРНЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ

Сведения об атмосферных явлениях составляют существенную часть информации, вырабатываемой метеорологической станцией (около половины всех наблюдаемых параметров). Наблюдения за атмосферными явлениями на метеорологических станциях производятся непрерывно и включают: установление факта наличия явления, времени его начала и окончания, вида явления, визуальную оценку интенсивности явления. На постах наблюдатель только отмечает факт явления. В зависимости от характера явлений, степени их интенсивности и продолжительности часть атмосферных явлений считается опасной или особо опасной. В этом случае помимо фиксации наличия явления отмечаются значения некоторых метеорологических параметров. Таким образом, слежение за состоянием погоды, особенно в ситуации, когда ожидаются или уже наблюдаются штормовые явления, требует от наблюдателя постоянного внимания.

Первичная обработка результатов наблюдений за атмосферными явлениями состоит в записи в книжке КМ-1 сведений о наблюдаемых явлениях с дальнейшей их перфорацией для режимных обобщений, во включении этих сведений в метеорологические телеграммы согласно коду КН-01, а также в составлении и передаче штормовых оповещений в тех случаях, когда наблюдаются опасные и особо опасные явления.

Перечень атмосферных явлений определяется «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам» [9] и кодом КН-01 [3]. Состав явлений, упоминаемых в [3, 9], а также классификация их по видам и градациям интенсивности несколько различаются, что безусловно затрудняет работу наблюдателя. Во многих случаях [3] требуется выделение двух градаций интенсивности, в то время как согласно [9] наблюдатель выделяет три градации. И если для тумана, дымки и мглы указаны критерии, определяющие интенсивность явления, то для большинства явлений вообще не определено понятие интенсивности.

Проведенное нами сравнение количества выпадающих твердых осадков при снегопадах разной интенсивности показало, что интенсивность снегопада, фиксируемая наблюдателем, зависит не

только от действительной интенсивности, которую можно определить по количеству снега, попадающего в осадкомер в единицу времени, но и от климатических условий на станции. Представления о слабом, умеренном и сильном снегопадах у наблюдателя в Якутии и Белоруссии различны. И то, что наблюдатель из Якутии отмечает как сильный снегапод, наблюдатель в Белоруссии относит к слабому снегопаду.

Кроме вида и интенсивности явления, согласно коду КН-01, наблюдатель обязан отметить для некоторых явлений (например, различных видов осадков), имеются ли перерывы в течении явления, а также изменение интенсивности в течение последнего часа.

Современный наблюдатель при соблюдении всех инструкций должен визуально воспринять и переработать большое количество информации. В его памяти должен храниться ряд качественных критериев и признаков, на основе которых он подразделяет явления на виды, градации интенсивности и идентифицирует их с той или иной цифрой кода. В условиях штормовой ситуации, когда наблюдатель следит одновременно за изменениями нескольких параметров, нагрузка наблюдателя увеличивается и значительно превышает среднюю.

Все это приводит к тому, что достоверность визуальных наблюдений оказывается невысокой. Причины, вызывающие ошибки в определении явлений, условно можно разбить на две группы. Часть из них связана с недостаточной внимательностью наблюдателя, а также с большим числом разноречивых требований, предъявляемых к наблюдателю в [3, 9]. К объективным причинам следует отнести ошибки определения явления, его вида и интенсивности, связанные с недостаточной четкостью формулировок в [9]. Однако представляется, что ошибки такого рода не могут быть полностью исключены при переходе к инструментальным методам наблюдения в силу специфики самих атмосферных явлений.

Действительно, каждое явление представляет собой сложный комплекс процессов, которые не всегда могут быть сведены к одному. Фактически, принимая решение о том, чтобы отметить начало явления или изменение интенсивности, наблюдатель производит оценку ситуации с учетом многих факторов, поэтому в идеальном случае прибор, регистрирующий атмосферные явления, должен представлять сложную схему, объединяющую несколько датчиков.

Но усложнение устройств, регистрирующих явления, не сможет полностью исключить все погрешности. Так, останется еще погрешность, связанная с выбором порога чувствительности, определяющего минимальную интенсивность явления, которая может быть зафиксирована датчиком. Выбор порога чувствительности прибора является важным моментом при переходе на иструментальные методы наблюдений, так как правильный выбор этой величины должен обеспечить стыковку новых (инструментальных)

и старых (визуальных) рядов наблюдений. Следует подчеркнуть, что при визуальных наблюдениях эта величина остается неопределенной, произвольно зависящей от наблюдателя. Точно так же выбор некоторых дискретных значений в качестве градаций интенсивности в настоящее время является субъективным и, как об этом свидетельствует пример со снегопадами, в среднем меняется от одной климатической зоны к другой. Поэтому в режимных обобщениях нигде не фигурирует интенсивность явления, а в тех случаях, когда потребителя интересует не только такая обобщенная характеристика, как повторяемость явления, в качестве интенсивности явления используются количественные критерии: количество грозовых разрядов при грозе [5], объем переносимого снега при метели, который в свою очередь рассчитывается по данным о скорости ветра [8[, интенсивность осадков по плювиографу. Кроме того, для оперативного обслуживания уже в настоящее время помимо визуальных наблюдений в качестве критериев опасной ситуации используются также и пороговые значения измеряемых параметров.

Учитывая сказанное выше о необходимости улучшения качества наблюдения за атмосферными явлениями и уменьшения нагрузки наблюдателя в сложных условиях штормовой ситуации в руководящих методических материалах на подсистему наземных метеорологических наблюдений рекомендованы следующие мероприятия.

1) Разработка более четких определений атмосферных явлений и более четких критериев вида и интенсивности, по возможности исключающих неоднозначность толкования. Для этого критерии должны быть жестко связаны со значениями измеряемых параметров, таких как скорость ветра, видимость, влажность и др.

2) Создание и оснащение автоматических станций, работающих в труднодоступных районах, датчиками начала и конца наиболее опасных и часто встречающихся явлений: грозы [1, 7], метели, гололедно-изморозевых явлений [1], тумана [13], осадков (с разделением на два вида: жидкие и твердые) [14].

Принципы, на которых могут быть основаны такие датчики, известны, и для некоторых из датчиков созданы макеты, но доведение их до сетевых приборов требует проведения значительной работы, так как каждый из них обладает рядом недостатков. Учитывая, что автоматическая станция наряду с датчиками измеряемых параметров включает в вычислительное устройство, целесообразно продолжить работу [12] по разработке более надежных алгоритмов идентификации атмосферных явлений по комплексу измеряемых параметров, так как если некоторые из разрабатываемых алгоритмов обеспечат достаточную надежность распознавания, то предпочтительней основывать фиксацию явлений не на датчиках, а на использовании физических связей между ними и измеряемыми параметрами.

3) Создание сигнализаторов опасных ситуаций, предназначенных для работы на обслуживаемых станциях. Примером сигнали-

затора такого рода в применении к гололедно-изморозевым явлениям служит устройство, представленное в [4]. Такой сигнализатор состоит из нескольких датчиков измеряемых параметров, соединенных с логическими элементами. В ситуации, когда значение некоторой функции этих параметров достигает заданной величины, свидетельствующей об опасной ситуации, устройство выдает сигнал, который может включить специальный датчик или привлечь внимание наблюдателя. В последнем случае сигнализатор позволяет освободить наблюдателя от необходимости непрерывного слежения за состоянием погоды.

Суммируя сказанное в пп. 1—3, следует сделать вывод о необходимости дальнейших исследований для уточнения физических условий развития атмосферных явлений различных видов и интенсивностей.

4) Оснащение сети датчиками грозы. В настоящее время существует много вариантов датчиков, способных заменить наблюдателя [1, 7]. Гроза относится к числу опасных и особо опасных явлений. Данные наблюдений за грозами используются как в оперативной работе, так и для получения режимных характеристик. Потребитель заинтересован в быстроте поступления информации и минимальном числе пропусков гроз. Существующая методика визуальных наблюдений не отвечает этим требованиям. Значительная часть гроз пропускается, поэтому при переходе к инструментальным методам наблюдений количество гроз на рассматриваемой территории увеличивается. Переход к радиолокационному методу обнаружения гроз дал увеличение числа гроз на освещаемой МРЛ территории в 1,5—2 раза [2]. Для обслуживания авиации, кроме факта наличия грозы в районе аэропорта, требуется знание направления перемещения грозы, ее интенсивности, фазы развития. Все это возможно лишь с помощью инструментальных методов наблюдения за грозами [6, 11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматическая станция КРАМС /Под ред. Л. П. Афиногенова, М. С. Стернзата.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974.

2. Гольдберг М. А. Использование данных автоматизированных средств измерений для режимных обобщений.— В кн.: Разработка и эксплуатация автоматических метеорологических станций. Труды II Междунар. симпозиума. Минск, 1972.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с. 154—163.

3. Код для передачи данных гидрометеорологических наблюдений с наземных и морских наблюдательных станций КН-01.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981.— 72 с.

4. Колмогорова И. М. Исследование и разработка предупредительной сигнализации для плавки гололеда на сельских линиях электронагрузки. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук.— М., 1977.

5. Колоколов В. П. Грозовая деятельность по данным инструментальных наблюдений.— Труды ГГО, 1968, вып. 225, с. 1—15.

6. Лещенко Г. П., Тысинюк Н. М. Примеры использования панорамного регистратора гроз при метеообеспечении авиации.— Труды ГГО, 1977, вып. 350, с. 18—22.

7. Махоткин Л. Г., Иньков Б. К. Однопунктные методы наблюдений за грозовыми очагами.— Труды ГГО, 1969, вып. 242, с. 32—36.

8. Михель В. Н., Руднева А. В., Липовская В. И. Переносы снега при метелях и снегопады на территории СССР.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
9. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1.— Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
10. Разработка и эксплуатация автоматических метеорологических станций. Труды II Междунар. симпозиума. Минск, 1972 /Под ред. В. К. Бабарыкина, Д. П. Беспалова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974.—200 с.
11. Результаты использования грозопеленгатора ПАГ-1 в составе метеорологического радиолокатора МРЛ-2 для обнаружения гроз /Н. В. Бару, Г. Б. Брылев, В. П. Колоколов и др.— Труды ГГО, 1975, вып. 358, с. 96—103.
12. Федорова Е. А. Определение наличия атмосферных явлений по данным автоматических станций.— Труды ГГО, 1977, вып. 396, с. 70—76.
13. Юрчук В. А. Автоматическая радиометеорологическая станция М-107.— В кн.: Разработка и эксплуатация автоматических метеорологических станций. Труды II Междунар. симпозиума. Минск, 1972.—Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с. 105—110.
14. Peck R. C., Atkins E. W., Hill A. N. A selective precipitation indicator for weather stations — In: Symposium on automatic meteorological stations. Potsdam, 1970.

С. А. Смирнов

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЗА ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ

На сети гидрометстанций СССР проводятся как визуальные, так и инструментальные наблюдения за обледенением проводов гололедного станка. При визуальных наблюдениях определяется только вид гололедно-изморозевого отложения, а именно иней, гололед, зернистая и кристаллическая изморозь или замерзшее отложение мокрого снега, интенсивность и общая продолжительность явления. При инструментальных наблюдениях определяется также вид отложения, причем к вышеперечисленным прибавляется еще и сложное отложение, но исключается иней. Продолжительность явления разделяется на продолжительность периода нарастания до момента достижения отложением максимальных размеров на проводах гололедного станка и продолжительность всего случая от момента возникновения осадка до его полного исчезновения. При инструментальных наблюдениях определяются размеры (диаметр D и толщина T отложений) и масса отложений в граммах на погонную длину 1 м провода диаметром 5 мм [5].

Результаты инструментальных наблюдений являются основой для всевозможных расчетов, связанных с определением нагрузок на различные сооружения и с климатическим районированием территории Советского Союза по интенсивности обледенения. Поэтому к наблюдениям за гололедно-изморозевыми явлениями должны предъявляться повышенные требования в отношении точности и систематичности наблюдений.

Основным недостатком существующей методики инструментальных наблюдений за обледенением является несовершенство самого гололедного станка: малая высота подвески проводов, жесткость их крепления, недостаточная длина провода. Данные, полученные в результате наблюдений по гололедному станку, могут только очень приблизительно характеризовать действительные размеры отложения на проводах линий электропередачи и связи, свободно подвешенных на высоте 10 м и более над землей. Провода закручиваются по продольной оси при неравномер-

ном осаждении осадка на проводе, выравнивая отложение, что вызывает различие не только в размерах осадка, но и в его плотности, интенсивности образования и продолжительности явления [4].

В связи с этим в ряде районов Советского Союза были организованы параллельные наблюдения по гололедным станкам и опытным пролетам, соответствующим типовым пролетам воздушной линии электропередачи.

Эти специальные наблюдения позволили получить данные об обледенении проводов в условиях, близких к тем, в которых находятся провода ЛЭП, и уточнить коэффициенты пересчета данных, полученных по гололедному станку для проводов ЛЭП (с учетом диаметра, высоты подвеса и упругости провода) при отложении на них гололеда, зернистой изморози и мокрого снега [2].

Допустимые погрешности определения параметров гололедно-изморозевых отложений инструментальным способом выведены на основании изучения возможных инструментальных ошибок и требований народнохозяйственных организаций к этим наблюдениям. Инструментальная погрешность определения диаметра и толщины отложения ± 1 мм, массы отложения ± 2 г. Общая погрешность измерения, допустимая при производстве наблюдений, составляет 10% для размеров и 5% для массы. В аналитическом выражении это будет выглядеть следующим образом: для размеров $\pm(1+0{,}1R)$, для массы $\pm(2+0{,}05P)$.

Специально организованные наблюдения по двум гололедным станкам с ориентацией, отличающейся на 45°, позволили определить фактические погрешности, допускаемые при производстве инструментальных наблюдений за обледенением по гололедному станку. Для различных видов отложений эти погрешности оказались разными (таблица).

Средняя квадратическая погрешность (σ) определения размера отложения

Вид отложения	Ветер, м/с	Угол, ...°	Параметры отложения, мм	σ
Кристаллическая изморозь	0—2	$\leqslant 45$	$D=9{,}5$	0,90
			$T=7{,}6$	0,93
	0—2	>45	$D=9{,}6$	0,72
			$T=7{,}6$	0,73
	0		$D=15{,}6$	0,65
		$\leqslant 45$	$T=14{,}5$	0,69
Зернистая изморозь	8	>45	$D=21{,}2$	1,59
			$T=10{,}9$	1,38
	8	—	$D=21{,}2$	1,40
			$T=10{,}9$	1,08
Гололед	2,5	$\leqslant 45$	$D=9{,}4$	0,98
			$T=6{,}5$	0,65
	2,5	>45	$D=10{,}6$	1,06
			$T=7{,}4$	0,91

Мы видим, что для изморози существует зависимость характера отложения от угла, образованного влагонесущим потоком, и направлением провода, хотя для гололеда характер отложения примерно одинаков при различных углах.

Погрешность определения продолжительности периода нарастания и всего случая можно считать равной 0,5 ч с учетом принятого порядка округления продолжительности до целого часа.

Точность, предъявляемая народнохозяйственными организациями к измерению параметров гололедно-изморозевых отложений, вполне обеспечивается существующей системой наблюдений [1]. Недостатком проводимых наблюдений является отсутствие непосредственных определений параметров отложений на уровне ЛЭП. Выше мы говорили об организации параллельных наблюдений на проводах гололедного станка и ЛЭП, в результате осуществления которых были получены переходные уравнения от станка к проводам ЛЭП [8]:

для кристаллической изморози

$$R_{12}=1{,}14R_2-0{,}14 \quad \text{и} \quad P_{12}=1{,}86P_2+1{,}72,$$

для зернистой изморози

$$R_{12}=1{,}08R_2+0{,}60 \quad \text{и} \quad P_{12}=0{,}80P_2+10{,}90.$$

При ситуациях, соответствующих условиям, благоприятствующим образованию гололедно-изморозевых отложений, инструментальные наблюдения проводятся не реже чем через каждые 1,5 ч.

Особое внимание обращается на образование гололеда и мокрого снега, которые с момента своего возникновения являются опасными явлениями, а также на рост изморози, которая становится опасной по достижении отложением 30 мм и более.

Учитывая локальный характер явления, его зависимость от местных условий, густота сети наблюдательных пунктов за обледенением определяется наличием местных факторов, способствующих возникновению гололедно-изморозевых образований (климатических и циркуляционных условий, а также рельефа местности). На равнинной территории расстояние между пунктами должно быть не менее 25 км (так же, как для осадков). В горных районах сеть должна быть более густой.

Первичная обработка данных гололедно-изморозевых измерений заключается в определении большого и малого диаметров отложения (за вычетом диаметра провода), в подсчете продолжительности периода нарастания и всего случая обледенения и в пересчете массы отложения на погонную длину 1 м провода. При многократном измерении отложения его масса подсчитывается по определенной плотности на сменном проводе и по размерам на постоянном проводе [3]. Все данные заносятся в соответствующие графы книжки наблюдений КМ-4. По окончании месяца данные наблюдений переносятся на перфоленту и направляются в центр сбора для обработки на ЭВМ, с которой выдается месячная таблица ТМ-5. В эту таблицу включаются сведения о

температуре, скорости и направлении ветра, сопутствующих обледенению.

Допустимые погрешности определения размеров отложения иногда оцениваются в условных единицах толщины нормативной стенки гололеда (b), которая равна

$$b=\frac{1}{2}\left[\sqrt{(ac+d^2)\frac{\gamma'}{\gamma}+d^2}-d\right].$$

Положив $a=c$ (диаметр и толщина отложения), получим

$$a=\frac{4(b^2+bd)\gamma}{\gamma'}+d^2,$$

где d — диаметр провода; γ и γ' — реальный и условный объемный вес отложения.

Предельная погрешность в пункте измерения, равная ±3 мм толщины нормативной стенки гололеда в реальных размерах отложения, будет равна в зависимости от диаметра провода: для сложного отложения — от 10,5 до 12 мм, для зернистого отложения изморози — от 7,0 до 8,0 мм, для гололеда — от 6,0 до 6,5 мм.

Вес гололедных отложений различной повторяемости по высотам до 1000 м по требованию народнохозяйственных организаций должен определяться с предельной погрешностью по пункту ±20% и по территории ±30%, что вполне удовлетворяется существующей методикой измерений [9, 10].

Для обеспечения народнохозяйственных организаций СССР более полными данными о параметрах гололедно-изморозевых отложений необходимо организовать их непрерывную регистрацию. Кроме того, на отдельных станциях в гололедных районах при расположении поблизости линий электропередачи должны проводиться наблюдения за гололедно-изморозевыми отложениями на уровне подвеса проводов ЛЭП. В качестве датчика, сигнализирующего о начале гололедообразования, может быть рекомендован предупредительный сигнализатор, основанный на применении гигристора с косвенным подогревом.

Для непрерывной регистрации массы гололедно-изморозевых отложений должен быть сконструирован самописец, датчиком которого может быть рекомендован вертикальный стержень диаметром 15—20 мм. Существовавшие ранее конструкции гололедографов с вертикальным стержнем меньшего диаметра (5 мм) не оправдали себя, не обеспечив требований к получению основных характеристик процесса гололедообразования и прежде всего необходимой точности. Это гололедограф М-28 ЭДГ-53 и др.

Эксперментальные работы, проводившиеся по унификации методики инструментальных наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями, показали приемлемость вертикального стержня достаточной толщины для использования его в качестве датчика самопишущего прибора. Были получены переходные коэффициенты для массы от вертикального стержня к проводам гололедного станка, а также к проводам различных диаметров (5, 14 и 25 мм), свободно подвешенных на трех уровнях (1,6; 1,9

и 2,2 м). Кроме того, были установлены особенности характеристик отложения на вертикальном стержне, которые следует учитывать при использовании получаемых материалов. Это прежде всего меньшая плотность отложения на вертикальном стержне, иное соотношение между малым и большим диаметрами отложения при одном и том же ветре на стержне по сравнению с горизонтальным проводом и др. Однако для основной характеристики — массы — вертикальный стержень дает вполне приемлемые результаты, которые могут быть использованы для последующих расчетов [6].

Имея данные о массе гололедно-изморозевых отложений, температуре воздуха и скорости ветра в период обледенения, можно, пользуясь разработанной методикой, получить и остальные параметры отложений, а именно вид отложения, его плотность, соотношение между малым и большим диаметрами и значение большого диаметра отложения [7].

Поэтому самописец, регистрирующий массу или плотность отложения, может явиться датчиком автоматической станции или самостоятельно обеспечить получение всех параметров отложения, необходимых для обслуживания народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драневич О. П. Гололед и изморозь.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.
2. Колмогорова И. М. Исследование и разработка предупредительной сигнализации для плавки гололеда на сельских линиях электропередачи. Автореф. дис.— М.: Ин-т инженеров сельхозпроизводства им. В. П. Горячкина. 1977.
3. Методические указания по наблюдениям над обледенением проводов на рабочих уровнях воздушных линий электропередачи.— Л.: Гидрометеоиздат, 1970.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч.1.— Л.: Гидрометеоиздат, 1970.
5. О составе, точности и пространственно-временном разрешении информации, необходимой для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и службы гидрометеорологических прогнозов /Под. ред. М. А. Петросянца, В. Д. Решетова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.
6. Положение о сборе сведений и порядке предупреждений об особо опасных гидрометеорологических явлениях.— М.: Гидрометеоиздат, 1972.
7. Смирнов С. А. Определение характеристик отложения при продолжительных случаях обледенения.— Труды ГГО, вып. 244, 1969, с. 60—64.
8. Смирнов С. А. Зависимость параметров гололедно-изморозевых отложений от диаметра, высоты подвеса и системы крепления проводов.— Труды ГГО, вып. 340, 1974, с. 15—24.
9. Смирнов С. А. Методика гололедных наблюдений на сети гидрометеорологических станций и постов ГУГМС.— В кн.: Труды Межведомственного совещания.— Л.: Гидрометеоиздат, 1970.
10. Смирнов С. А. Об унификации методики инструментальных наблюдений над гололедно-изморозевыми отложениями.— Труды ГГО, вып. 345. 1975.
11. Смирнов С. А. Определение параметров гололедно-изморозевых отложений по их массе.— Труды ГГО, вып. 375, 1976.

И. А. Дюбкин

ТРЕБОВАНИЯ К СОЗДАНИЮ МОРСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ

В последнее десятилетие проблеме изучения Мирового океана уделяется особенно большое внимание как с научной, так и с экономической точки зрения. С целью изучения гидрометеорологических процессов, происходящих над акваториями океанов и морей, наряду с национальными организуются и крупные международные эксперименты: ТРОПЭКС, МУССОН, ПГЭП и др.

Основным средством для получения научной информации в этих экспериментах являются научно-исследовательские суда (НИС). Однако до настоящего времени техническое оснащение гидрометеорологических отрядов судов не удовлетворяет современным требованиям [8,47—49]. Поэтому по линии Госкомгидромета проводятся мероприятия по созданию современных измерительных комплексов для научно-исследовательского флота и судов Министерства морского флота (ММФ) и Министерства рыбного хозяйства (МРХ) [11—13, 18—23].

Целью настоящей работы является попытка систематизации основных требований по построению морской метеорологической подсистемы (ММП), которые вытекают как из опыта работ в этом направлении, так и из литературных источников.

1. Состав метеорологической сети

Представляется, что в ближайшие десятилетия основным поставщиком научной и оперативной гидрометеорологической информации о процессах, происходящих в нижних слоях атмосферы над акваториями океанов и морей, будут прямые измерения на подвижных платформах наблюдений (суда, самолеты). При этом суда ММФ и МРХ по-прежнему будут оставаться главным источником информации для прогностических центров. Постоянно будет возрастать и роль искусственных спутников Земли (ИСЗ) как источника оперативной и научной гидрометеорологической информации, хотя в обозримом будущем ИСЗ не смогут полностью заменить

прямые наблюдения в нижних слоях атмосферы. Это обусловливается как техническими, так и методическими проблемами.

Покрыть равномерно всю акваторию океана судовыми станциями практически невозможно, поэтому необходимо разрабатывать различного рода буйковые автоматические станции, сбор информации с которых должен осуществляться при помощи ИСЗ или специальных судов [22].

Кроме того, важные сведения о состоянии верхних слоев тропосферы могут поставлять пассажирские самолеты, совершающие трансокеанические перелеты. Донесения экипажей самолетов могут оказаться полезными при анализе научной информации ИСЗ.

Роль воздушных шаров, летающих на заданных изобарических высотах, в сборе метеорологической информации в верхних слоях тропосферы тоже должна возрастать.

На побережье океанов и морей, а также на островах должна продолжать развиваться сеть наземных пунктов наблюдений.

Таким образом, морская метеорологическая сеть должна состоять из судов ММФ и МРХ, научно-исследовательских судов Госкомгидромета и других ведомств, береговых морских станций, самолетов, ИСЗ, буйковых станций и воздушных шаров, летающих на уровне заданных изобарических поверхностей. При этом роль последних трех источников гидрометеорологической информации в будущем будет возрастать в научном и оперативном планах.

2. Пространственное размещение морских метеорологических станций

Учитывая, что для акваторий океанов и морей существующий принцип построения гидрометеорологической сети [16, 26, 36] в ближайшие годы не может быть осуществлен главным образом по техническим и экономическим причинам, для сбора прогностической гидрометеорологической информации с акваторий океанов и морей должен сохраниться принцип попутных наблюдений на судах ММФ, МРХ, НИС и НИСП, а также на трансокеанических воздушных лайнерах.

В будущем объединенными усилиями разных стран должна создаваться сеть буйковых станций, равномерно расположенных по всей акватории океанов и морей. Но создать сеть буйковых станций, удаленных друг от друга на 100—150 км, что считается оптимальным расстоянием для наземных метеорологических станций, для морских условий — неразрешимая задача. Поэтому сеть буйковых станций должна создаваться, исходя из конкретных задач и технических возможностей данного этапа реконструкции сети. В частности, как показано в [26], в современных условиях целесообразно создавать сеть равномерно расположенных буйковых станций, измеряющих значения метеорологических элементов с некоторой погрешностью, а не устанавливать единичные станции с уникально малой погрешностью измерения [13, 20].

Поскольку пространственная изменчивость поля давления и температуры воздуха существенно меньше изменчивости других метеорологических элементов [1, 2, 4, 20, 29], целесообразно учитывать этот фактор при создании сети буйковых станций на первом этапе реконструкции сети морских станций.

Как следует из работ [7, 26], при расстоянии между станциями, измеряющими атмосферное давление, примерно 500 км, погрешность объективного анализа поля давления не превышает 0,5 гПа, что соответствует требованиям, предъявляемым в [40] для прогностической информации. Поэтому на первом этапе создания сети равномерно расположенных буйковых станций на акватории океанов за оптимальное расстояние можно принять 500 км. Естественно, в районах с большей изменчивостью полей давления и температуры это расстояние желательно уменьшить до 300—200 км [26]. Для создания такой сети на акватории океанов потребуется установить около 2000 буйковых станций.

В настоящее время для прогностических и научных целей целесообразно устанавливать буйковые станции полигонами в вершинах квадратов с длиной сторон 500—600 км. В случае если указанные полигоны создаются для решения конкретных научных или оперативных задач, расстояние между пунктами наблюдений должно соответственно уменьшаться. Места создания таких полигонов в каждом конкретном случае должны согласовываться с Гидрометцентром СССР и другими заинтересованными учреждениями. Это могут быть центры действия атмосферы, тропическая зона и др.

3. Требования к погрешности измерения

Как известно, результаты любых инструментальных измерений могут содержать погрешность, обусловленную средством, а также методом измерения, состоящую из систематической и случайной составляющих. Систематическая составляющая погрешности измерения должна устраняться конструктивно. Однако в последнее время появилось понятие так называемой скрытой систематической погрешности, которую практически невозможно отделить от случайной. Применительно к морским измерениям, где не имеется регулярной сети пунктов наблюдений, скрытую систематическую погрешность целесообразно включать в суммарную погрешность измерения. Поэтому здесь будем рассматривать суммарную приборную погрешность, включающую систематическую и случайную составные части.

Необходимо также напомнить, что инструментальная погрешность приборов, измеряющих гидрометеорологические величины, обычно не совпадает с погрешностью информации, получаемой в процессе измерения этими приборами в природных условиях, так как последняя определяется еще и природной изменчивостью в пространстве и во времени измеряемых элементов [26, 40]. Следовательно, надежность гидрометеорологической информации за-

висит не только от погрешности приборов, но и от расстояния между пунктами наблюдений и дискретности измерений в этих пунктах, т. е. и от интервала осреднения измеряемой величины в пространстве и во времени. Такой подход к определению допускаемой погрешности измерения значений гидрометеорологических элементов был заложен ири определении требований по точности научной информации, предназначенной для различных отраслей народного хозяйства [40].

Исходя из экономической целесообразности, приборная погрешность измерения значений метеорологических элементов должна быть лишь несколько меньше, чем пространственная изменчивость данного элемента при заданном расстоянии (l) между пунктами измерения. При этом точность информации для целей численного прогноза можно повысить, если использовать результаты интерполяции в узлы регулярной сетки с шагом менее расстояния l.

Кроме того, на точность морской метеорологической информации большое влияние оказывают и такие факторы, как искажающее влияние архитектуры судна, качка судна, электрические наводки и агрессивность среды.

Например, на основании результатов анемометрических съемок НИС «Академик Ширшов», проведенных в эксперименте МУССОН-77, установлено, что за счет искажающего воздействия архитектуры судна с высотой скорость ветра может не расти, а уменьшаться [24].

Атмосферное давление под влиянием кондиционерной установки судна может искажаться до 2,0 гПа. При этом на НИС типа «Профессор Визе» давление может занижаться, на НИСП типа «Пассат» — завышаться, хотя и в меньших пределах.

На первом этапе построения морской сети на судах ММФ и МРХ измерение метеорологических величин может производиться, если это окажется целесообразным с экономической точки зрения, с большей погрешностью, чем на сухопутных станциях. Эта рекомендация обусловлена тем, что указанные суда всегда находятся в одиночном плавании. Расстояние между станциями распределяется практически по случайному закону в пределах от десятков до тысяч километров [10, 26, 31].

Погрешность измерения значений метеорологических элементов на буйковых станциях также может превышать на 50—100% погрешности измерения соответствующих величин на наземных станциях [26, 46].

Погрешность измерения на морских станциях I разряда (НИС и НИСП Госкомгидромета), которые работают не только в одиночном плавании, но и объединяются для полигонных наблюдений в районах с малой изменчивостью метеорологических полей, должна быть меньшей, чем на сети наземных станций [26, 38, 47, 48]. Учитывая стоимость самого судна и затраты на его эксплуатацию, на этих судах целесообразно устанавливать уникальную аппаратуру. В частности, ученые Гидрометцентра СССР считают необходимым на судах Госкомгидромета атмосферное давление

измерять с погрешностью 0,01 гПа. Очевидно, такая точность измерения в ближайшее время в судовых условиях не может быть достигнута, но на НИС и НИСП Госкомгидромета необходимо обеспечить погрешность измерения давления хотя бы в 0,2—0,3 гПа.

Погрешность измерения метеорологических параметров на береговых морских станциях должна быть аналогична точности измерения соответствующих величин на сухопутных станциях.

4. Состав наблюдений

На судах ММФ и МРХ должен проводиться прежний комплекс измерений [30, 36]. Однако на НИС Госкомгидромета необходимо ввести спектральные наблюдения по актинометру и обеспечить их регистрацию. Кроме того, необходимо организовать измерения значений суммарной радиации, проникающей на разные глубины океана, измерения количества осадков, минимальной и максимальной температур воздуха. Полный объем наблюдаемых физических величин на сети морских станций определяется руководящими документами [30, 36, 37].

5. Методика наблюдений

В настоящее время инструментально измеряется менее 40 % метеорологических параметров.

На морских станциях всех разрядов уже на первом этапе реконструкции сети станций должна быть обеспечена дистанционная регистрация значений всех измеряемых инструментально метеорологических элементов. При этом применение даже обычных серийных электронных самописцев типа КСП-04 позволит уже в настоящее время отменить визуальные отсчеты по психрометру на открытой палубе. Обычная графическая регистрация всех инструментально измеряемых параметров позволит при осуществлении процессов первичной обработки на ЭВМ снять с наблюдателя 30—40 % ручного труда [25, 27].

На судах ММФ и МРХ и на НИС без ЭВМ необходимо обеспечить накопление информации на техническом носителе в виде, удобном для непосредственного ввода в ЭВМ в береговом вычислительном центре. На НИС при наличии ЭВМ все результаты измерений должны вводиться в ЭВМ непосредственно или через некоторое буферное устройство [13, 21—23].

Следовательно, необходимо, не ожидая «большой» автоматизации, уже в настоящее время осуществлять отмену визуальных методов наблюдений и визуальных отсчетов по приборам на открытой палубе.

На судах Госкомгидромета в период работы в дрейфе должна

осуществляться автоматическая регистрация значений основных метеорологических элементов (давление, влажность, ветер, температура воздуха и воды, видимость, высота облаков), а также составляющих радиационного баланса (суммарная, отраженная и прямая радиация, радиационный баланс). Регистрация должна проводиться как на диаграммные ленты, так и на технический носитель в виде, пригодном для непосредственного ввода в ЭВМ. Дискретность регистрации — не более 2 мин.

6. Период осреднения

Период осреднения обеспечивает сглаживание определенного масштаба турбулентных возмущений анализируемого процесса. Оптимальный период осреднения измеряемых величин на подвижных платформах существенно зависит от скорости движения платформ наблюдения.

При измерении актинометрических параметров на движущихся НИС период осреднения 1 ч [49] при дискретности измерения не более 2 мин, на буйковых станциях — суточные суммы; на судах как одиночных, так и объединенных в группы должна осуществляться непрерывная регистрация всех составляющих радиационного баланса и значений метеорологических элементов с периодом осреднения, равным инерционности прибора (примерно 10—20 с).

На первом этапе для метеорологических измерительных комплексов на морских станциях всех разрядов целесообразно сохранить периоды осреднения, установленные для наземных измерений. В дальнейшем, по мере уточнения сведений о временно́й и пространственной изменчивости основных метеорологических элементов над океанами, будут уточнены и эти величины.

В связи с тем что НИС и НИСП Госкомгидромета работают в районах с различными погодными условиями и решают различные научные задачи, для них оптимальной может считаться измерительная система, позволяющая менять период осреднения в процессе эксперимента.

На всех судовых ГМС необходимо осреднять параметры движения судна (курс и скорость движения) за промежуток времени, равный периоду осреднения анализируемого метеорологического параметра. Например, для вычисления скорости и направления истинного ветра курс и скорость движения судна должны осредняться за 10-минутный интервал времени, соответствующий периоду осреднения параметров кажущегося ветра. По проведенным на судах экспериментам неучет этого фактора может исказить характеристики истинного ветра на 30—40% и более.

Результаты измерения атмосферного давления необходимо также осреднять за интервал времени 2 мин, так как вертикальные перемещения судна (особенно в дрейфе) могут существенно искажать мгновенные отсчеты атмосферного давления.

7. Средства измерения (первичные преобразователи)

Как уже отмечено в [28], в настоящее время в практике морских измерений используются наземные варианты приборов, не аттестованные Госстандартом для морских измерений [24, 47—49]. Для морских метеорологических и актинометрических измерений должны разрабатываться специальные измерительные средства, удовлетворяющие нормативно-техническим характеристикам измерений.

Актинометрические измерения

На первом этапе для морских актинометрических измерений могут быть использованы новые первичные измерительные преобразователи, созданные для наземной сети: пиранометры, актинометры, балансомеры, но в специальном морском исполнении. Кроме того, должен быть разработан подводный пиранометр с чувствительностью 150 мВ/см^2. Рассеянная радиация может вычисляться как разность значений суммарной и прямой радиации. В ближайшем будущем необходимо обеспечить непрерывную регистрацию прямой и рассеянной радиации.

Специфика морских актинометрических измерений требует создания специального вспомогательного оборудования для монтирования на судне актинометрических первичных преобразователей и устройств. Прежде всего необходимо создать актинометрическую стрелу, длина которой (10—12 м) должна превышать на 1—2 м высоту борта над поверхностью моря у форштевня судна для НИС и НИСП Госкомгидромета (типа «Профессор Визе» и «Прилив»). Стрела должна автоматически заводиться на палубу и на ноке нести груз до 40—50 кг, в рабочем состоянии стрела должна находиться при волнении до 6—7 баллов.

Стрела должна быть оборудована:

— устройством для стабилизации горизонта (кардан, репитер гирокомпаса), на котором устанавливаются пиранометры, балансомеры и альбедометры, а также могут устанавливаться термометры и ветроизмерительные приборы;

— специальным устройством, позволяющим закреплять приборы и снимать их, не заводя стрелу на палубу;

— кабельной линией в 25—30 жил с герметическими разъемами.

Необходимо разработать также следящее устройство, обеспечивающее непрерывное автоматическое слежение за солнцем с подвижной платформы; погрешность наведения на диск солнца $\pm 30'$.

Устройство должно находить солнце после затенения диска солнца облаками и после ночного времени, должно удерживать солнце при качке с периодом качки от 3 до 12 с.

При разработке средств измерений метеорологических величин должны учитываться особенности измерений на судах как в плане герметизации и применения материалов, стойких к воздействию агрессивной среды (морские соли, отходы сгорания топлива), так и в плане исключения влияния на результаты измерений влияющих факторов.

При разработке прибора, измеряющего составляющие кажущегося и истинного ветра, необходимо предусмотреть осреднение за 10-минутный интервал времени не только параметров кажущегося ветра, но и параметров движения судна.

До настоящего времени нет прибора для измерения на судах атмосферного давления с необходимой точностью. Для устранения влияния качки судна на результаты измерения атмосферного давления прибор должен осуществлять осреднение за интервал времени 2—3 мин.

Для устранения влияния, кондиционера прибор должен либо выноситься из помещения, где работает кондиционер, либо должно быть сделано специальное устройство, обеспечивающее, с одной стороны, сообщение с наружным воздухом, а с другой стороны — изоляцию прибора от воздействия кондиционера, установленного в помещении.

Измерение температуры и влажности воздуха, а также температуры воды должно быть переведено на дистанционную регистрацию. В настоящее время такую регистрацию представляется возможным осуществить на потенциометре КСП-04. Это простое устройство позволит отменить визуальные отсчеты наблюдателя по ртутным термометрам и получать сведения об экстремальных значениях температуры за любые промежутки времени.

Необходимо также разрабатывать приборы для измерения высоты облаков и дальности метеорологической видимости в условиях отсутствия на судах места для «базы».

Проблема измерения жидких осадков на судах может быть решена при условии выноса приемного устройства, например, воронки на топы мачт. Осадкосборники могут устанавливаться в удобном для наблюдателя месте. Вода от приемного устройства в осадкосборник поступает по шлангам. Из натурных экспериментов установлено, что при длине шланга 15—20 м и диаметре 10 мм поправка на смачивание даже в сухую погоду в тропиках не превышает 0,3—0,4 мм. На первом этапе наблюдатель может измерять количество осадков вручную. В дальнейшем этот процесс должен быть автоматизирован. В этом случае будет возможность измерять не только количество, но и интенсивность и продолжительность выпадения осадков.

Далее необходимо разработать ряд стандартных приспособлений, обеспечивающих размещение и крепление на них первичных измерительных преобразователей (реи, выстрелы). Для обеспечения техники безопасности при установке первичных измерительных

преобразователей, контроле исправности их работы и т. д. необходимо разработать и включить в табельное оборудование специальные приспособления, позволяющие дистанционно перемещать и фиксировать приборы в заданном месте. Например, необходимы подъемники приборов на мачты, тележки для перемещения приборов вдоль актинометрической стрелы и т. д. Все выстрелы для крепления метеорологических приборов должны также обеспечивать безопасный доступ к этим приборам.

Положительным примером разработки указанных приспособлений могут служить суда, где успешно применяется так называемый планер для дистанционного крепления актинометрических приборов на ноке стрелы, а также складывающийся выстрел для выноса аспирационного психрометра за борт на 2—3 м.

Необходимо также отметить, что при создании автоматизированной системы на любом типе судна должна быть разработана унифицированная схема кабельных линий со специальными разъемами и переходными коробками. Эта линия должна, во-первых, отвечать всем требованиям эксплуатации ее в корабельных условиях на открытой палубе; во-вторых, должна обеспечить исключение электрических наводок на полезный сигнал, а также на НИС — подключение к ней приборов в различных частях судна при проведении научных экспериментов. Конкретные рекомендации судовладельцам по созданию такой кабельной линии представлены в методических указаниях, разрабатываемых в ГГО, но для реализации этих предложений необходимо выполнить специальную конструкторскую разработку применительно к различным типам судов. Судовладельцы должны во время заводских ремонтов судов планировать прокладку кабельных линий по указанной в методических указаниях схеме.

8. Метрологическое обеспечение

Все первичные преобразователи перед каждым рейсом должны поверяться в соответствующих бюро поверки. Кроме того, необходимо разработать средства и методы контроля сохранности метрологических параметров измерительных средств на НИС.

В связи с тем что в настоящее время находит широкое распространение практика глобальных национальных и международных экспериментов [41], должны разрабатываться как национальные, так и международные схемы поверки всех метеорологических и актинометрических первичных преобразователей, в том числе и для измерения потоков длинноволнового излучения, на берегу. Необходимо особенно отметить, что до настоящего времени для приборов, измеряющих длинноволновые составляющие радиационного баланса, практически не существует надежных средств измерений, методов измерений и поверки. Помимо поверки приборов перед экспериментом на берегу, необходимо разработать унифицированную процедуру полевых сравнений рабочих измери-

тельных систем в целом. Опыт ТРОПЭКС-72 и -74, МУССОН-77—79 показал, что такие сравнения при наличии соответствующих методических и организационных основ дают положительные результаты. В противном случае вывод о сравнимости научной информации, получаемой на разных платформах наблюдений, может оказаться недостаточно надежным. Более того результаты измерений могут оказаться вообще непригодными для научного анализа. Например, материалы измерений потоков длинноволнового излучения на судах Англии и Франции в ТРОПЭКС-74 в результате валидации этих величин в Центре данных радиационной подпрограммы АТЭП (ГГО) полностью поставлены под сомнение.

Эти выводы подтвердило и IV Международное совещание экспертов радиационной подпрограммы АТЭП (ноябрь 1977, Ленинград, ГГО).

9. Первичная обработка

Как конечная цель создания морской метеорологической подсистемы (ММП) на судовых ГМС всех разрядов полный комплекс первичной обработки и контроля информации должен осуществляться на ЭВМ. Алгоритмы обработки должны учитывать соответствующие методические требования, а также особенности работы в условиях автоматизированной системы [17, 18, 21—23].

Математическое обеспечение оперативной первичной обработки результатов измерений на ЭВМ (НИС) должно создаваться как единое целое для всех измерительных комплексов (подсистем). Оно должно предусматривать возможность обработки информации в режиме, близком к режиму реального времени по установленному приоритету. Оперативные синоптические и штормовые телеграммы в соответствующих кодах должны получаться на выходе ЭВМ [17, 21].

Кроме того, математическое обеспечение, система связи и другое техническое оборудование на НИС должны предусматривать возможность приема и обработки информации как с отдельных движущихся и неподвижных платформ, так и от группы пунктов наблюдений [21].

В метеорологической лаборатории на НИС с ЭВМ должны устанавливаться терминалы, например дисплей для ЭВМ типа ЕС. Наличие такого терминала позволит наблюдателю проводить на ЭВМ оперативную обработку результатов как инструментальных, так и визуальных наблюдений.

На судах без ЭВМ может осуществляться обработка каждого измерительного комплекса на мини-ЭВМ автономно.

На первом этапе реконструкции сети на судах ММФ и МРХ первичная обработка осуществляется вручную, в последующем этот процесс должен быть передан на мини-ЭВМ, которая должна выдавать в эфир оперативные и штормовые телеграммы.

10. Объем информации

Объем информации рассчитывался для физических величин, получаемых на выходе процедуры обработки, который приблизительно равен потоку информации на входе ЭВМ. От гидрометеорологического измерительного комплекса в один срок обязательных наблюдений может поступать поток информации порядка $2 \cdot 10^2$ байт.

В период дрейфа, как указывалось выше, на НИС должна осуществляться непрерывная регистрация всех инструментально измеряемых параметров. В этом случае ожидаемый поток информации за час при дискретности регистрации 2 мин будет порядка 10^4 байт.

11. Сбор и распространение результатов измерений

Синоптические и штормовые телеграммы со всех судовых станций передаются установленным порядком в соответствующие прогностические центры. Объем одной телеграммы до 50 байт. Результаты непосредственных измерений автоматических буйковых станций собираются либо специальными судами, либо через ИСЗ.

С целью упрощения устройства буйковых станций и соответственно уменьшения их стоимости целесообразно с них передавать не физические величины, а относительные, т. е. результаты измерения напряжения, сопротивления, частоты и т. д. В этом случае оперативная синоптическая телеграмма может составляться на ЭВМ судна или берегового вычислительного центра [19].

С целью повышения производительности труда наблюдателя и повышения эффективности управления экспериментом такой же метод сбора информации целесообразно осуществлять с судов без ЭВМ при групповом эксперименте. В этом случае объем передаваемой информации в один срок наблюдений равен примерно 200 байт, за сутки — 10 000 байт. Такой метод сбора информации успешно прошел испытание в экспериментах МУССОН-77 и МУССОН-79, где с четырех судов ежедневно собиралась по эфиру необработанная актинометрическая информация, а на ЭВМ флагмана она полностью обрабатывалась и анализировалась. В этом эксперименте с каждого судна было передано до 80 000 байт информации на расстоянии от 300 до 4500 км, причем за счет связи в информации с одного судна было обнаружено не более 20 ошибок за весь период работы.

На основании этого опыта в будущем можно ставить задачу передачи «сырой» информации с судов без ЭВМ в береговые центры для первичной обработки и составления оперативных телеграмм. Такой метод сбора и обработки результатов измерений осуществляется на советских станциях в Антарктиде [18]. Передача актинометрической информации по этому методу позволяет повысить эффективность труда наблюдателя до 40% [25, 27]. Аппаратура передачи данных по радиотелеграфным каналам должна

обеспечивать надежность передачи информации — одно искажение на 10^4 байт. В указанных выше примерах аппаратура связи использовалась обычная.

Информация для режимных целей на судах ММФ и МРХ на первом этапе заносится в книжки КГМ-15А, которые затем передаются в соответствующие УГКС, а от них в Обнинск — ВНИИГМИ—МЦД.

НИС при наличии ЭВМ готовят информацию каждого рейса по соответствующим макетам на магнитных лентах. Эти ленты с их распечатками передаются судовладельцу, во ВНИИГМИ—МЦД и в головной институт — ГГО.

12. Основные принципы построения морской метеорологической подсистемы для НИС

Основные принципы изложены в [13, 17, 21]. Здесь остановимся на некоторых из них.

Математическое обеспечение процессов первичной обработки на судовых станциях, так же как и техническое оснащение, должно создаваться поэтапно по модульному принципу. Это значит, что степень автоматизации и ее централизация должны возрастать по мере повышения разряда морской судовой станции и этапа реконструкции сети морских станций.

Прежде всего необходимо создать автоматизированную вычислительную информационно-поисковую управляющую систему для станции I разряда (НИС). С этой целью должны быть разработаны единые измерительные комплексы, алгоритмы первичной обработки, контроля и последующего научного анализа применительно к полному комплексу наблюдений на станциях 1 разряда [21—23].

Математическое обеспечение должно создаваться не отдельно [3, 10, 12, 35] для каждого вида наблюдений, как это делается в настоящее время, а для всего гидрометеорологического (метеорологического и актинометрического) комплекса. Информация этих комплексов взаимосвязана. Например, актинометрические данные не могут анализироваться без метеорологических да и аэрологических, поэтому в ЭВМ (на НИС и НИСП) должна вводиться вся информация, где процесс обработки должен строиться по иерархическому и приоритетному принципу [21—23]. Создание же децентрализованной автоматизированной системы на НИС и НИСП, как это предлагается в работах [11, 12], практически не позволит осуществлять оперативно комплексный контроль информации и научный анализ с целью управления экспериментом. При такой постановке вопроса мощные вычислительные машины на судах практически не нужны, так как они будут в основном осуществлять «режимную» обработку, а не оперативную.

Безусловно, большие ЭВМ должны быть разгружены от различного рода вспомогательных операций. Для этих целей в ав-

томатизированную систему должны включаться малые машины, непосредственно связанные с большой ЭВМ [13, 21]. Децентрализация системы должна происходить сверху вниз, т. е. для морских станций II и III разрядов (суда ММФ и МРХ). На этих станциях первичные преобразователи для метеорологических и актинометрических величин должны сопрягаться с мини-процессорами как совместно, так и отдельно по определенным комплексам.

Типы как больших, так и мини-ЭВМ на всех морских станциях должны быть едины. Необходимо устранить положение, создавшееся в настоящее время, когда на судах Госкомгидромета работают ЭВМ трех поколений — «Минск-22», «Минск-32», «ЕС-1022». Этим и объясняется тот факт, что до сих пор не имеется единого программного обеспечения даже для каждого измерительного комплекса отдельно.

В системе должна быть обеспечена совместимость как в техническом, так и в программном плане. При этом программная и информационная совместимость должна осуществляться как внутри морской системы, так и между береговыми вычислительными центрами [19, 21]. Обмен информацией должен осуществляться в унифицированных форматах, на магнитных лентах или на других более совершенных носителях информации в виде, пригодном для непосредственного ввода данных в ЭВМ.

Заключение

При создании морской подсистемы первостепенной задачей является создание гостированных первичных измерительных преобразователей в морском исполнении и их метрологическое обеспечение. С целью совершенствования методического руководства сети морских станций должны быть проведены исследования пространственной и временной структуры метеорологических полей над акваторией океанов, необходимо продолжить исследования по оценке искажающего влияния на результат измерений на судах различного ранга таких факторов, как архитектура и качка судна, электрические наводки и агрессивность среды.

На основании проведенных исследований необходимо переработать методические руководства по производству наблюдений и обработке их результатов.

Система должна создаваться и внедряться поэтапно по модульному принципу с таким расчетом, чтобы имелась возможность постоянно наращивать степень автоматизации процессов получения и обработки гидрометеорологической информации без переделки предыдущих результатов работ применительно к судовым гидрометеорологическим станциям всех разрядов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Р. В. Суточный ход метеорологических параметров приводного слоя воздуха на экваторе.— В кн.: Труды Международной экспедиции «ТРОПЭКС-74». Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 437—448.

2. Авасте С. А. и др. О закрытости небосвода облаками /С. А. Авасте, Ю. Р. Мулламаа, Х. Ю. Нийлиск, М. А. Сулаев.— В кн.: Теплообмен в атмосфере.— М.: Наука, 1972, с. 134.

3. Анцыпович В. А. Автоматический прием и архивация данных аэрологического зондирования в условиях АТЭП.— В кн.: Труды Междуведомственной экспедиции ТРОПЭКС-74. Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 695—704.

4. Ариель Н. З., Бортковский Р. С., Тимановский Д. Ф. Некоторые данные о строении приводного слоя воздуха в тропической зоне Атлантического океана.— В кн.: Труды Междуведомственной экспедиции ТРОПЭКС-74. Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 431—446.

5. Атлас облаков.— Л.: Гидрометеоиздат, 1957.—176 с.

6. Багров Н. А., Стеблянко В. А. О точности аналитического представления метеорологических полей.— Труды ГМЦ, 1968, вып. 28, с. 30—40.

7. Белоусов С. Д., Гандин Л. С., Машкович С. А. Обработка оперативной метеорологической информации с помощью ЭВМ.— Л.: Гидрометеоиздат, 1968.—282 с.

8. Беспалов Д. П., Тимановская Р. Г. Результаты сравнения стандартной метеорологической аппаратуры в период экспедиции АТЭП-73.— Метеорология и гидрология, 1975, № 6, с. 101—106.

9. Беспалов Д. П., Светлова Т. П. Об одном принципе валидации результатов метеорологических наблюдений в АТЭП-74.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 129—132.

10. Бирман Б. А., Каганский А. С. Некоторые принципы объективного контроля метеорологической информации.— Экспресс-информация, 1977, вып. 6 (11), с. 75—78.

11. Богатырь Б. Н. Состояние и проблемы автоматизации гидрометеорологических наблюдений на научно-исследовательских судах Гидрометеорологической службы СССР.— Сб. докладов «Проблемы автоматизации судовых гидрометеорологических наблюдений».— Л.: Гидрометеоиздат, 1977, с. 6—17.

12. Богатырь Б. Н. Результаты работ по созданию судовой автоматизированной системы «СИГМА-с».— Сб. докладов «Проблемы автоматизации судовых гидрометеорологических наблюдений».— Л.: Гидрометеоиздат, 1977, с. 18—40.

13. Борисенков Е. П., Федоров О. М. Автоматизированная система сбора и обработки научной информации на научно-исследовательских судах ГУГМС (СИГМА-с).—Труды ААНИИ, 1972, т. 301, с. 5—18.

14. Временные методические указания по машинной обработке и контролю данных гидрометеорологических наблюдений. Вып. 9, ч. 2.—Л.: Гидрометеоиздат, 1963.—25 с.

15. Гудименко А. В. и др. Линейные размеры кучевых облаков по данным наземных измерений потоков излучения /А. В. Гудименко, Л. Б. Руднева, Р. Г. Тимановская, Д. Ф. Тимановский.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 114—122.

16. Дроздов О. А., Шепелевский А. А. Теория интерполяции в стохастическом поле метеорологических элементов и ее применение к вопросам метеорологических карт и рационализации сети.— Труды научно-исследовательских учреждений, 1946, сер. 1, вып. 13, с. 65—115.

17. Дюбкин И. А. О математическом обеспечении «СИГМА-с»,— Труды ААНИИ, 1972, т. 301, с. 19—30.

18. Дюбкин И. А. Автоматизация процессов получения и первичной обработки научной информации в экспедициях ААНИИ.— Метеорология и гидрология, 1978, с. 97—103.

19. Дюбкин И. А., Лодкин И. И. К вопросу организации берегового координационного вычислительного центра.— Труды ААНИИ, 1972, т. 301, с. 31—42.

20. Дюбкин И. А. О структуре поля давления на уровне моря в высоких широтах.— Труды ААНИИ, 1964, т. 271, вып. 1.

21. Дюбкин И. А., Зудин О. С. Автоматизированная вычислительная информационно-поисковая управляющая система на НИС и НИСП.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 3—15.

22. Дюбкин И. А., Марченко Л. Г. Иерархическая структура вычислительного процесса в автоматической вычислительной информационно-поисковой управляющей системе на НИС и НИСП.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 16—24.
23. Дюбкин И. А., Марченко Л. Г. Алгоритм управления вычислительным процессом в автоматической вычислительной гидрометеорологической системе на НИС и НИСП.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 25—32.
24. Дюбкин И. А., Романов Е. В. Натурный эксперимент по выявлению искажающего влияния архитектуры судна на поле температуры воздуха и скорости ветра.— В кн.: Результаты исследований по международным геофизическим проектам, метеорологические исследования. № 25.— М.: Советское радио, 1980, с. 40—51.
25. Дюбкин И. А. Методика оценки эффективности автоматизированных методов получения и первичной обработки гидрометеорологической информации.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 61—72.
26. Дюбкин И. А. О взаимосвязи расстояния между пунктами наблюдений и точностью измерения атмосферного давления.— Труды ГГО, 1976, вып. 375, с. 43—49.
27. Дюбкин И. А., Веремеенко М. В., Колкова Л. М. Оценка эффективности от внедрения различных методов сбора и первичной обработки метеорологической и актинометрической информации на НИС и НИСП.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 73—81.
28. Дюбкин И. А. Статистические макроструктуры барических полей тропосферы высоких широт северного полушария и некоторые ее приложения. Автореф. дисс.— Л., ААНИИ, 1965.
29. Кириллова Г. В., Тимановская Р. Г., Гудименко А. В. Статистическая структура суммарной радиации, приходящей к поверхности океана, в условиях кучевой облачности.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 93—101.
30. Код для составления гидрометеорологических радиограмм на судах КН-01 с.— Л.: Гидрометеоиздат, 1967.— 47 с.
31. Колкова Л. М., Савенков В. В. Анализ работы морской автоматической станции в период ее опытной эксплуатации.— Труды ГГО, 1977, вып. 388, с. 41—46.
32. Кучеров Н. В. Измерение скорости ветра на кораблях.— Труды ГГО, 1962, вып. 127, с. 88—93.
33. Международная номенклатура морских льдов. ЦМО, ВМО, 1968.
34. Международный атлас облаков и состояние неба.— М.: Гидрометеоиздат, 1940.—170 с.
35. Мерцалова О. Б. и др. Технологическая схема механизированной режимной обработки радиозондовых наблюдений /О. Б. Мерцалова, Б. П. Мирошниченко, Т. С. Самойлова и др.— Труды НИИАК, 1970, вып. 62, с. 3—33.
36. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выш. 9, ч. 2.— Л.: Гидрометеоиздат, 1964.— 367 с.
37. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9, ч. 3.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 150 с.
38. Некрасов И. В., Ростков А. В., Шушков А. А. Измерение температуры поверхностного слоя океана с движущегося судна.— В кн.: Труды Международственной экспедиции ТРОПЭКС-74. Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 449—454.
39. Орленко Л. Р. и др. Некоторые результаты исследования точности метеорологических наблюдений НИС.— Труды ААНИИ, 1974, т. 315, с. 87—99.
40. Петросянц М. А., Решетов В. Д. О составе, точности и пространственно-временном разрешении информации, необходимой для гидрометеорологического прогноза.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.— 220 с.
41. Петросянц М. А. и др. О временной и пространственной изменчивости метеорологических полей в тропической зоне Атлантики. /М. А. Петросянц, В. П. Иванов, В. В. Галушко, Ю. А. Меньшов.— В кн.: Труды Международственной экспедиции ТРОПЭКС-74. Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 249—255.
42. Петросянц М. А. О работе Международственной экспедиции ТРОПЭКС-74 в Международном атлантическом тропическом эксперименте (АТЭП). 28 июня — 19 сентября 1974 г.— В кн.: Труды Международственной

экспедиции по программе ТРОПЭКС-74. Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 220 с.

43. Романов Н. А. Оценка равнозначности метеорологических измерений в дрейфе и на ходу судна.— Метеорология и гидрология, 1974, № 1, с. 92—95.

44. Руководство по метеорологическим приборам и наблюдениям (Требования ВМО). ВМО, 1971, № 6, Гр. 3, Женева.

45. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям /Под ред. Г. П. Гущина, Е. П. Барашковой.—Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 6—79.

46. Русин Н. П. Методические требования, определяющие оптимальные условия получения информации с сети наземных метеорологических станций.— См. наст. сб.

47. Светлова Т. П. Состояние и проблемы метеорологических наблюдений на судах.— Труды ГГО, 1971, вып. 388, с. 33—40.

48. Светлова Т. П. Некоторые результаты анализа материалов сравнения метеорологических комплексов советских судов.— В кн.: Труды Междуведомственной экспедиции ТРОПЭКС-74. Т. 1. Атмосфера.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 712—721.

49. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 428 с.

Е. П. Барашкова

ОБОСНОВАНИЕ РММ НА ПОСТРОЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ НАЗЕМНЫХ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Существующая сеть наземных актинометрических наблюдений насчитывает 217 постоянно действующих станций, неравномерно распределенных по территории Советского Союза. Программа и методы работы актинометрических станций регламентируются соответствующими руководствами [20, 21]. На большинстве станций (202) производятся измерения основных составляющих радиационного баланса (прямая, рассеянная, отраженная, радиационный баланс без прямой радиации) 6 раз в сутки. На части станций наряду со срочными измерениями производится круглосуточная регистрация отдельных составляющих радиационного баланса с дискретностью несколько минут [21] или непрерывное интегрирование [13] с целью получения суточных сумм радиации. На 15 полярных станциях производится только регистрация. До 1976 г. обработка результатов наблюдений производилась на станциях, с 1976 г.— в центре обработки (ГГО) на ЭВМ.

Актинометрическая информация публикуется в виде ежемесячников, в первой части публикуются ежедневные данные 33 станций, привлеченных к международному обмену, во второй — содержатся данные по остальным станциям [1].

Анализ выдаваемой актинометрической сетью информации и требований народного хозяйства к этой информации позволил более обоснованно сформулировать основные направления развития и усовершенствования наземной актинометрической сети, изложенные в разработанных в 1976—1977 гг. руководящих методических материалах (РММ).

Руководящие методические материалы на подсистему наземных актинометрических наблюдений (ПНАН) содержат требования к составу и характеру информации; к точности и диапазону измерений; к срокам измерений и периодам осреднения; к технологии производства наблюдений, первичной обработки и выдачи информации, а также основные принципы построения ПНАН.

1. Требования к составу и характеру наземной актинометрической информации

При рассмотрении вопросов, связанных с приходом и расходом лучистой энергии, состав актинометрической информации определяется характером преобразований лучистой энергии солнца в земной атмосфере и деятельном слое и включает прямую радиацию (на перпендикулярную S и горизонтальную поверхность S'), рассеянную D, суммарную $Q=S'+D$, отраженную $R_к$, поглощенную $B_к=Q—R_к$, нисходящую длинноволновую радиацию атмосферы $E_а$, отраженную длинноволновую радиацию $R_д$, собственное излучение подстилающей поверхности $E_з$, длинноволновую остаточную радиацию $B_д=E_з+R_д—E_а$ и остаточную радиацию $B=S'+D—R_к+E_а—E_з—R_д$.

Часть перечисленных характеристик (S, D, $R_к$, $B—S'$) включена в современную программу измерений [20]. В настоящее время на сети отсутствуют измерения длинноволновых составляющих радиационного баланса, длинноволновая остаточная радиация измеряется только ночью, днем получается как разность измерений балансомером и пиранометром с очень низкой точностью. Определение $E_а$ и $E_з+R_д$ на основании этих измерений невозможно, хотя нисходящая длинноволновая радиация атмосферы $E_а$ обеспечивает приход радиации, соизмеримый с приходом суммарной радиации, поэтому в состав измеряемых характеристик в РММ включены длинноволновые составляющие остаточной радиации $E_а$ и $E_з+R_д$.

Практические вопросы, связанные с жизнью и деятельностью человека, приводят к необходимости большей детализации лучистой энергии по спектральному составу: выделение видимой области спектра (освещенность), ультрафиолетовой (УФ) и фотосинтетически активной (ФАР). В этих случаях также рассматривается прямая, рассеянная и суммарная радиации.

Отсутствие результатов наблюдений за этими характеристиками вынуждает для их оценки прибегать к расчетным методам и использовать данные актинометрической сети об интегральных потоках прямой и рассеянной солнечной радиации. Если на основании таких расчетов можно обеспечить более или менее удовлетворительную точность для средних многолетних величин, то совершенно невозможно обеспечить необходимую точность при определении этих характеристик для конкретных метеорологических ситуаций [2, 3, 11]. Анализ требований потребителей к составу наземной актинометрической информации [22] указывает на настоятельную необходимость включения освещенности, УФ и ФАР в состав наземной актинометрической информации. При измерении освещенности необходимо отдельно рассматривать дневную и сумеречную освещенность, такое разделение вызвано значительным различием уровня энергии (в 10^4—10^5 раз) и спектрального состава в том и другом случае и необходимостью использования различных приборов. При измерении УФ радиации целесообразно

отдельно измерять область В, незначительную по энергии (0,05% интегральной прямой радиации), но обладающую большой биологической активностью, и область А или всю область с длиной волны менее 400 нм, так как при чувствительности прибора в широкой области спектра прибор будет реагировать преимущественно на длинноволновую часть, в то время как наибольшая биологическая активность связана с короткими волнами [4].

В состав актинометрической информации также включены измерения прямой радиации в отдельных спектральных участках. Измерения в широких участках спектра включены в соответствии с требованиями ВМО [29] к минимальной программе региональных станций по изучению загрязнения атмосферы, выбор узких спектральных участков диктовался необходимостью развития сетевых оптических методов зондирования атмосферы. Выделение спектральной области 8—12 мкм вызвано возможностью определения по радиационным характеристикам метеорологических: облачности по нисходящей и температуры подстилающей поверхности по восходящей радиации.

В качестве количественной характеристики лучистой энергии используется *поверхностная плотность потока* — количество лучистой энергии, которое проходит через единицу площади в единицу времени. Так как воздействие радиации на живые организмы и деятельную поверхность зависит от количества радиации (энергетической экспозиции, дозы), представляющего интеграл по времени от поверхностной плотности потока, в состав информации включены и такие характеристики, как количество радиации за час, сутки, месяц.

В актинометрии как синоним количества радиации употребляется термин *сумма радиации*.

Информация, поступающая от наземной актинометрической сети, может иметь как режимный, так и оперативный характер. Режимную информацию составляют результаты измерений, обобщаемые в специальных ежемесячниках и климатических справочниках, оперативную информацию — непосредственные результаты измерений, используемые для оперативного обслуживания потребителей, в том числе и из местных организаций. Большинство потребителей [22] нуждается в оперативной информации о суточных суммах суммарной радиации (здравоохранение, агрометеорология, гидрология, коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, транспорт и т. д.); о дневной и сумеречной освещенности, особенно о моментах достижения пороговых значений (коммунальное хозяйство, транспорт); о приходе ультрафиолетовой радиации за короткие, порядка нескольких минут, интервалы времени (здравоохранение); о суточных суммах ФАР (агрометеорология, сельское хозяйство).

В настоящее время этой информации потребитель не получает и пользуется только режимной информацией.

2. Требования к точности измерений

Используемые в настоящее время сетевые методы обеспечивают следующую точность измерения: прямой радиации — 3%, рассеянной, суммарной и отраженной — примерно 8%, остаточной радиации — 30%. По данным [22] потребителей оперативной и режимной информации устраивает точность в 10—15% от поверхностной плотности потока и суточных сумм радиации. По требованиям ВМО [28] часовые суммы солнечной радиации на поверхности земли должны определяться с точностью $\pm 4{,}19$ Дж/м^2. Учитывая, что часовая сумма радиации получается умножением средней ординаты за час на 60^2

$$\Sigma_{\text{ч}} I = 60^2 (I_{\text{ср}} \pm \sigma_{\text{ср}}),$$

получаем точность среднего значения $\sigma_{\text{ср}} = \pm 11{,}657$Вт/м^2, требования к точности единичного отсчета зависят от количества осредняемых отсчетов.

Если в качестве характеристики точности использовать основную приведенную погрешность (отношение к верхнему пределу диапазона измерений), а количество отсчетов за часовой интервал принять $n = 20$, то получим следующие требования к точности измерения коротковолновых составляющих радиационного баланса: прямая радиация — 4%, суммарная — 3,6%, рассеянная — 6%, отраженная — 3—6%. Эта точность, которая по данным [28] обеспечивается приборами первого класса, и заложена в требования РММ на ПНАН.

Точность измерения остаточной радиации значительно ниже. По данным [28] для приборов первого класса суммарная ошибка составляет 8%, второго — 15%, третьего — 19%. При основной приведенной погрешности 10%, указанной в РММ, обеспечивается точность определения часовых сумм остаточной радиации — в $\pm 8{,}38$ Дж/м^2. Указанная в РММ точность измерения других видов радиации (освещенность, ФАР, УФ, длинноволновая радиация атмосферы и подстилающей поверхности) соответствует требованиям потребителей актинометрической информации и должна быть уточнена при разработке соответствующих методов измерения.

3. Частота измерений и период осреднения

Составляющие радиационного баланса изменяются во времени. Их периодические изменения связаны с изменением высоты солнца, непериодические — с изменением состояния облачности.

Анализ временно́й изменчивости составляющих радиационного баланса, проведенный рядом авторов [5, 14, 15, 19, 23, 24, 27], приводит к заключению, что при меняющейся облачности результаты измерений в отдельные сроки имеют случайный характер и для большей достоверности необходимо осреднение результатов измерений. Период осреднения и дискретность отсчетов зависят от характера облачности и заданной точности среднего.

В работах [15, 23] в качестве показателя точности осреднения

где $\bar{Q}^*$ — средний поток относительной суммарной радиации, суммарной радиации была использована величина $\gamma_{\bar{Q}^*} = \sigma_{\bar{Q}^*}/\bar{Q}^*$, $\sigma^2_{\bar{Q}^*}$ — дисперсия оценки среднего, определяемая из соотношения

$$\sigma^2_{\bar{Q}^*} = \frac{\sigma^2}{M}\left[M + \sum_{k=1}^{M-1}(M-k)\,r(k\Delta t)\right],$$

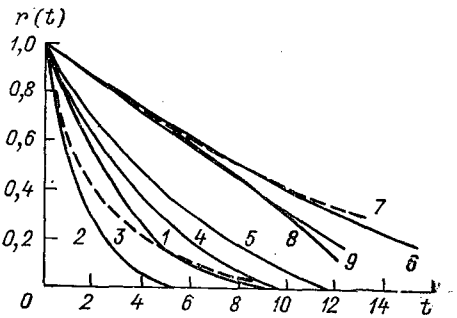
в котором использованы следующие обозначения: r — нормированная автокорреляционная функция, σ^2 — дисперсия рассматриваемого случайного процесса, Δt — временно́й интервал между отсчетами, M — число отсчетов.

Оптимальный интервал между дискретными отсчетами, дальнейшее уменьшение которого не приводит к увеличению точности осреднения, определяется из соотношения

$$\frac{4}{3}\,r\left(\frac{\Delta t_0}{2}\right) - \frac{5}{6}\,r(\Delta t_0) = \frac{1}{2}.$$

На рисунке по данным [23] приведены примеры автокорреляционных функций относительной суммарной радиации r_{Q^*}, осредненных по реализациям и сгруппированных по количеству облачности n.

Вследствие значительной зависимости формы r_{Q^*} от количества облаков как величина Δt_0, так и необходимый масштаб осреднения (количество отсчетов M с оптимальной дискретностью Δt_0) зависят от условий облачности. По данным [23] зависимость Δt_0 от количества кучевой облачности характеризуется следующими значениями:



Осредненные автокорреляционные функции потока суммарной радиации для разных условий облачности по данным [14].

1) 2 Cu; *2)* 3—4 Cu; *3)* 4—5 Cu; *4)* 6 Cu; *5)* 7—8 Cu; *6)* 9—10 Cu(Cb); 7) 10 Ci, Cs; *8)* 10 Sc; *9)* 10 St.

n баллы . . .	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δt_0 мин . . .	3,5	1,5	0,5	1,0	2	4	7	11	20

а заданная точность осреднения $\gamma \leqslant 0{,}20$ при кучевой облачности в 2 балла достигается при одном случайно выбранном отсчете, при 9—10 баллах Cu необходимый период осреднения составляет не менее часа. Дальнейшее увеличение периода осреднения не приводит к заметному увеличению точности среднего.

Так как корреляционные функции для других составляющих радиационного баланса (прямой, рассеянной, отраженной и поглощенной радиаций) близки к корреляционным функциям суммарной радиации [14, 16], то полученные выше выводы об оптимальном интервале между отсчетами и периоде осреднения распространяются и на эти виды радиации. Учитывая, что часовой

интервал является достаточным периодом осреднения даже при неблагоприятных условиях облачности, а часовые суммы радиации являются традиционной актинометрической характеристикой, в РММ предлагается для большинства характеристик использовать часовой интервал осреднения. Исключение составляет УФ радиация, для которой рекомендуются 20-минутные интервалы осреднения, так как допустимые дозы радиации достигаются за этот период.

Таблица 1

Погрешности часовых сумм при разной дискретности отсчетов

Вид радиации	Метеорологические условия	Интервал между отсчетами, мин	Погрешность суммы, %
$\Sigma_ч S$	Переменная облачность	2	2,5
	Ясно	20	2,5
$\Sigma_ч D$	Переменная облачность	6	2,5
	Ясно	20	2,5
$\Sigma_ч B$	Переменная облачность	2	10
	Ясно	20	10

Расчеты В. К. Пылдмаа [23] показывают, что точность среднего за час при дискретности отсчетов $\Delta t=3$ и 6 мин несущественно отличается от точности при оптимальном интервале между отсчетами Δt_0.

По данным [26], если принять, что получение «истинных» сумм радиации за час (с точностью до 0,1%) обеспечивается при регистрации S с интервалом $\Delta t=20$ с, B—S' — при $\Delta t=30$ с, D — при $\Delta t=1$ мин, Q — при $\Delta t=40$ с, то погрешность часовых сумм при меньшей частоте отсчетов, определяемая из сравнения с «истинными» суммами, характеризуется значениями, представленными в табл. 1.

Авторы [9] приходят к выводу, что для получения надежных часовых сумм остаточной радиации число отсчетов B—S' должно быть примерно 40—60 в час. В статье [17] отмечается, что при рациональном выборе постоянной прибора максимальная приведенная погрешность измерений радиационных потоков не превышает $\pm 5\%$ при 10—20 отсчетах в час.

Из приведенных выше данных следует, что требования разных авторов к частоте отсчетов при измерении составляющих радиационного баланса практически совпадают. В РММ в зависимости от вида радиации заложены различные требования к частоте отсчетов: не менее 10 отсчетов в час для рассеянной, 20 — для суммарной, отраженной, фотосинтетически активной, восходящей и нисходящей длинноволновой радиации, 30 — для прямой и 60 для остаточной радиации.

4. Принципы построения ПНАН

В идеальном варианте подсистема наземных актинометрических наблюдений должна обеспечить получение с заданной точностью основных радиационных характеристик для любого момента времени и любой точки территории Советского Союза. Однако вследствие того что расходные составляющие радиационного баланса существенно зависят от свойств подстилающей поверхности, а из-

Таблица 2

Максимально допустимые расстояния между станциями при заданной мере ошибки оптимальной интерполяции

Вид радиации	Способ получения	η^2	ρ км		N	
			ε^2=0,25	ε^2=0,11	ε^2=0,25	ε^2=0,11
$\Sigma_д Q$	Самописцы	0,08	320	130	219	1326
$\Sigma_м Q$	Срочные	0,38	430	60	121	6223
$\Sigma_м Q$	Самописцы	0,25	500	—	90	996
$\Sigma_м B$	Срочные	1,00	120	150	1556	—
$\Sigma_м B$	Самописцы	0,32	420	80	127	3500

Примечание. $\Sigma_д Q$ — дневные суммы суммарной радиации; $\Sigma_м Q$, $\Sigma_м B$ — месячные суммы суммарной и остаточной радиации.

мерения проводятся над стандартной подстилающей поверхностью (трава), они не могут быть распространены без предварительных исследований на другие виды подстилающей поверхности. При условно однородной подстилающей поверхности сеть может выполнить поставленную задачу при равномерном распределении станций по территории с оптимальным расстоянием между ними.

Исследования, проведенные климатологами ГГО [6—8, 10, 18], показывают, что в зависимости от вида и способа получения (регистрация или срочные измерения) радиационной характеристики для осуществления оптимальной интерполяции с заданной точностью ε требуется сеть различной плотности. В табл. 2 приведены максимально допустимые для квадратной сети станций расстояния между ними $\rho_{кр}$, соответствующие мере ошибки оптимальной интерполяции $\varepsilon^2_{кр}$=0,25 и 0,11 [10], и число квадратов N со стороной $\rho_{кр}$ на территории СССР. Число станций зависит от геометрической схемы расположения квадратов и несколько превышает значение N. Величина η^2 является мерой ошибки измерений в пункте наблюдения.

Из табл. 2 следует, что при использовании регистрации требования к плотности станций существенно снижаются по сравнению со срочными наблюдениями, особенно для радиационного баланса (более чем в 10 раз). Следовательно, информативность сети можно увеличить путем перехода от срочных наблюдений к непрерывной регистрации составляющих радиационного баланса.

Сеть, состоящая из 220 станций, снабженных регистраторами

радиации, в состоянии обеспечить возможность оптимальной интерполяции с точностью до $\varepsilon^2=0{,}25$, наиболее нужной потребителям информации о дневных суммах суммарной радиации. Это число станций совпадает с числом действующих в настоящее время, однако последние распределены по территории неравномерно, расстояния между станциями различны — от нескольких десятков километров (Ленинград—Воейково) до 700—800 км (Северо-Западная Сибирь). Для обеспечения более высокой точности интерполяции ($\varepsilon^2=0{,}11$) необходимое число станций возрастает до 1300. Экономические соображения не позволяют рассчитывать на такое число актинометрических станций, однако увеличение числа пунктов, выдающих информацию о суточных суммах суммарной радиации, возможно за счет привлечения метеорологической сети, где для этой цели может быть использовано минимальное оборудование (пиранометр и интегратор Х-603) и минимальная программа наблюдений (один отсчет в сутки).

На основании отмеченных выше требований к составу, точности и характеру информации, с учетом пространственной и временно́й изменчивости радиационных характеристик, в РММ были сформулированы следующие основные принципы построения наземной актинометрической сети:

1) основу подсистемы наземных актинометрических наблюдений составляет существующая актинометрическая сеть (217 станций);

2) $^1/_3$ станций из этого числа — станции I класса — производят наблюдения по расширенной программе, с тем чтобы получить информацию о всех характеристиках, перечисленных выше в п. 1. Размещение станций этого типа по территории Советского Союза должно быть таким, чтобы обеспечить получение информации для всех климатических зон. В дальнейшем изучение пространственной и временно́й изменчивости новых элементов радиационного баланса позволит сформулировать обоснованные требования к размещению станций;

3) остальные $^2/_3$ станций — станции II класса — производят измерения традиционных актинометрических характеристик;

4) на станциях I и II классов, которые должны выдавать режимную информацию, срочные измерения необходимо заменить регистрацией с заданной частотой с одновременным или последующим интегрированием часовых сумм;

5) к проведению актинометрических измерений по минимальной программе — интегрирование суточных сумм суммарной радиации — привлечь сеть метеорологических станций, которые должны выдавать оперативную информацию (станции III класса);

6) предусмотреть возможность организации станций специального назначения, работающих по заданию различных министерств и ведомств (IV класс);

7) на стадии перехода к полной автоматизации процесса получения актинометрической информации основу технического оснащения станций I и II классов составляют регистрирующие

актинометрические установки [12] с полуавтоматическим занесением данных на перфоленту с последующей обработкой на ЭВМ в центре обработки.

При обеспечении полной автоматизации всего процесса получения актинометрической информации от измерения до обработки и занесения на технический носитель, станции I и II классов параллельно с режимной информацией смогут выдавать всем заинтересованным организациям по каналам связи оперативную информацию. Вся информация за месяц на технических носителях должна передаваться в центр сбора данных для пополнения банка режимной информации;

8) актинометрическая информация, получаемая на станциях III класса, ежедневно включается в телеграммы погоды; информация, поступающая со станций IV класса, передается заказчику в удобной для него форме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актинометрический ежемесячник. Ч. 1 и 2 (ежегодно).
2. Бартенева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П. Режим естественной освещенности на территории СССР.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 238 с.
3. Белинский В. А., Андриенко Л. М. Ультрафиолетовая радиация солнца и неба на земном шаре. Атлас карт, номограмм, графиков.— М.: Изд-во МГУ, 1976.
4. Белинский В. А. и др. Ультрафиолетовая радиация солнца и неба.— М.: Изд-во МГУ, 1968.— 228 с.
5. Белич Р. Б., Калачинский С. Ф., Новокрещенкова А. С. Статистический анализ результатов измерений потоков излучения в интервале 8—12 мкм в облачной атмосфере.—В кн.: Мат-лы IX Всесоюз. совещания по актинометрии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с. 79—83.
6. Винников К. Я. К вопросу об объективном анализе полей актинометрических величин.— Труды ГГО, 1967, вып. 209.
7. Винников К. Я., Дворкина М. Д. Некоторые вопросы планирования актинометрической сети.— Метеорология и гидрология, 1970, № 10.
8. Винников К. Я., Дворкина М. Д. Оценки точности оптимальной интерполяции суммарной радиации по измерениям на мировой актинометрической сети.— Труды ГГО, 1971, вып. 287.
9. Гойса Н. И., Железнякова Т. В., Перелет И. А. О некоторых источниках погрешностей балансомеров Янишевского.— Метеорологические исследования № 15, 1966, с. 31—43.
10. Дворкина М. Д. Статистическая структура полей солнечной радиации и требования к плотности актинометрической сети. Автореф. дисс. Л.: ГГО, 1971.
11. Ефимова Н. А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 215 с.
12. Методические указания гидрометеорологическим станциям по использованию электронных потенциометров КСП-4 для регистрации составляющих радиационного баланса (техническое описание и инструкция по эксплуатации установок для регистрации составляющих радиационного баланса).— Л.: Гидрометеоиздат, 1978.
13. Методические указания по измерению суточных сумм солнечной радиации с применением интегратора типа Х-603.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976.
14. Мулламаа Ю.-А. Р. и др. Изменчивость радиационного баланса, альбедо и притока коротковолновой радиации при разорванной облачности.— В кн.: Мат-лы IX Всесоюз. совещания по актинометрии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с. 71—76.
15. Мулламаа Ю.-А. Р. и др. Стохастическая структура полей облачности и радиация. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1972. 280 с.

16. Мулламаа Ю.-А. Р., Охвриль Х. А., Пылдмаа В. К. О возможностях расчета изменчивости потоков и притоков радиации на основании сведений о количестве облачности и данных радиационной климатологии.— В кн.: Мат-лы IX Всесоюз. совещания по актинометрии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с. 71—73.

17. Персии С. М., Ястребова Т. К. О погрешности определения интегральных значений радиации по дискретным измерениям.— Труды ГГО, 1974, вып. 342, с. 59—62.

18. Пивоварова З. И., Стадник В. В. О точности данных наблюдений актинометрической сети и оптимальном расстоянии между станциями.— Труды ГГО, 1969, вып. 249.

19. Пылдмаа В. К., Тимановская Р. Г. Некоторые статистические характеристики суммарной радиации в облачных условиях.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1969, т. 5, № 5.

20. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.

21. Руководство гидрометеорологическим станциям по регистрации радиации,— Л.: Гидрометеоиздат, 1961.

22. Русин Н. П., Винников К. Я. Требования к наземной актинометрической информации и рационализации системы актинометрических наблюдений.— В кн.: Мат-лы IX Всесоюз. совещания по актинометрии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с. 14—25.

23. Пылдмаа В. К. О точности осреднения потоков суммарной радиации.— В кн.: Теплообмен в атмосфере /Под ред. Е. М. Фейгельсон, Л. Р. Цванг.— М.: Наука, 1972, с. 93—97.

24. Тимановская Р. Г. Пространственно-временная структура потоков коротковолновой радиации при кучевых облаках.— Труды ГГО, 1975, вып. 326.

25. Тимановская Р. Г. Статистика временных и линейных размеров кучевых облаков, полученная из актинометрических данных.— В кн.: Мат-лы IX Всесоюз. совещания по актинометрии. Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с. 67—71.

26. Фатеева К. А., Янишевский Ю. Д. Точность интегрирования радиации по регистрациям с разными интервалами.— Труды ГГО, 1973, вып. 312, с. 157—160.

27. Ястребова Т. К. Выбор измерительной и регистрирующей аппаратуры при измерениях радиационного баланса.— Труды ГГО, 1973, вып. 312.

28. Guide to meteorological instrument and observing practices.— 4th ed. WMO, N 8. TP. 3. Geneva, 1971.

29. WMO operations manual for sampling and analysis techniques for chemical constituents in air and precipitation, N 299, 1974.

Е. Л. Махоткина

ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ОБЛАСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ

Отсутствие систематических наблюдений за фотосинтетически активной радиацией (ФАР) вызвало появление расчетного метода ее определения, использующего данные об интегральных потоках радиации, измеряемых на сети актинометрических станций. Переход от интегральных потоков к ФАР осуществляется с помощью переходных коэффициентов [6], определяемых соотношениями типа

$$K_I = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_\lambda \, d\lambda}{\int_{0{,}28}^{4{,}0} I_\lambda \, d\lambda}, \qquad (1)$$

где I_λ — спектральное распределение радиации, λ_1 и λ_2 — границы области ФАР в микрометрах. В связи с тем что до окончательного выяснения спектра действия фотосинтеза понятие ФАР определяется условными границами, в нашей стране принят интервал длин волн от 0,38 до 0,71 мкм, а за рубежом — от 0,40 до 0,70 мкм. В климатологических расчетах переход к ФАР осуществляется по формулам:

$$\sum S'_\Phi \approx k_S \sum S' , \qquad (2)$$

$$\sum D_\Phi \approx k_D \sum D, \qquad (3)$$

$$\sum Q_\Phi \approx k_S \sum S' + k_D \sum D \approx k_Q \sum Q, \qquad (4)$$

где $\Sigma S'_\Phi$, ΣD_Φ, ΣQ_Φ — соответственно суммы прямой, рассеянной и суммарной ФАР; $\Sigma S'$, ΣD, ΣQ — исходные суммы интегральной радиации; k_S, k_D, k_Q — коэффициенты перехода от интегральной радиации к ФАР.

Самая ориентировочная оценка относительной величины ФАР получается по данным о заатмосферном спектре солнечной радиации, на что до сих пор обращали мало внимания. По данным о

заатмосферном распределении солнечной радиации, приведенным в [5], доля ФАР составляет 41,6% для интервала длин волн от 0,38 до 0,71 мкм и 39% для интервала 0,4—0,7 мкм. В результате прохождения через атмосферу спектр солнечной радиации изменяется, что в ряде случаев приводит к значениям переходных коэффициентов, существенно отличающимся от указанных величин и колеблющимся в пределах примерно от 0,3 до 0,75 по данным различных измерений прямой, рассеянной и суммарной радиации. Уточнение коэффициентов затруднено эпизодическим характером измерений в области ФАР, делавшихся в разных местах с помощью различных приборов.

Для систематизации данных о переходных коэффициентах целесообразно ввести их нормированные значения, связанные с округленной величиной доли ФАР в заатмосферном потоке солнечной радиации, считая ее равной 0,4. В литературе к такой естественной нормировке коэффициентов подошли независимо только теперь [14]. Основной переменный коэффициент, f_a^I, учитывающий изменение спектра солнечной радиации под влиянием земной атмосферы и облаков, определяется соотношением

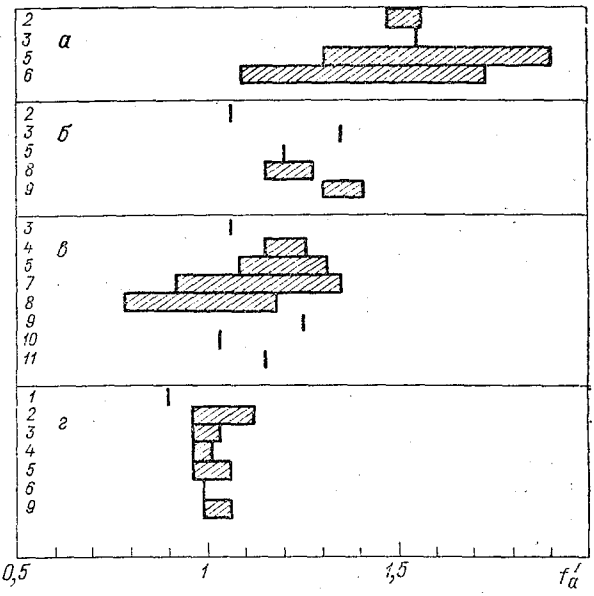
$$I_\Phi \approx 0{,}4 f_\lambda f_a^I I, \qquad (5)$$

где I и I_Φ — соответственно потоки интегральной радиации и ФАР, f_λ — множитель, дающий поправку на выборные границы области ФАР. Вследствие сравнительно небольших изменений граничных длин волн, принятых в разных странах, множитель f_λ является в любых условиях практически постоянной величиной, равной 1,04 при выборе интервала 0,38 — 0,71 мкм и 0,975 для интервала 0,4 — 0,7 мкм. В гораздо более широких пределах колеблются значения коэффициента f_a^I, вычисленные по данным о переходных коэффициентах, приведенным в работах [1, 3, 4, 6, 7, 9—15].

Сопоставление этих данных, представленных в виде диаграммы на рисунке, показывает, что как при измерениях в разных местах, так и при измерениях в одном месте при различных погодных условиях значения коэффициентов f_a^I, характеризующих соотношение между ФАР, приходящей к границе атмосферы и поступающей на поверхность земли, может значительно изменяться, хотя часть полученных расхождений, вероятно, относится за счет ошибок самих измерений, выполненных разнотипными приборами. Из рисунка видно, что наименьший разброс имеют значения коэффициента $f^S{}_a$, полученные по результатам измерений прямой ФАР при высотах солнца не меньше 20°, выполненных всеми исследователями по единой методике с помощью актинометров с фильтрами ВС-8 и КС-19.

На основании сопоставления данных о коэффициентах $f^D{}_a$ и $f^Q{}_a$ можно считать, что множители, рекомендованные для перехода к ФАР от непосредственно измеряемых интегральных потоков [8], по всей вероятности, применимы только для климатологических расчетов средних значений ФАР. Для подсчетов сумм ФАР за сравнительно короткие промежутки времени (пятидневки, де-

кады), а в ряде случаев и за отдельные вегетационные сезоны с аномальными погодными условиями, что представляет интерес с точки зрения агрометеорологии, должна быть выработана целая система переходных коэффициентов и в первую очередь необходима организация систематических прямых наблюдений за ФАР в различных климатических зонах. В реальных условиях использование постоянных переводных множителей может приводить к



значения и пределы изменения коэффициентов f'_a по данным различных авторов для рассеянной радиации при ясном небе (*а*), рассеянной радиации при пасмурном небе (*б*), суммарной радиации (*в*) и прямой радиации (*г*).

— по Л. А. Иванову [4], *2* — К. Молдау и др. [6], *3* — Б. И. Гуляев [1], *4* — Х. Г. Тооминг и К. Нийлиск [11], *5* — Н. А. Перелет [7], *6* — А. А. Федюшин и В. П. Беленко [12], *7* — В. А. Рутковская [9], *8* — В. А. Рутковская и В. Н. Челевин [10], *9* — Н. А. Ефимова [3], *10* — Г. Чейч [15], *11* — И. Бирке и И. Рогазик [13].

заметным ошибкам (например, по материалам наблюдений во время рейса НИС «Дмитрий Менделеев» [10] при одинаковом приходе суммарной радиации суточные суммы ФАР могут значительно изменяться).

Оценка влияния изменчивости переходных коэффициентов на результаты подсчета ФАР проводилась Н. А. Ефимовой [3] на материале о средних многолетних дневных суммах по данным из климатических справочников. Было показано, что учет зависимости коэффициента k_S от высоты солнца с использованием двух значений коэффициента k_D от (0,60 и 0,57) приводит к изменению сумм ФАР, находящемуся в пределах точности расчетов. Однако следует обратить внимание на то, что значительно большую величину имеют расхождения самих переходных коэффициентов, полученных различными авторами для потоков радиации одного и того же типа. Так, суммарная ФАР, подсчитанная по переходному коэффициенту, предложенному Чейчем [15] для Англии, будет отличаться примерно на 20% от ФАР, вычисленной по коэффициентам, рекомендованным для использования Ю. К. Россом [8]. Расхождения того же порядка будут и при расчетах по коэффи-

циенту, использованному для нахождения сумм ФАР по результатам обычных (интегральных) актинометрических наблюдений в Потсдаме [13]. Следовательно, вопрос о выборе значений переходных коэффициентов для подсчета сумм ФАР при наличии ограниченных экспериментальных данных нельзя считать решенным до конца.

Изменчивость переходных коэффициентов практически почти не исследовалась, поэтому нами были проанализированы резуль-

Вероятность различных значений коэффициентов f_a^I

Q		$D_{\text{п}}$		$D\odot^2$	
f_a^Q	P	f_a^D	P	f_a^D	P
1,10—1,20	69	1,25—1,35	33	1,75—1,85	17
1,05—1,25	90	1,20—1,40	59	1,70—1,90	40
0,95—1,35	98	1,15—1,45	77	1,65—1,95	57
		1,10—1,50	84	1,60—2,00	68
				1,55—2,05	80

таты наблюдений за ФАР, проводившихся систематически в Карадагской актинометрической обсерватории в течение вегетационного сезона 1976 г., и определена вероятность получения значений P, заключенных в определенных границах (таблица). Для составления таблицы были использованы наблюдения, проведенные при высотах солнца больше 15°, что в значительной степени исключает влияние зависимости коэффициентов от высоты солнца. Наибольший разброс имеют значения коэффициентов $f^D{}_a$ при ясном небе.

Переход от измеряемых обычными пиранометрами интегральных потоков к ФАР по существу соответствует косвенной градуировке этих интегральных приборов по ФАР, так как использование переходного множителя равносильно применению составного переводного множителя прибора в Вт/м² на 1 мВ, но относимого в таком случае только к ФАР. Переходные коэффициенты, определяемые формулой (1), являются фактически редукционными множителями (2) для случая, когда радиация измеряется неселективным приемником. При чувствительности интегрального пиранометра K мВ·м²/Вт пересчет его показаний в величины ФАР сводится в конечном счете к использованию вместо его действительной чувствительности K некоторой чувствительности K^*, причем в соответствии с выражением (4):

$$K^* = 0{,}4 f_\lambda \, f_a^I \, K. \qquad (6)$$

При таком подходе к оценке величины ФАР не учитывается, что в интегральном потоке радиация, не относящаяся к области ФАР, имеет в ней почти одинаковый вес, но подвержена действию таких переменных факторов, как содержание водяного пара, в значительно большей степени, чем ФАР. Проводить прямую градуировку

интегральных пиранометров по ФАР никто не решался, хотя это и могло бы дать материал для некоторого уточнения переходных коэффициентов до введения прямых измерений в области ФАР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев Б. И. Об измерении фотосинтетически активной радиации.— Физиология растений, 1963, т. 10, вып. 5, с. 513—524.

2. Гущин Г. П. Терминология и обозначения, применяемые в атмосферной оптике и озонометрии.— Труды ГГО, 1973, вып. 312, с. 97—120.

3. Ефимова И. А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 214 с.

4. Иванов Л. А. Об измерении физиологической радиации фитоактинометром.— Метеорологический вестник, 1920, т. 30, с. 1—23.

5. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная.— М.: Наука, 1972.— 288 с.

6. Молдау Х. и др. Географическое распределение фотосинтетически активной радиации (ФАР) на Европейской части СССР.— В кн.: Фотосинтез и вопросы продуктивности растений.— М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 145—158.

7. Перелет Н. А. Зависимость соотношения между фотосинтетически активной и интегральной радиацией от прозрачности атмосферы и облачности.— Труды УкрНИГМИ, 1970, вып. 94, с. 46—51.

8. Росс Ю. К. Радиационный режим и архитектоника растительного покрова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.— 336 с.

9. Рутковская В. А. Соотношение между суммарной и фотосинтетически активной радиацией над океанами.— Метеорология и гидрология, 1972, № 9, с. 53—58.

10. Рутковская В. А., Пелевин В. Н. Суммарная и фотосинтетически активная радиация над океанами.— В кн.: Геофизические и оптические исследования в Индийском океане.— М.: Наука, 1975, с. 188—199.

11. Тооминг Х. Г., Нийлиск Х. Коэффициенты перехода от интегральной радиации к ФАР в естественных условиях.— В кн.: Фитоактинометрические исследования растительного покрова.—Таллин: Валгус, 1967, с. 140—149.

12. Федюшин А. А., Беденко В. П. Исследование переходных коэффициентов от интегральной радиации к ФАР на юго-востоке Казахстана.— В кн.: Радиационные процессы в атмосфере и на земной поверхности.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с. 455—458.

13. Birke I. Rogasik I. Die langjährigen global Strahlungmessungen des Hauptobservatorium Potsdam und ihre Nutzung für Pflanzenproductionsforschung.—Z. Meteorologie, 1976, Bd 26, N 2, S. 87—93.

14. Monteny B., Gosse G. Variations du rayonnement photosynthétiquement actif in région tropicale humide.— Archiv Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, ser. B, 1977, Bd 25, N 4, S. 371—382.

15. Szeicz G. Field measurements of energy in the 0,4 — 0,7 micron range.— In: Light as an ecological factor. Oxford, Blackwell scient. publ., 1966, p. 41—51.

Н. А. Касьян, Г. П. Соколова

МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДСИСТЕМЕ ТЕПЛОБАЛАНСОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Целью теплобалансовых наблюдений, проводящихся на сети гидрометеорологических станций, является получение информации о составляющих теплового баланса:

$$B=P+L+V, \qquad (1)$$

где B — радиационный баланс, P — поток тепла в почву, L — турбулентный поток тепла, V — затрата тепла на испарение.

Поскольку основной составляющей уравнения (1) является радиационный баланс (B), основу сети теплобалансовых наблюдений составляет сеть актинометрических станций, измеряющих эту характеристику. Основные требования к размещению сети рассмотрены в работах [3,6—8,22]. Учитывая, однако, что большинство актинометрических станций не отвечает требованиям репрезентативности теплобалансовых станций, критерии для которых приведены в [24], теплобалансовые наблюдения проводятся лишь на 80 гидрометеорологических станциях, совмещенных с актинометрическими. Эти станции ведут наблюдения по программе, изложенной в [24]. Кроме того, имеется значительное число специализированных пунктов, проводящих теплобалансовые наблюдения над различными подстилающими поверхностями. Теплобалансовые наблюдения ведутся также и на ряде воднобалансовых станций.

Основная сеть теплобалансовых станций страны охватывает 16 ландшафтных зон из 27. Густота сети этих станций составляет в среднем 500—600 км для ЕТС и до 1000 км для АТС [1]. Это не обеспечивает получения месячных значений составляющих L, V и P с такой же точностью, что и значения радиационного баланса B.

Информация основной сети теплобалансовых станций поступает в центр сбора, которым является ГГО им. А. И. Воейкова. Информация специализированных пунктов поступает непосредственно к потребителям, по заданиям которых она получена. Принципы организации, методика проведения теплобалансовых наблюдений и методика обработки данных изложены в руководстве [24].

Из всех составляющих теплового баланса на станциях непос-

редственно измеряется только радиационный баланс, остальные составляющие получают расчетным путем на основании градиентных наблюдений за температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра, температурой и влажностью почвы. Полный состав наблюдений приведен в [24].

Теплобалансовые наблюдения, согласно [24], проводятся летом — по полной программе 6 раз в сутки, зимой — по сокращенной программе 2 раза в сутки. Помимо основных наблюдений на станциях 3 раза в месяц проводятся дополнительные наблюдения. Их целью является получение информации о пространственном распределении градиентов температуры и влажности воздуха и потоков тепла и влаги в зависимости от типа подстилающих поверхностей в районе станции. Эти наблюдения заключаются в одновременном измерении градиентов температуры воздуха, температуры подстилающей поверхности и упругости водяного пара [24] на площадке и на расстоянии 10, 50, 100 м в наветренном направлении.

Информация теплобалансовых станций для режимных целей до последнего времени использовалась лишь для изучения режима.

Одним из основных недостатков получаемой от сети теплобалансовых станций информации о составляющих теплового баланса за конкретный срок наблюдений является их низкая точность.

Согласно [8], случайная погрешность измерения основной составляющей уравнения (1) — радиационного баланса в срок наблюдений при 5—10 отсчетах за 10 мин составляет 15%. По данным [9] погрешность единичного измерения B составляет 30 и даже 40%. Согласно требованиям ВМО [32], точность измерения часовых сумм должна составлять 8% для приборов 1-го класса и 19—20 % для приборов 3-го класса.

Требования основных потребителей СССР к этой составляющей баланса, изложенные в РММ, примерно совпадают с требованиями ВМО. Более полные методические требования к этой составляющей теплового баланса рассмотрены в работе Е. П. Барашковой [3].

Рассмотрим требования к остальным составляющим теплового баланса.

1. Расчет потока тепла в почву

Расчет потока тепла в почву за интервал между двумя соседними сроками наблюдений производится по формуле:

$$P = \frac{c}{\tau} \quad (S_1 - \frac{a}{H_1 - H_2} \quad S_2), \qquad (2)$$

где c — объемная теплоемкость почвы, средняя для слоя 0—20 см; τ — продолжительность периода, за который находится поток; S_1 — величина, характеризующая изменение температуры 20-см слоя почвы за интервал τ; a — средний коэффициент температуропроводности верхнего 20-см слоя почвы; H_1 и H_2 — фиксированные

глубины в этом слое ($H_2 > H_1$); S_2 — величина, характеризующая изменение во времени разности температур на глубинах H_1 и H_2.

Чаще всего расчет P производится только по теплосодержанию, т. е. по первому члену формулы (2).

Точность расчета потока тепла определяется погрешностями определения каждой из составляющих, входящих в формулу (2). Оценка погрешности определения потока тепла в почву методом, принятым на сети, сделана в работах [4, 5, 30].

В [30] была оценена суммарная погрешность, которую дает сокращенная формула при задании погрешностей определения исходных параметров.

Для оценки суммарной погрешности определения потока тепла в почве по сокращенной формуле, принятой при ручной обработке, использована формула

$$\frac{\Delta P_1}{P_1} = \frac{\Delta c}{c} + \frac{\Delta S_1}{S_1}. \qquad (3)$$

При погрешности определения плотности сухой почвы $g = 0{,}05$ г/см³ погрешность ее удельной теплоемкости $\Delta c_п \approx 42$ Дж/(кг·К); погрешность определения влажности $\Delta w = 5\%$, максимальное значение

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta c_п + c_в \Delta w}{c_п + c_в w}$$

составляет 25%.

Относительная погрешность $\Delta S_1/S_1$ зависит от S_1. Она достигает наибольших значений в переходные периоды суток, когда величины S_1 малы.

Если считать погрешность значений температуры поверхности почвы по абсолютной величине не более 1 °С, а на глубинах — не более 0,5 °С, то согласно [30] абсолютная погрешность вычисления потока тепла в почву не превышает 14 Вт/м², а относительная погрешность $\Delta P/P$ зависит от самой величины P. В периоды 10—13 и 13—16 ч эта погрешность колеблется от 17 до 50% [30].

Для того чтобы уменьшить случайные погрешности, в последние годы для расчета потока тепла в почве применяют осредненные за декаду значения температуры почвы. Для средних месячных значений согласно [30] суммарная относительная погрешность составляет в среднем 25—30 %, а абсолютная — не более 14—21 Вт/м². Для переходных периодов суток относительная погрешность P сильно возрастает [30] и практически становится соизмеримой с потоком, так как сами величины P малы. Это же обстоятельство отмечается и в исследованиях [11—13, 25].

Новый метод расчета, предложенный автором [13], существенно уменьшает такие погрешности. Ошибки этого метода для самых неблагоприятных условий составляют 9—16 %. Однако этот метод, как показано в [13], не позволяет обеспечить надежность расчетов P за отдельные сроки и за сутки. Метод, дающий возможность получать мгновенные значения потоков тепла в почве, изложен в [16]. Он требует детальной проверки на массовом материале.

2. Расчет турбулентных потоков тепла (L) и влаги (V)

Для расчета турбулентного потока тепла на станциях используется два метода, выбор которых определяется условиями наблюний [24].

Основным методом является метод теплового баланса, согласно которому турбулентный поток тепла

$$L=\frac{B-P}{1+0{,}622\ \dfrac{Q}{c_p p_a}\ \dfrac{\Delta e}{\Delta t}}, \tag{4}$$

где B — радиационный баланс; P — поток тепла в почву; Q — теплота парообразования; c_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; p_a — атмосферное давление; Δe, Δt — разности упругости водяного пара и температуры воздуха.

Метод используется в случаях, когда $(B-P)\geqslant 140$ Вт/м^2, $\Delta t\geqslant 0{,}1$ °С, $\Delta e\geqslant 0{,}1$ гПа. Эти условия ограничивают возможности применения метода теплового баланса на сети. В ночные сроки, когда данный метод не работает, используется метод турбулентной диффузии. Расчетная формула для определения потока тепла этим методом имеет вид

$$L=k_1\rho c_p\frac{\Delta t}{\ln(z_2/z_1)}, \tag{5}$$

где k_1 — коэффициенты турбулентности на высоте 1 м; ρ — плотность воздуха; z_1, z_2 — высоты измерений 0,5 и 2 м соответственно. Эти же методы используются и для расчета затрат тепла на испарение (V). Формула для определения V методом теплового баланса имеет вид

$$V=\frac{B-P}{1+\dfrac{c_p}{Q}\ \dfrac{p_a}{0{,}622}\ \dfrac{\Delta t}{\Delta e}} \tag{6}$$

или методом турбулентной диффузии —

$$V=k_1\rho\cdot 0{,}622\ \frac{Q}{p_a}\ \frac{\Delta e}{\ln(z_2/z_1)}. \tag{7}$$

Обозначения прежние.

Условия выбора метода определены в [24]. Однако, учитывая, что определение турбулентного потока тепла методом теплового баланса производится с большей точностью относительно B, чем определение затраты тепла на испарение [20], затрату тепла на испарение на станциях получают как остаточный член уравнения (6).

Расчет коэффициента турбулентности, входящего в формулы, производится для уровня 1 м по формуле метода теплового баланса

$$k_1=0{,}54\ \frac{B-P}{\Delta t+1{,}56\Delta e}\ \ln\ \frac{z_1}{z_2} \tag{8}$$

или по формуле полуэмпирической теории турбулентности

$$k_1=\varkappa^2\ \frac{\Delta u}{\ln(z_2/z_1)}\ zm, \tag{9}$$

где $\varkappa=0{,}38$; m — множитель, учитывающий влияние стратификации в приземном слое; Δu — разность скоростей ветра на уровнях 0,5 и 2 м; z — высота 1 м.

Погрешности определения составляющих обусловлены методом их определения. При определении их расчетными методами точность расчета L и V будет определяться погрешностями разностей Δt, Δe, Δu, погрешностями определения радиационного баланса и потока тепла в почву (B и P) и погрешностями расчетных формул. Для оценки погрешностей определения турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение методом теплового баланса Д. П. Беспалов использовал формулы, имеющие вид:

$$\frac{\delta V}{V}=\frac{\delta(B-P)}{B-P}+\delta_1{}^V\,, \tag{10}$$

$$\frac{\delta L}{L}=\frac{\delta(B-P)}{B-P}+\delta_1{}^L\,, \tag{11}$$

где

$$\delta_1{}^V=0{,}64\,\frac{\Delta t\delta\Delta e+\Delta e\delta\Delta t}{\Delta e(\Delta e+0{,}64\Delta t)}\,, \tag{12}$$

$$\delta_1{}^L=1{,}56\,\frac{\Delta t\delta\Delta e+\Delta e\delta\Delta t}{\Delta t(\Delta t+1{,}56\Delta e)}\,. \tag{13}$$

Рассчитывая величины δ_1^V и δ_1^L в зависимости от разности температур и упругостей водяного пара на высотах 0,5 и 2 м для случая, когда погрешность в определении разности температур равна 0,1°С, а погрешность в определении упругости водяного пара 0,1 гПа, им были получены результаты, представленные в таблице.

Δe гПа	Δt °С								
	0,0	0,1	0,3	0,5	1,0	0,1	0,3	0,5	1,0
			δ_1^V			δ_1^L			
0,0	—	—		—	—	1	0,33	0,20	0,10
0,1	0,64	0,80	0,88	0,91	0,94	0,77	0,29	0,18	0,10
0,3	0,21	0,24	0,26	0,28	0,29	0,70	0,26	0,17	0,09
0,5	0,13	0,13	0,15	0,15	0,17	0,69	0,25	0,16	0,08
1,0	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,66	0,23	0,15	0,08

Как видно из таблицы, дополнительные погрешности в определении затрат тепла на испарение ($\delta_1{}^V$) и турбулентного потока тепла (δ_1^L) сравнительно невелики в том случае, если градиент упругости водяного пара (Δe) и температуры (Δt) не превышает 0,2 гПа/2м или 0,2 °С/2 м соответственно. При этом дополнительная погрешность $\delta_1{}^V$ слабо зависит от Δt, а погрешность $\delta_1{}^L$ слабо зависит от Δe. Для случаев, когда Δe или Δt равно нулю, можно говорить об относительной погрешности определения только одной составляющей.

Следует отметить также, что погрешности δ_1^V и δ_1^L связаны между собой функционально, поэтому погрешность определения одной составляющей компенсируется в другой.

Для случая, когда Δe численно равно Δt, затраты тепла на испарение составляют 61% от величины $(B—P)$, а турбулентный поток — 39%. При уменьшении того или иного градиента (его величины относительно другого) уменьшается доля соответствующего потока тепла (до нуля), в то время как доля второго потока увеличивается (до $B — P$).

Таким образом, основной погрешностью в определении турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение с деятельной поверхности методом теплового баланса является погрешность определения разности между радиационным балансом и потоком тепла в почву.

Основные погрешности в измерении радиационного баланса приходятся на долю приборов. Согласно [9], точность измерения радиационного баланса составляет 40—50% от отдельных измерений и 30% от сумм.

Оценку максимальной погрешности турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение методом турбулентной диффузии можно оценить по формулам.

$$\frac{\delta L}{L} = \frac{\delta \Delta u}{\Delta u} + \frac{\delta \Delta t}{\Delta t} + 1{,}38\,\frac{\Delta u \delta \Delta t + \Delta t \delta \Delta u}{(\Delta u)^2}, \qquad (14)$$

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{\delta \Delta u}{\Delta u} + \frac{\delta \Delta e}{\Delta e} + 1{,}38\,\frac{\Delta u \delta \Delta t + \Delta t \delta \Delta u}{(\Delta u)^2}. \qquad (15)$$

В эти формулы входят погрешность в определении коэффициента турбулентности и погрешности в определении потоков тепла.

Максимальные относительные погрешности расчетных формул были оценены Т. А. Огневой [20]. При заданных погрешностях измеренных исходных величин, равных $\delta(B — P) \approx 14$ Вт/м², $\delta\Delta t = 0{,}1$ °С, $\delta\Delta e = 0{,}1$ гПа, $\delta\Delta u = 0{,}1$ м/с, относительная погрешность L (или V) зависит от абсолютных значений исходных величин. При $\Delta t > 1$ °С, $\Delta e > 1$ гПа и $(B — P) > 210$ Вт/м² относительная погрешность метода теплового баланса составляет около 20% определяемой величины, а абсолютная погрешность — около 14 Вт/м². При малых значениях B или малых Δt (Δe) погрешности определения L (V) могут превышать саму измеряемую величину.

Для метода турбулентной диффузии, согласно [20], относительные погрешности определения L и V по формулам (5) и (7) одинаковы. При $\Delta e = 0{,}5$ гПа, $\Delta t = 0{,}5$ °С и $\Delta u \geqslant 2$ м/с относительная погрешность составляет около 25%.

Чтобы погрешность определения турбулентного потока тепла и затраты тепла на испарение не превышали полученных оценок, необходимо получать исходные данные с погрешностью $\Delta t = 0{,}1$ °С, $\Delta e = 0{,}1$ гПа, $\Delta u = 0{,}1$ м/с, $(B — P) \approx 14$ Вт/м².

Аспирационные психрометры могут обеспечивать точность измерения градиентов $\Delta t = 0{,}1$ °С и $\Delta e = 0{,}1$ гПа лишь при большом осреднении исходных данных. Проведенные Л. Р. Струзером [27, 28] исследования изменчивости градиентов температуры и влажности воздуха показали, что средние квадратические отклонения

среднечасовых значений Δt или Δe составляют в ясный летний полдень в среднем 0,26 °С и 0,5 гПа.

Результаты исследования Р. С. Ляпиной [17] показывают, что для средних месячных значений градиентов скорости ветра за отдельные сроки погрешность определения Δu не превышает $\pm 0{,}2$ м/с, для отдельных измерений точность значительно ниже. Ошибка в Δu на $\pm 0{,}2$ м/с приводит к относительной погрешности расчета коэффициента турбулентности ($u=3...4$ м/с), равной примерно 10 % [23].

Исследования ГГО показали, что если осредненная за срок случайная погрешность определения $(B-P)$ для средних месячных величин равна 14 Вт/м², то средние месячные значения L и V определяются с погрешностью не более 14 — 21 Вт/м² методом теплового баланса и с погрешностью 10—15% методом турбулентной диффузии. Если расчет потоков тепла и влаги производится по формулам метода теплового баланса, необходимо учитывать еще и систематические погрешности. Одна из них возникает за счет неодновременного измерения в срок наблюдения значений радиационного баланса, которая согласно [15] может достигать 10—15%. Возможна также погрешность из-за неучета горизонтальной неоднородности поверхности. В некоторых случаях, согласно [24], поправки к потокам, учитывающие влияние недоучета горизонтальной адвекции, превышают 10 %. Поправки эти зависят от направления и скорости ветра, с возрастанием скорости погрешность к значениям потоков за счет неучета горизонтальной адвекции увеличивается по абсолютной величине.

Согласно [28], при горизонтальном градиенте температуры на уровне 0,5 м, равном 0,7 °С (расстояние между постоянной и переносной точками равно 50 м), и горизонтальном градиенте влажности, равном 0,6 гПа, поправка к значению турбулентного потока достигает 28 Вт/м².

По материалам сетевых градиентных дополнительных наблюдений в 11% от общего числа случаев горизонтальные градиенты влажности воздуха превышают величину 0,6 гПа. Поэтому в [14] делается вывод о необходимости дальнейшего исследования зависимости поправок к потокам от горизонтальной адвекции тепла и влаги, возникшей в результате неоднородности подстилающей поверхности.

Систематическая погрешность в методике расчета $L(V)$ может возникнуть и при допущении, что механизм переноса тепла, водяного пара и количества движения в приземном слое одинаков, а коэффициенты турбулентного обмена для тепла ($k_т$), водяного пара (k_q), количества движения (k_u) равны, тогда как в условиях, отличных от равновесных, наблюдается различие коэффициентов, а коэффициент $\alpha=k_т/k_u$ существенно зависит от стратификации. До сих пор оценки этих погрешностей на массовом материале не производилось.

При декадных осреднениях данных по ветру не учитываются случаи с слабыми ветрами, в результате чего возникает система-

тическая ошибка в расчетах L и V, которая согласно [15] преуменьшает суточную за месяц сумму L и преувеличивает сумму V. Существующая методика теплобалансовых наблюдений не предусматривает их проведения в дождь, туман, при сильном ветре, метелях и т. п., что также вызывает дополнительные погрешности в определении составляющих теплового баланса.

Обработка наблюдений на станциях производится в соответствии с [24]. Принятый метод обработки и расчета сумм потоков содержит также систематические погрешности [26]. В работе [26] показано, что сокращение с шести сроков наблюдений на меньшее число приводит к завышениям или занижениям значений потоков. Неучет нелинейного изменения потоков в суточном ходе приводит к завышенным суммам затрат тепла на испарение до 20—30%. В работе [26] делается вывод, что достаточными с точки зрения обеспечения погрешности определения испарения в 5% являются наблюдения через 2 и 3 ч. Наихудшим является вариант из двух или одного измерения в сутки.

Анализ состояния теплобалансовых наблюдений показывает, что необходима организационная и техническая перестройка подсистемы, превращения ее в подсистему, отвечающую современным требованиям получения информации и прежде всего получения информации за каждый срок и за сутки. Существующие приборы и методы наблюдений не удовлетворют этим требованиям, не обеспечивают нужной точности, не позволяют производить наблюдения при определенных условиях, процесс наблюдений трудоемок и не автоматизирован. Необходимость переоснащения сети теплобалансовых станций обусловлена и все увеличивающимся количеством задач, решаемых с использованием информации о составляющих теплового баланса.

Руководящие методические материалы (РММ) на подсистему теплобалансовых наблюдений предусматривают:

— повышение точности наблюдений за счет использования современных автоматических средств, позволяющих получать необходимую информацию о потоках или параметрах, необходимых для расчета потоков с заданной точностью в течение года;

— перевод обработки теплобалансовой информации с ручной на автоматическую с использованием ЭВМ;

— доведение сети теплобалансовых наблюдений до оптимальной.

Получение составляющих теплового баланса на станциях предусматривается как с помощью градиентных наблюдений и дальнейших расчетов (при этом должно быть увеличено количество уровней измерения температуры и влажности воздуха и глубин измерения температуры почвы по сравнению с существующими в настоящее время с целью уточнения профилей этих элементов), так и с помощью непосредственного измерения потоков. Для получения срочных значений с заданной точностью предусматривается часовое осреднение измеряемых величин.

Суммарная погрешность определения составляющих теплового

баланса для среднечасовых значений, исходя из требований потребителей информации, допускается не более 10% для радиационного баланса и потока тепла в почву и 15—20% для турбулентного потока тепла и затраты тепла на испарение. Значения погрешностей измерения исходных характеристик (при использовании расчетного метода определения составляющих) должны быть не более величин, приведенных в таблице РММ. Применение созданной в ГГО аппаратуры, измеряющей градиенты температуры воздуха и упругости водяного пара, позволяет получить значения составляющих теплового баланса с такой точностью [2].

Для получения надежно обеспеченных суточных сумм каждой из составляющих теплового баланса предусматривается увеличение сроков измерения в сутки с 6 до 8, а для изучения суточного хода составляющих — до 24 раз в сутки.

Такие рекомендации являются выводами исследований по определению оптимально необходимого количества сроков теплобалансовых наблюдений в течение суток, проведенных в ГГО в конце 60-х годов.

Определение периода осреднения радиационного баланса, произведенное на основании исследований его временной статистической структуры [3], показывает, что период осреднения должен быть равен часу. Такое же осреднение необходимо и для остальных составляющих теплового баланса. При непосредственном определении градиентов температуры воздуха и упругости водяного пара согласно [19] средние часовые значения следует получать не менее чем по 15 отсчетам. При трудностях производства часового осреднения согласно [31] допускается уменьшение периода осреднения до 15—20 мин.

При использовании градиентных наблюдений закладывается повышение точности измерения градиентов температуры воздуха, упругости водяного пара, температуры поверхности почвы и на глубинах.

Предусматривается замена ручной обработки теплобалансовой информации, которая в настоящее время проводится на станциях, механизированной, проводящейся в центре сбора, обработки и хранения информации.

Информацию за срок наблюдения на станции предполагается заносить в книжку наблюдений, приспособленную для первичной обработки, кодирования и перфорирования данных, или непосредственно заносить на технический носитель (при использовании автоматической аппаратуры). Перфоленту с закодированной исходной информацией высылают в центр сбора.

В центре сбора механизированная обработка результатов теплобалансовых наблюдений включает:

— контроль исходных параметров;

— определение теплофизических характеристик почвы;

— расчет коэффициента турбулентности и составляющих теплового баланса;

— составление месячных таблиц;

— занесение информации на долговременный технический носитель;

— составление ежемесячников или ежегодников.

Предусмотрено хранение теплобалансовой информации в центре сбора и обработки и выдача ее потребителям в виде ежемесячников, содержащих обобщенные данные, и в виде магнитных лент с исходными данными.

При решении задачи автоматизации обработки теплобалансовой информации для технического контроля результатов теплобалансовых наблюдений на ЭВМ необходимо разработать количественную схему связей.

Требует пересмотра вопрос о структуре и густоте сети. Теплобалансовые станции должны в зависимости от назначения подразделяться на основные и специализированные. Основные станции должны совмещаться с длиннорядными метеорологическими и актинометрическими (реперными и I разряда), так как они предназначены главным образом для получения режимной информации о тепловом балансе поверхности и для контроля за состоянием окружающей среды. Они должны образовать самостоятельную сеть теплобалансовых станций. После создания и применения на станциях автоматических устройств, позволяющих получать непосредственно значения потоков за определенные сроки наблюдений, информация этой сети может использоваться как оперативная и применяться в различных схемах гидрологических, агрометеорологических и других прогнозов.

Специализированные теплобалансовые станции должны размещаться в зависимости от назначения выдаваемой ими информации. Информация этих станций является, как правило, периодической.

Сеть основных станций должна быть пригодной для привязки к ней данных, получаемых на специализированных станциях.

В ближайшие годы при размещении сети следует руководствоваться выводами, рекомендованными для размещения сети станций радиационного баланса [6—8, 22], так как основной задачей теплобалансовой сети является наблюдение за расходом остаточной радиации.

Для равномерной сети станций максимально допустимое расстояние между ними (ρ), соответствующее мере ошибки оптимальной интерполяции $\varepsilon=0{,}25$, должно составлять при проведении срочных наблюдений 120 км, при использовании самописцев 420 км. При этом теплобалансовые станции должны располагаться в соответствии с типами природных ландшафтных зон и с учетом широтно-долготных факторов распространения этих зон [1, 32].

Выводы

Дальнейшее развитие подсистемы теплобалансовых наблюдений основывается, исходя из следующих принципов:

1. Сеть теплобалансовых станций должна равномерно покрывать всю территорию страны.

2. Густота сети теплобалансовых станций должна основываться на тех же принципах, что и густота сети по наблюдению за радиационным балансом.

3. Информация, получаемая с сети теплобалансовых станций, в зависимости от ее назначения, должна предусматривать не только режимные обобщения, но и оперативное ее использование.

4. Получение теплобалансовой информации должно основываться на использовании современных технических средств, позволяющих получать информацию как в оперативном, так и в режимном виде, снимать ее в любые сроки наблюдений, интегрировать за периоды от одного часа до суток, работать в течение всего года, записывать информацию на технический носитель в физических величинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афиногенов Л. П., Русин Н. П. Задача автоматизации геофизических измерений и научных исследований.—Труды ГГО, 1973, вып. 300, с. 3—14.

2. Афиногенов Л. П., Стернзат С. М. Анализ погрешностей измерения градиентов температуры воздуха.— Труды ГГО, 1974, вып. 342, с. 3—23.

3. Барашкова Е. П. Обоснование РММ на построение подсистемы наземных актинометрических наблюдений.— См. наст. сб.

4. Бройдо А. Г., Кожар С. А. Определение точности станционного метода расчета коэффициента температуропроводности.— Труды ГГО, 1958, вып. 77, с. 95—98.

5. Бройдо А. Г., Субочь Н. А. О точности приближенного метода расчета потока тепла в почве.— Труды ГГО, 1958, вып. 77, с. 99—102.

6. Винников К. Я. К вопросу об объективном анализе полей актинометрических величин.— Труды ГГО, 1967, вып. 208, с. 88—95.

7. Винников К. Я., Дворкина М. Д. Некоторые вопросы планирования актинометрической сети.— Метеорология и гидрология, 1970, № 10, с. 90—95.

8. Винников К. Я., Дворкина М. Д. Оценки точности оптимальной интерполяции суммарной радиации по измерениям на мировой актинометрической сети.— Труды ГГО, 1971, вып. 287, с. 35—41.

9. Гойса Н. И., Железнякова Т. В., Перелет И. В. О некоторых источниках погрешностей балансомеров Янишевского.— Метеорологические исследования, 1966, № 15, с. 31—43.

10. Дворкина М. Д. О сравнимости данных, получаемых с помощью актинометрических приборов различных типов.— Труды ГГО, 1976, вып. 365, с. 53—59.

11. Дубровин Л. В. К расчету величин теплового потока в почву.— Труды ГГО, 1972, вып. 280, с. 189—194.

12. Дубровин Л. В. Экспериментальная проверка нового метода расчета теплового потока в почву.— Сб. работ Куйбышевской ГМО, 1975 вып. 8, с. 15—20.

13. Дубровин Л. В. Усовершенствование методики расчета потока тепла в почву.— Труды ГГО, 1977, вып. 396, с. 102—114.

14. Касьян Н. А. Горизонтальная изменчивость градиентов температуры и влажности воздуха.— Труды ГГО, 1968, вып. 230, с. 79—91.

15. Касьян Н. А., Огнева Т. А., Юганссон В. Э. Некоторые вопросы методики определения составляющих теплового баланса.— Труды ГГО, 1976, вып. 375, с. 102—115.

16. Леготина С. И., Цейтин Г. Х. Об определении мгновенных значений потока тепла в почву.— Труды ГГО, 1972, вып. 282, с. 92—105.

17. Ляпина Р. С. Градиент скорости ветра в нижнем 2-метровом слое атмосферы по данным измерений на сети станций.— Труды ГГО, 1965, вып. 174, с. 187—192.

18. Ляпина Р. С. О влиянии горизонтальных градиентов на точность определения составляющих теплового баланса.— Труды ГГО, 1966, вып. 194, с. 66—70.

19. Мушкин И. Г., Песчанский Ю. А., Саноян М. Г. Определение пороговых значений исходных параметров при вычислении турбулентных потоков по методу теплового баланса.— Труды ГГО, 1969, вып. 249, с. 85—93.

20. Огнева Т. А. О погрешностях определения затрат тепла на испарение и турбулентного потока тепла по данным наблюдений на сети станций.— Труды ГГО, 1965, вып. 174, с. 88—100.

21. Огнева Т. А. О необходимой густоте сети теплобалансовых станций.— Труды ГГО, 1968, вып. 230, с. 65—78.

22. Пивоварова З. И., Стадник В. В. О точности данных наблюдений актинометрической сети и оптимальном расстоянии между станциями.— Труды ГГО, 1969, вып. 249, с. 3—32.

23. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 220 с.

24. Руководство по теплобалансовым наблюдениям.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 150 с.

25. Савиновский И. А., Бройдо А. Г. Усовершенствование методики расчета суточных сумм потока тепла в почве.— Труды ГГО, 1969, вып. 244, с. 65—73.

26. Саноян М. Г., Огнева Т. А. Некоторые вопросы методики определения испарения методом теплового баланса на орошаемых полях.— Труды ГГО, 1970, вып. 209, с. 101—108.

27. Струзер Л. Р. Случайные ошибки величин испарения, рассчитанных по методу турбулентной диффузии.— Труды ГГИ, 1955, вып. 48(102), с. 66—86.

28. Струзер Л. Р. К вопросу о случайных ошибках метода теплового баланса.— Труды ГГИ, 1956, вып. 54.

29. Тимофеев М. П., Кириллова Т. В., Огнева Т. А. Закономерности теплового баланса естественных поверхностей.— В кн.: Современные проблемы климатологии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1966, с. 67—82.

30. Фан А. А. Погрешности вычисления потока тепла в почву по сетевому методу.— Труды ГГО, 1965, вып. 174, с. 81—87.

31. Чжоу Мин Юй. Оптимальные периоды осреднения при измерениях метеорологических полей.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1966, т. 11, № 5.

32. Guide to meteorological instrument and observing practices.— 4 th ed. WMO, N 8. TP. 3. Geneva, 1971.

Я. М. Шварц, Л. В. Огуряев

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ АТМОСФЕРЫ

1. Введение

Надобность в существовании достаточно всеобъемлющей системы измерений характеристик воздушной среды была осознана с наибольшей ясностью именно в последнее время, когда опасность нарушения равновесия в биосфере стала реальной. Подсистема наблюдений за электричеством атмосферы составляет часть общей системы регулярных измерений характеристик атмосферы. Условно подсистема может быть разделена на две: наблюдений за грозовыми явлениями и электрическими свойствами атмосферы. Ниже пойдет речь о последней подсистеме. Главной целью этой подсистемы является обеспечение народного хозяйства СССР информацией по характеристикам атмосферного электричества и антропогенному воздействию на окружающую среду.

Метеорологические и биологические процессы развиваются в атмосфере, неотъемлемым свойством которой является электричество. Таким образом, электричество атмосферы составляет фон для этих процессов. Как предполагают, в некоторых случаях этот фон является активным. Например, известны гипотезы о влиянии электричества тропосферы на образование ядер конденсации и осадков. Существуют предположения о значимости электричества атмосферы как второстепенного экологического фактора, о стимулирующей роли низкочастотных электрических полей в образовании тромбозов и т. д. Экспериментально доказано, что электрические характеристики атмосферы меняются под антропогенным воздействием и существуют прогнозы их изменения под влиянием отдельных факторов (Kr-85). Поэтому основной задачей, решаемой подсистемой, является получение режимных данных об электрическом состоянии атмосферы. Другие задачи — это дополнительная индикация содержания примесей в атмосфере (аэрозоли, Kr-85), определение роли атмосферного электричества в биосфере, выявление возможности использования характеристик атмосферного электричества при поисках солнечно-земных связей, выявле-

ние роли глобальных, региональных и местных генераторов в формировании электрического поля атмосферы. Круг задач, по-видимому, может быть расширен.

Возможности измерений электрических характеристик атмосферы иллюстрируются в какой-то степени интерпретацией векового хода электропроводности воздуха в некоторых пунктах Советского Союза. На рис. 1 приведен вековой ход суммарной электро-

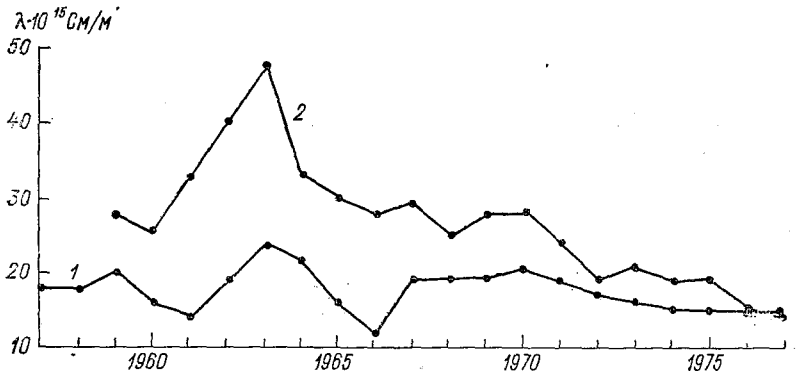


Рис. 1. Вековой ход суммарной электропроводности воздуха по данным измерений в Воейково (*1*) и в Верхнем Дуброво (*2*).

проводности λ воздуха в Воейково и Верхнем Дуброво. Отчетливо видно увеличение λ в годы интенсивных ядерных испытаний, впервые отмеченное К. А. Семеновым [7]. Можно заметить тренд λ в сторону ее уменьшения, вызванный предположительно увеличением концентрации аэрозолей в субоптическом диапазоне в местах измерений. Как показано ниже, результаты измерений λ в других пунктах за последние годы подтверждают существование тренда. Были вычислены разности среднегодовых значений электропроводности в соседние годы $\Delta\lambda = \lambda_n - \lambda_{n-1}$ по данным атмосферно-электрической сети СССР за 1971—1976 гг. За это время были зарегистрированы 17 отрицательных, 10 положительных и 5 нулевых значений $\Delta\lambda$. Оцененная по формуле биномиального распределения вероятность того, что такое превышение отрицательных изменений над положительными случайно, составляет примерно 0,07. Был использован один из возможных подходов к анализу данных. Более полный анализ тренда предполагается выполнить в ближайшем будущем.

2. Состав наблюдений

Состав наблюдений должен обеспечить решение указанных выше задач. Традиционным для наблюдения за электричеством атмосферы являются наблюдения за градиентом потенциала эле-

ктрического поля атмосферы, полярными электропроводностями $\lambda_{1,2}$ воздуха (индекс «1» относится к положительной, «2» — к отрицательной электропроводности), плотностью вертикального электрического тока. Необходимость и значимость этих наблюдений обсуждалась неоднократно (см., например, [12]).

Электропроводность воздуха, характеризующая электрическое состояние воздуха, или пропорциональная ей в первом приближении концентрация легких ионов зависит от нескольких факторов:

$$\lambda_{1,2}=k_{1,2}en_{1,2},$$
$$\frac{dn_{1,2}}{dt}=q(t)-an_1n_2-\gamma_{1,2}n_{1,2}. \qquad (1)$$

В приведенных выше равенствах $n_{1,2}$ — концентрации легких положительных и отрицательных аэроионов, $q(t)$ — интенсивность ионообразования, α — коэффициент рекомбинации легких ионов, γ — коэффициент поглощения легких ионов аэрозолями, $k_{1,2}$ — средние подвижности положительных и отрицательных аэроионов, e — заряд электрона. В дальнейшем принято, что $n_1=n_2=n$, $\gamma_1=\gamma_2=\gamma$. Величина γ определяется полностью составом аэрозоля. Как правило, в приземном слое $an^2\ll\gamma n$. Таким образом, в число факторов, определяющих $\lambda_{1,2}$ или $_{1,2}$, входят ионизирующее излучение и состав аэрозолей, являющихся показателями загрязненности воздуха. Именно поэтому измерение q и γ полезно, особенно в связи с проблемой Кг-85. В [8] показано, что γ можно трактовать как электрическую плотность аэрозоля. Интенсивность ионообразования и электрическая плотность аэрозоля являются важнейшими интегральными аэроэлектрическими параметрами загрязненности атмосферы, и эти характеристики должны быть включены в состав наблюдений рассматриваемой подсистемы.

В простейшем случае, когда местные генераторы объемного заряда не действуют, выполняется равенство

$$V'=U/R\lambda \ . \qquad (2)$$

Изменение V' может произойти за счет потенциала ионосферы U, сопротивления столба воздуха R и $\lambda=\lambda_1+\lambda_2$. Известно, что

$$U=\int_Z V'(z)\,dz, \quad R=\int_Z \frac{1}{\lambda}\,dz, \qquad (3)$$

где z — высота. Поэтому для интерпретации изменений V' и более полного представления об электрическом состоянии атмосферы необходимы регулярные измерения электрических характеристик в свободной атмосфере. Иначе говоря, подсистема должна включать в себя как наземные, так и аэрологические измерения. Полезно вспомнить, что, по мнению ряда специалистов, величина U является глобальной характеристикой, которую следует использовать (и которую уже использовали) в установлении солнечно-земных связей [4].

В табл. 1 в сокращенном виде перечислены элементы, измерение характеристик которых мы считаем необходимым на наземной и аэрологической сети. В этом разделе нами представлены лишь самые общие соображения о составе наблюдений.

3. Организация подсистемы и размещение пунктов наблюдений

Для анализа результатов измерений электрических характеристик атмосферы необходимы метеорологические данные. Поэтому имеет смысл строить подсистему на базе наземной метеороло-

Таблица 1

Состав наблюдений подсистемы

Элемент	Характеристика	Единицы измерения	Примечание
Электрическое поле атмосферы	Градиент потенциала электрического поля атмосферы в точке наблюдения	В/м	Наземные, аэрологические измерения
Электропроводность воздуха	Удельные положительная и отрицательная электропроводности воздуха в точке наблюдения	См/м	Наземные, аэрологические измерения
Вертикальный электрический ток	Плотность тока в точке наблюдения	$А/м^2$	Наземные измерения
Ионообразование	Число пар ионов или количество заряда одной полярности, образующееся за 1 с в единице объема	$А/м^3$	Наземные измерения
Аэроионы	Концентрации легких и тяжелых положительных и отрицательных аэроионов в точке наблюдения	$Кл/м^3$	Измеряется либо электропроводность воздуха, либо концентрация легких ионов. Наземные измерения
Электрическая плотность аэрозоля	Коэффициент поглощения легких аэроионов на аэрозольных частицах в точке наблюдения	$с^{-1}$	Наземные измерения. Вместо измерения тяжелых аэроионов
Электрический потенциал атмосферы	Потенциал на высоте z атмосферы	В	Рассчитывается по данным измерений $V^1(z)$

гической, судовой и аэрологической сети путем расширения состава наблюдений на наблюдательных структурных единицах этой сети. На рис. 2 представлена структурная схема подсистемы.

Пространственное размещение наблюдательных пунктов подсистемы должно обеспечить достижение генеральной цели подсистемы и решение ее основных задач. Рассмотрим в общем виде вопрос получения режимных электрических характеристик в при-

земном слое. Очевидно, полным решением задачи является получение полей элементов. Однако это связано с непомерно большими финансовыми затратами и, на наш взгляд, не является необходимым. Мы полагаем, что задача получения режимных характеристик в нашем случае может быть решена исходя из следующих требований: получение типичных значений характеристик для географического региона и обеспечение сравнимости результатов

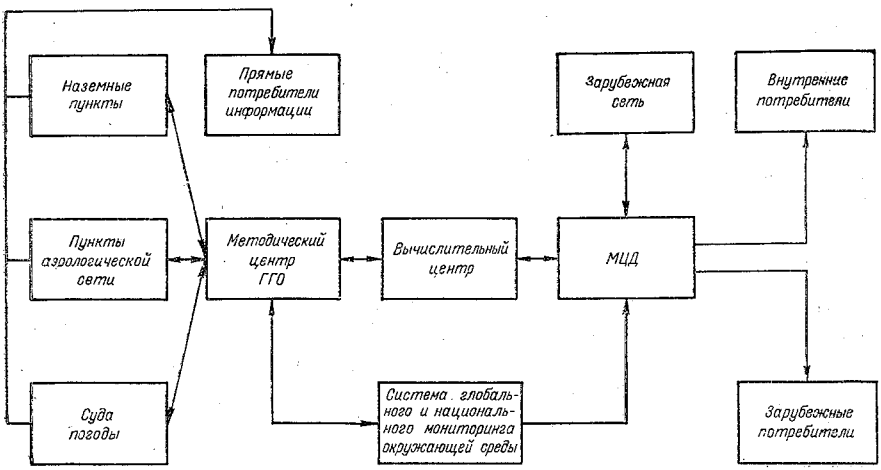


Рис. 2. Структурная схема подсистемы наблюдений за электрическими свойствами атмосферы.

измерений в разных пунктах и во времени. Для определения понятия типичные условия представим в общем виде зависимости λ и V' от других факторов:

$$\lambda = ken, \tag{4}$$

$$\frac{dn}{dt} = q(t) - \alpha n^2 - \gamma n + k\,\frac{\partial (nV')}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\left(a_z \frac{\partial n}{\partial z}\right), \tag{5}$$

$$V' = U/R\lambda + V'_{\text{м}}. \tag{6}$$

В равенствах a_z — коэффициент перемешивания, $V'_{\text{м}}$ — вклад в градиент потенциала, вносимый действием местных генераторов объемного заряда.

Интенсивность ионообразования q в приземном слое атмосферы зависит в основном от содержания радиоактивных эманаций в атмосфере и от интенсивности радиоактивного излучения почвы. Содержание эманаций определяется также выходом этих эманаций. Следовательно, для получения типичных значений q наблюдения должны производиться на типичных почвах, при типичных значениях (для выбранного региона) характеристик состояния почвы (толщины снежного покрова, увлажнения), при типичных значениях коэффициента перемешивания.

В приземном слое величина γ определяется составом аэрозолей.

Поэтому наблюдения должны производиться в районе с типичным для региона составом аэрозолей. Аналогичны требования по a_z, R. Величина U представляет собой глобальную величину с региональными отличиями, связанными с внешними вторжениями. Типичные значения $V'_м$ могут иметь место, если пункт наблюдений размещен в пункте с достаточно типичными для региона климатическими условиями по числу дней с грозами и их интенсивностью, по числу

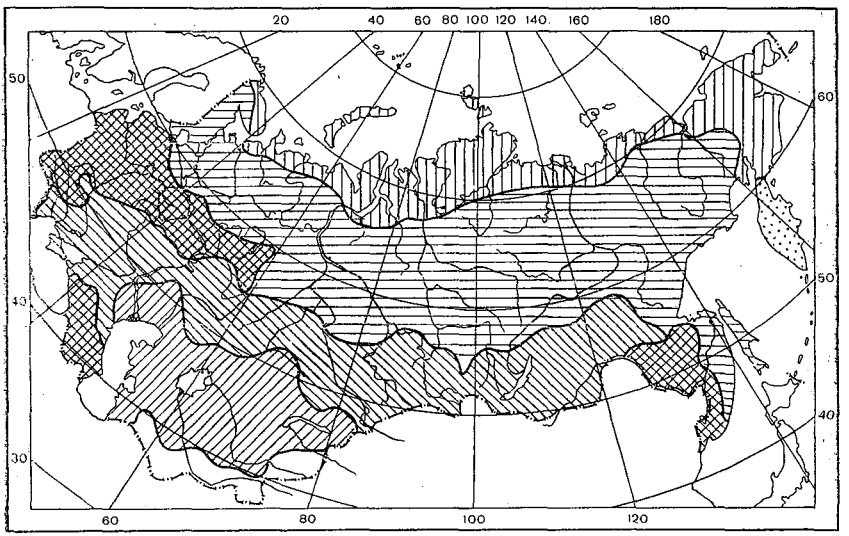


Рис. 3. Физико-географические районы.

дней с туманами, метелями, по конвективной облачности. Понимая всю трудность типизации регионов одновременно по q, a_z, R, γ, $V'_м$, можно все же предложить в качестве основы использовать климатическое районирование СССР, представленное в [3]. Выбранные в соответствии с этим принципом географические регионы, в каждом из которых должен быть расположен пункт измерений характеристик атмосферного электричества, показаны на рис. 3. Само собой разумеется, что внутри регионов наблюдения следует организовать вне зоны «выбросов» параметров, от которых зависят λ, V'. Для получения сведений о том, каких величин могут достигать λ, V', q, γ и др. в особых точках, например в зонах активной хозяйственной деятельности и скопления населения (промышленные города и зоны), целесообразна организация передвижных станций для измерения характеристик атмосферного электричества внутри зон, а также поблизости от них. Целесообразны одновременные измерения характеристик по типу город — окрестность в одном-двух местах. Весьма полезным было бы совмещение сети пунктов наблюдений за фоновыми электрическими

характеристиками атмосферы с сетью фоновых станций и прежде всего с базовыми и комплексными фоновыми станциями.

На Крайнем Севере в зоне вечного льда, в горных безлюдных местах на высотах свыше 2 км, над океанами вдали от берегов можно ожидать наименьшей изменчивости q, γ, R. Поэтому именно эти районы пригодны для организации пунктов наблюдений харак-

Таблица 2

Размещение в СССР пунктов наблюдения за электрическими свойствами атмосферы

Районы размещения	Количество пунктов
Наземная и судовая сеть	
Различные физико-географические регионы СССР (в районах, не подверженных непосредственному воздействию выбросов загрязняющих веществ)	9
Горные области	1—2
Полярные области	1—2
Пары пунктов город — окрестность	2
Научно-исследовательские суда погоды	2—3
Полигоны активных воздействий	2—3
Крупные медико-климатологические обсерватории	2
Аэрологическая сеть	
Полярный и восточный горный районы СССР	2—3
Научно-исследовательские суда погоды	1

ктеристик атмосферного электричества, предназначенных для решения задач, связанных с выявлением солнечно-земных связей, мониторингом Кг-85 и глобальных изменений в содержании аэрозолей. Отметим, что наблюдения, преследующие решение части упомянутых задач, уже проводились на Мауна-Лоа и в Антарктиде, в том числе на станции Восток.

Что же касается решения задачи определения роли атмосферного электричества в биосфере, то для ее выполнения полезно было бы организовать наблюдения за атмосферным электричеством в наиболее крупных медико-климатологических обсерваториях при условии использования результатов наблюдений соответствующими медицинскими учреждениями. Целесообразно также организовать пункты измерений в районах наиболее интенсивных воздействий на атмосферные процессы.

Опыт организации аэрологических измерений электрических характеристик за рубежом показывает, что подобные измерения следует производить в районах с наиболее чистой и устойчивой атмосферой. Для определения изменений U, связанных с вторжениями, пункты должны быть размещены далеко друг от друга.

В табл. 2 подведен итог высказанным выше соображениям.

В перспективе следует наметить в СССР организацию около 20 наземных или судовых пунктов измерения электрических характеристик и 3 пунктов аэрологических зондирований.

4. Технология получения и обработки данных

Каждый пункт наземной сети должен выдавать информацию по каждой измеряемой характеристике атмосферного электричества с установленной периодичностью и заданной точностью либо в физических единицах, либо в других единицах с указанием коэффициентов перехода к физическим единицам, необходимую информацию по метеорологическим характеристикам и явлениям для последующей централизованной обработки информации. При производстве метрологического контроля средств измерений информация должна быть выдана в виде, не требующем машинной дешифровки.

Измерительный комплекс каждого пункта должен представлять автоматически действующую измерительную систему, состоящую из датчиков, центрального измерительного устройства и устройства записи информации на технический носитель, пригодный для ввода в ЭВМ. Макет такого комплекса был разработан ГГО и ЦКБ ГМП и установлен на исследовательские эксплуатационные испытания в конце 1977 г. Его основные характеристики представлены в [1], а некоторые методические вопросы перехода от непрерывной записи к дискретным отсчетам рассмотрены в [2]. В качестве датчика электрического поля использовался электростатический флюксметр [6], а в качестве датчика электропроводности воздуха — аспирационный измеритель электропроводности воздуха с выдвинутым вперед собирающим электродом, аэрозольной защитой и операционным усилителем в измерительной схеме [9—11].

Записи выходных сигналов датчиков производились непрерывно на регистратор Н-39, один раз в 5 мин мгновенные значения сигналов регистрировались центральным измерительным устройством. Инерции датчиков составляли: напряженности электрического поля — не более 2 с, электропроводности воздуха — не более 50 с.

Были обработаны данные за случайно выбранные интервалы времени длительностью 7 сут, результаты представлены на рис. 4. Видно хорошее совпадение средних данных измерений, полученных по непрерывным записям и по дискретным отсчетам, а также относительно хорошее совпадение результатов измерений, полученных разными приборами: постоянно действующими измерителями поля — коллекторной установкой с электрографом Бендорфа, электропроводности воздуха — прибором системы Аллика и вновь разработанными макетами приборов для аналогичных измерений. Эти результаты вселяют надежду на возможность замены существующей методики измерений электрических характеристик атмосферы с непрерывной регистрацией данных на ленте регистратора на автоматические измерения характеристик с производством дискретных отсчетов.

Но впереди предстоит большая исследовательская работа и прежде всего по созданию датчиков, способных конкурировать

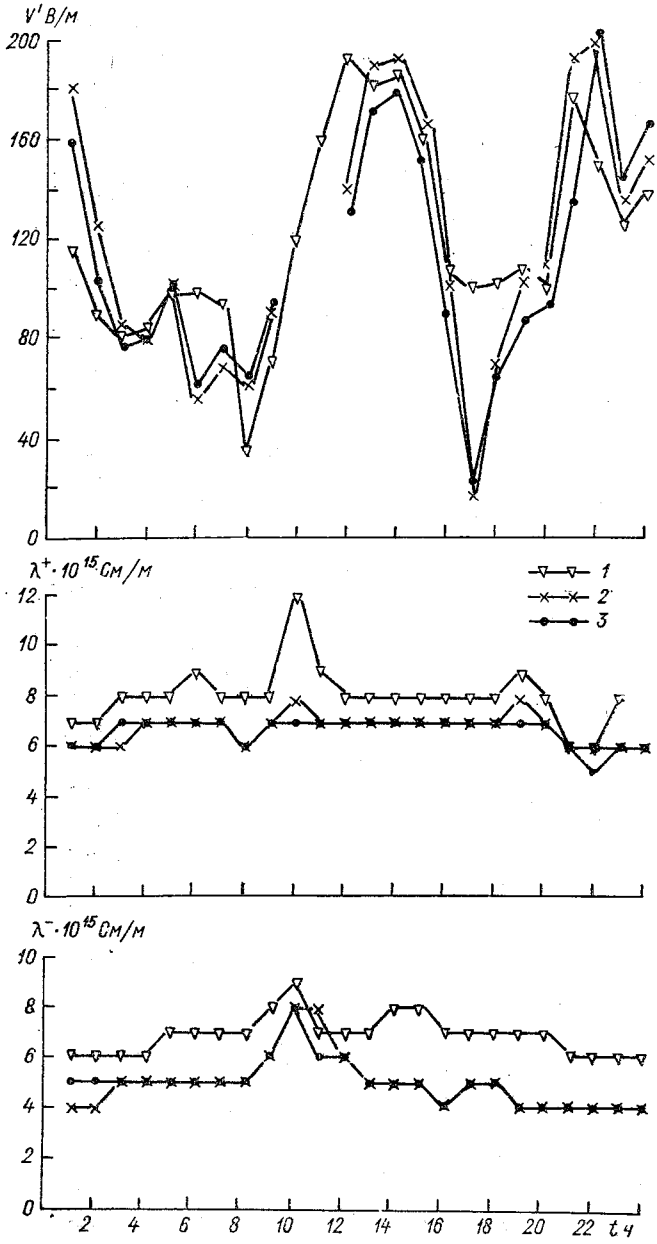


Рис. 4. Сравнительные да
ные результатов измерени
электрических характерист
атмосферы.

1 — данные сетевого пункта и
мерений характеристик атм
сферного электричества, *2*— да
ные регистраторов, *3* — данн
автоматической станции.

по надежности и простоте обслуживания с существующими упомянутыми средствами измерений. При выборе принципов и методов измерений, разработок конструкций следует обратить внимание на обеспечение независимости возможных систематических ошибок измерений от метеоусловий. Как показали теоретический анализ [5] и экспериментальные результаты, использованный в макете автоматической станции динамический (генераторный) метод измерения напряженности электрического поля имеет в этом плане преимущества перед коллекторным (проводимостным) методом. Пока что нет возможности предложить что-нибудь лучшее, чем аспирационный метод измерения электропроводности воздуха или концентрации аэроионов. Но в конкретной конструкции прибора нами было обращено внимание на уменьшение методических ошибок измерений, связанных с окружающими условиями. По результатам исследования используемой аппаратуры для измерения электропроводности воздуха предполагается подготовка отдельной публикации.

Как мы уже убедились при первом опыте работы с автоматически действующими средствами измерений, большое внимание следует уделять объективному контролю результатов измерений, записанных на технический носитель. Здесь могут быть предложены методы, основанные на избыточности информации. В нашем случае — это одновременное измерение нескольких характеристик, функционально связанных между собой. Состав измерений предусматривает реализацию подобной возможности. Разрабатываются также методы, основанные на физических ограничениях в значениях характеристик при определенных метеоусловиях. Так, например, трудно объяснимы довольно редко встречающиеся отношения λ_1/λ_2, меньшие 0,5 и большие 2. Предлагается до проведения тщательного физического исследования случаев регистрации таких отношений специально отмечать в таблицах значения λ_1 и λ_2, для которых $0{,}5<\lambda_1/\lambda_2<2{,}0$, и не принимать их во внимание при подсчете средних значений характеристик.

5. Заключение

Нами представлены некоторые обоснования построения подсистемы наблюдений за электрическими свойствами атмосферы. Исследование не является исчерпывающим. Из большого комплекса вопросов внимание было уделено значимости наблюдений, достаточно общим вопросам их организации, выбору состава наблюдений и рациональному размещению наблюдательных единиц, некоторым особенностям технологии получения и контроля данных. Не рассмотрен такой существенный вопрос, относящийся к выбору средств измерений, как необходимые диапазоны измерений характеристик и допустимые погрешности измерений, вытекающие из анализа физической структуры характеристик. Авторы предполагают посвятить последнему вопросу отдельную работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная система получения атмосферно-электрической информации /Л. П. Афиногенов, В. П. Колоколов, Я. М. Шварц и др. В кн.: Атмосферное электричество.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 57—59.

2. Брагинская Л. Л., Шварц Я. М. Исследование временной структуры напряженности электрического поля у поверхности земли в приложении к задаче определения средних значений.— В кн.: Атмосферное электричество.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 71—74.

3. Будыко М. И. Климат и жизнь.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 472 с.

4. Колоколов В. П., Шварц Я. М. Проблемы регулярных наблюдений за элементами атмосферного электричества (обзор).— ВНИИГМИ — МЦД, Обнинск, 1971.— 32 с.

5. Колоколов В. П., Шварц Я. М. Методы наблюдений элементов атмосферного электричества (обзор).— ВНИИГМИ — МЦД, Обнинск, 1976.—64 с.

6. Михайловская В. В., Назаренко О. М. Прибор для измерения напряженности электрического поля.— Труды ГГО, 1977, вып. 350, с. 142—146.

7. Семенов К. А. Связь элементов атмосферного электричества с загрязнениями воздуха.— В кн.: Атмосферное электричество.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с. 75—79.

8. Таммет Х. Ф. Электрические параметры загрязненности воздуха.— Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, 1977, вып. 443, с. 48—51.

9. Таммет Х. Ф., Шварц Я. М. Устройство для измерения электропроводности воздуха. А. с. № 464881.— В кн.: Бюлл. изобретений, 1975, № 11.

10. Таммет Х. Ф., Шварц Я. М. Измерительный конденсатор. А. с. № 508811.— В кн.: Бюлл. изобретений, 1976, № 12.

11. Шварц Я. М. Устройство для измерения электропроводности воздуха. А. с. № 456243.— В кн.: Бюлл. изобретений, 1975, № 1.

12. Шварц Я. М. Характеристики атмосферного электричества.— В кн.: Афиногенова Л. П., Грушина С. И., Романова Е. В. Аппаратура для исследования приземного слоя атмосферы.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977, с. 141—156.

Г. Б. Брылев, В. Д. Степаненко, Г. Г. Щукин

ПОДСИСТЕМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

1. Основные технологические характеристики подсистемы

Для дистанционного получения информации об облаках и связанных с ними явлениях (осадки, грозы, град, шквалы и др.) с высокой достоверностью и требуемой оперативностью применения этой информации различными потребителями СССР создана подсистема радиолокационных метеонаблюдений на базе отечественных МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. Создание этой подсистемы существенно улучшило штормоповещение и предупреждение об опасных для авиации и других отраслей народного хозяйства явлениях погоды и позволило внедрить метод противоградовых активных воздействий [1,7].

Основным звеном подсистемы являются метеорологические радиолокаторы (МРЛ), к которым предъявляются специфические требования, обусловленные как особенностями метеорологических целей, так и необходимостью оперативного представления информации в аналоговом виде. К этим особенностям относятся:

— значительные вертикальные и горизонтальные размеры метеоцелей, которые, как правило, превышают геометрические размеры зондирующих импульсов;

— относительно малая скорость движения и большая пространственно-временная изменчивость;

— исключительно большой диапазон изменения отражающей способности, достигающий 100 дБ.

В связи с этим для обеспечения наибольшей дальности и вероятности радиолокационного обнаружения облаков и связанных с ними явлений МРЛ должны работать, как правило, в диапазоне 0,8—10 см [55], а для обнаружения и исследования гроз также и в метровом или дециметровом диапазонах радиоволн [22, 23] они должны характеризоваться высоким энергетическим и геометрическим разрешением. Необходимость оперативного и наглядного получения метеорологической радиолокационной информации обусловливает особенности обзора пространства антенной МРЛ и

способов индикации эхо-сигналов. В табл. 1 представлены основные тактико-технические характеристики отечественных МРЛ.

МРЛ являются информационно-измерительными системами; поэтому во время работы требуют систематического контроля и оперативного определения таких основных параметров, как мощность $P_{и}$, излучаемая передатчиком, и чувствительность приемника $P_{мин}$. Результаты контроля позволяют производить измерение мощности отраженных сигналов $P_{пр}$ с погрешностью 2—3 дБ, что обеспечивает измерение средних значений радиолокационной отражаемости $\lg Z$ со средней квадратической погрешностью ± 3 дБ.

Теоретические и экспериментальные исследования метеорологической эффективности МРЛ-1, МРЛ-2 и МРЛ-5 изложены в [2, 16, 24, 47, 49, 50, 54, 55]. С вероятностью не менее 90—95% для равнинных районов нашей страны эффективный радиус действия $R_{эф}$ для указанных МРЛ характеризуется значениями, указанными в табл. 2.

Вероятность обнаружения облаков без осадков довольно резко падает с их удалением от МРЛ. Установлено, что $R_{эф}$ для этих облаков не более 20—25 км при средней вероятности обнаружения около 75 %. Погрешности измерения высот облаков с помощью МРЛ зависят от формы облачности и расстояния до нее. Например, вероятная погрешность измерения высот слоистообразных облаков увеличивается с 480 м на расстоянии 8 км до 950 м на расстоянии 40 км [54]. Для Cb вероятная погрешность в измерении высоты их верхней кромки составляет 510 м в пределах расстояний 100—150 км [13, 47]. Горизонтальные размеры Cb при отсутствии экранирующих сильных дождей на трассе зондирования определяются с погрешностью, по-видимому, не превышающей 2—3 км в радиусе $R_{эф}$. При организации радиолокационной сети штормового оповещения и предупреждения о грозах и ливнях знание $R_{эф}$ является необходимым, так как позволяет решить вопрос о том, на каком расстоянии друг от друга должны находиться МРЛ, чтобы создаваемое ими радиолокационное поле было сплошным для всех опасных ливней, не говоря уже о грозовых или градовых очагах. Очевидно, что это расстояние не должно превышать $2R_{эф}$, т. е. 300—400 км.

С учетом величины $R_{эф}$ и экономических факторов в СССР размещение МРЛ проводится следующим образом:

— МРЛ устанавливаются через каждые 300—400 км в промышленных и сельскохозяйственных районах с развитой грозовой деятельностью и на основных авиатрассах с интенсивным движением. В остальных районах страны МРЛ устанавливаются на расстояниях более 400 км;

— МРЛ устанавливается в ЗГМО или на АМСГ для наиболее эффективного использования всей радиолокационной информации с минимумом затрат;

— в крупных городах с неселеннем более 1 млн. может размещаться по две МРЛ (в ЗГМО и на АМСГ);

— установка МРЛ проводится с учетом существующих санитарных норм по излучению, рельефа местности, а также

Таблица 1

Параметры МРЛ-2 и МРЛ-5

Наименование МРЛ	Мощность $P_и$ кВт	Длина волны λ см	Коэффициент усиления G дБ	Длительность зондирующего импульса τ, мкс	Минимальная чувствительность $P_{мин}$ дБ/Вт	Затухание радиоволн в волноводном тракте, дБ	Ширина диаграммы направленности $\theta°$	Потенциал $10\lg\pi_м$ в ед. СИ
МРЛ-2	215	3,2		1; 2	—132	8,0	0,8	283
МРЛ-5 (I канал)	250	3,2	40(49)	1; 2	—137	5,8	1,5	293
МРЛ-5 (II канал)	850	10,0	39(40)	1; 2	—140	5,1	1,5	280

Таблица 2

Эффективный радиус обнаружения $R_{эф}$ облаков и связанных с ними явлений на МРЛ

Форма облаков	Явления	$R_ф$, км	
		Теплое полугодие	Холодное полугодие
Кучево-дождевые	Град, гроза, ливневый дождь или снег	150—200	—
		120—150	90—120
Мощные кучевые	Без осадков	50—100	—
Слоисто-дождевые	Обложные осадки	120—150	60—100
Слоистые, слоисто-кучевые, высокослоистые	Обложные моросящие осадки	60—100	30—60

работающих радиотехнических средств другого назначения в районе МРЛ.

В настоящее время сеть МРЛ штормоповещения Госкомгидромета превышает 100 МРЛ.

2. Состав, объем и особенности радиолокационной информации

В радиусе своего действия МРЛ позволяет обнаруживать облака и связанные с ними опасные явления, проводить их опознавание по типам; для каждого типа явления определять местоположение, геометрические размеры, интенсивность, скорость и направление движения, тенденцию развития; производить измерения высот облачных слоев, определять высоту нулевой изотермы внутри слоисто-дождевых облаков и в большинстве кучево-дождевых облаков, что является необходимым при диагнозе и прогнозе обледенения самолетов, при активных воздействиях с целью вызывания осадков из конвективных облаков [54, 58]. Для решения указанных задач используются соответствующие методы обзора пространства антенной МРЛ и способы измерения необходимых характеристик радиоэха.

На относительно малых расстояниях (до 30 км) применяется метод вертикальных разрезов по выбранным азимутам и горизонтальных разрезов при малых углах места. На расстояниях более 30 км используется метод круговых обзоров при разных углах места антенны. Эти методы обзора пространства позволяют измерять геометрические размеры радиоэха и его интенсивность в любой области атмосферных образований с помощью ступенчатого изоэха.

В результате выполненных экспериментальных исследований были установлены наиболее информативные признаки радиоэха облаков и явлений, которые используются в задаче опознавания указанных атмосферных образований [10, 30, 33, 40, 41, 47, 56]. Радиоэхо слоистообразных облаков (РСО) обладает достаточно однородной структурой и большими (примерно 100 км) горизонтальными размерами. Радиоэхо кучевообразных облаков (РКО) обладает неоднородной структурой и относительно малыми горизонтальными размерами [47, 54]. Для локальных Cb наиболее информативными характеристиками являются максимальные значения высот и интенсивности радиоэха (летом на высоте, превышающей уровень нулевой изотермы на 2—3 км, а зимой на высоте 2—3 км [47, 48, 53]. Для РСО — максимальные высоты и интенсивности радиоэха и степень их уменьшения с удалением от МРЛ.

3. Дискретизация пространства и размеры элементарных ячеек измерения

Число очагов РКО в радиусе обзора МРЛ может колебаться от одного до нескольких сотен. Измерение количественных характеристик каждого из них при неавтоматизированном способе

наблюдений затруднительно. Поэтому для удобства было целесообразно произвести разбиение всего пространства на равновеликие площади, приняв декартову систему координат и квадратные ячейки [47, 51]. Аналогично было сделано и при разбиении пространства для автоматизированной системы [46]. Оптимальные размеры ячейки для задач штормоповещения и режимных обобщений определялись путем расчетов.

Таблица 3

Вероятности P_1 и P_n при различных размерах пространственной ячейки a

a км	P_1 %	P_n %
10	64,0	100
20	81,0	99,8
30	88,0	97,0
60	97,0	76,0

Вероятность того, что очаг диаметром d не пересечет ни одной линии условной сетки и окажется внутри пространственной ячейки a, рассчитывалась по формуле [19]

$$P_1 = (1 - d/a)^2,$$

где d — горизонтальные размеры ядра грозового радиоэха. Вероятность того, что в ячейке a окажется не более одного очага грозового радиоэха, рассчитывалась по закону Пуассона [19]

$$P_n = x_n e^{-x}/n!,$$

где n — количество очагов радиоэха, x — частота появления грозового радиоэха в ячейке простанства a (значения x получены из экспериментальных данных, они оказались равными 0,008; 0,05, 0,24 и 0,60 при $a = 10$, 20, 30 и 60 км соответственно [35]). Результаты расчетов P_1 и P_n приведены в табл. 3, из которой видно, что оптимальные размеры a равны 30 км. При этом фиксируется самое малое искажение истинного распределения в простанстве радиоэха гроз. Полученные выводы согласуются с существующими представлениями о горизонтальных размерах грозовых облаков (примерно 20 км), их вершин (приблизительно 10 км) [5, 59] и о расстояниях между соседними очагами грозового радиоэха (10—20 км) [42].

4. Дискретизация наблюдений по времени

Дискретизация определялась с учетом требований потребителей [75] и простанственно-временной изменчивостью радиоэха опасных явлений. Непрерывная продолжительность гроз и ливней над метеостанциями определялась экспериментально [29]. Оказалось, что 54% ливней и 46% гроз обладают продолжительностью меньше 1 ч. Анализ информации МРЛ указывает, что при проведении

наблюдений один раз в час примерно 5% гроз над метеостанциями не фиксируется МРЛ в радиусе 160 км. При наблюдениях один раз в 15 мин МРЛ обнаруживает в этом радиусе все опасные явления [29], отмеченные метеостанциями.

Временна́я изменчивость численных характеристик, измеренных в ячейках пространства 30×30 км, появляется не только в результате трансформации радиоэха облаков, но и за счет сме-

Таблица 4

Вероятность $S_{см}$ при скоростях смещения v и интервалах Δt

Δt мин	v км/ч			
	10	30	60	90
4	0,03	0,14	0,24	0,36
15	0,15	0,43	0,75	0,93

щения его в соседнюю ячейку [29]. Вероятность осуществления последнего события ($S_{см}$) рассчитывалась для условий, когда размеры ячеек $a=30$ км, время съема информации $\Delta t=4$ и 15 мин, скорость переноса $v=10$, 30, 60 и 90 км/ч соответственно. Согласно [11],

$$S_{см}=1-(1-\frac{l}{a})^2=\frac{l}{a}(2-\frac{l}{a}),$$

где l — расстояние, на которое сместится радиоэхо за время Δt при скорости смещения v. Рассчитанные значения $S_{см}$ приведены в табл. 4. Результаты расчета свидетельствуют, что уже при

Таблица 5

Повторяемость (%) изменения численных характеристик высот (ΔH) и отражаемостей ($\Delta \lg Z_3$) за $\Delta t=15$ мин

ΔH км	∇ (%)	∇ (%)	$\Delta \lg Z_3$ (%)	∇ (%)	$P_п$ (%)
0	32	21	0,0	40	34
1	44	37	0,6	49	47
2	10	19	1,2	5	11
3	5	11	1,8	6	8
4	5	7			
5	4	5			

скоростях 30 и 60 км/ч вероятность перемещения очага в соседнюю ячейку очень велика.

В результате экспериментальной проверки оказалось, что за интервалы 15 мин высо́ты (H) и отражаемости радиоэха Cb на высоте 4—6 км (Z_3) могут претерпевать изменения, значения которых приведены в табл. 5 [29]. Если асинхронность наблюдений превышает 15 мин, неправильная метеорологическая интерпретация радиоэха фиксируется в 7 % случаев.

Таким образом, для обнаружения всех опасных явлений и правильной их метеорологической интерпретации необходимо проводить наблюдения один раз в 15 мин при скорости съема одной серии наблюдений 2—3 мин. Наблюдения, проводимые с меньшей частотой и скоростью, сопровождаются потерями метеорологической информации.

5. Пути совершенствования подсистемы

Подсистема радиолокационных метеорологических наблюдений существует более десяти лет. Получаемая информация достаточно эффективна [7, 18 20, 21, 34, 35, 43] и широко используется потребителями Тем не менее проведенные в последние годы исследования указывают на возможность ее совершенствования. Это в равной степени касается увеличения объема, оперативности и достоверности информации.

В первую очередь целесообразно отметить научно-методические разработки, в результате применения которых повысилась достоверность получаемой информации. Так, например, были получены поправки, связанные с влиянием удаления метеоцели от МРЛ [48].

Исследования пространственной структуры радиоэха облачных полей выявили связи численных характеристик радиоэха с характером облачного поля [37, 38], вертикальными движениями, обусловленными термической конвекцией, высотой уровня конвекции [9], с характером явлений в облачном поле [32] и др. В то же время обнаружены закономерности, регламентирующие возможности метода. Так, наблюдается уменьшение с расстоянием объема и численных характеристик радиоэха [28].

Наряду с этим изучалась возможность повышения достоверности распознавания класса явлений путем увеличения привлекаемых при анализе признаков [6], учета суммарной отражаемости, вертикальных профилей отражаемости [53], применения параметрических методов анализа, использования техники квадратичного дискриминантного анализа на статистических главных компонентах [11, 12, 25, 52]. Указанные работы свидетельствуют о возможности повышения достоверности распознавания явлений при проведении автоматизированных наблюдений и обработки данных на ЭВМ. Были также найдены связи между максимальными значениями интенсивности дождя и интенсивностью радиоэха [3, 4], термодинамическим состоянием атмосферы и численными характеристиками поля радиоэха [40] и т. д. Реализация на практике указанных связей также требует автоматизированных методов наблюдений и обработки.

По данным о размерах очагов кучевообразного радиоэха и скорости переноса на разных высотах (градиентный ветер) более точно определяется перемещение кучево-дождевой облачности с явлениями [8]. По геометрическим размерам кучевообразного радиоэха, его отражаемости и характеру распределения темпера-

туры и ветра с высотой определяются зоны шквалов [9]. По распределению площади и интенсивности радиоэха и полусуточных сумм осадков в районе расположения осадкомеров можно более точно провести полусуточные изогиеты [3].

Используя данные МРЛ и информацию об облачности, получаемую сетью гидрометстанций (ГМС), можно увеличить объем и достоверность данных об облаках [36, 39], в том числе для районов, где отсутствуют ГМС. Используя данные МРЛ и радиационной температуры, измеренной с помощью метеорологических спутников Земли (МСЗ), можно уточнить горизонтальное распределение облачности и верхние границы облаков [26]. Совместный анализ информации МРЛ, ГМС и МСЗ необходимо проводить на ЭВМ. В Гидрометцентре СССР разработана программа обработки в ЭВМ закодированной информации МРЛ и ГМС [57] в вычислительных центрах территориальных ГМЦ, где имеются все виды метеоинформации. Это позволяет на уровне территориальных ГМЦ решать задачи комплексной обработки радиолокационной информации совместно с другими видами наблюдений при условии разработки соответствующих алгоритмов и программ.

Применение на практике выявленных зависимостей в настоящее время не предствляется возможным, так как большинство из них требует автоматизации наблюдений. А те из них, которые могут быть реализованы без автоматизированных наблюдений, возникают в сложной метеообстановке, когда оператором затрачивается много времени и нет реальной возможности проводить дополнительную обработку.

В последние годы успешно завершены испытания некоторых устройств, позволяющих получать с помощью МРЛ новые виды информации, либо увеличивать ее достоверность и оперативность. Использование грозоиеленгаторов, сопрягаемых с МРЛ, позволяет локализовать грозы с большей достоверностью [22]. По данным МРЛ и радиолокаторов, работающих в метровом или дециметровом диапазоне волн, можно с большей достоверностью определить грозовое облако и выявить районы молний [23]. Разработанная аппаратура «Радиодождь» в комплексе с МРЛ позволяет получать сведения о количестве выпавших осадков по ячейкам пространства размером 3,3 км на 3° [58]. Результаты измерения осадков, выполненного на этой аппаратуре и на МРЛ, показывают, что ошибки измерения слоя осадков за дождь определяются с 75%-ной обеспеченностью.

Применение обычных и доплеровских радиолокаторов позволяет производить измерения мезомасштабных вертикальных движений в облаках и осадках [44, 58].

Из всего ранее рассмотренного вытекает необходимость автоматизации процесса наблюдений и съема данных МРЛ. По-видимому, возможны три варианта автоматизации.

1) частичная автоматизация, когда процесс наблюдения и съема информации, а возможно, и метеорологической интерпретации, осуществляется автоматизированно. Оператор осуществляет кон-

троль информации, представление, кодирование и прочие виды работ;

2) полная автоматизация с использованием специализированных устройств, автоматизирующих процесс наблюдений и съема количественных характеристик радиоэха. В этом случае выходные данные печатаются на перфоленте, которая вводится в ЭВМ. На ЭВМ осуществляется контроль заперфорированных данных, их метеорологическая интерпретация, представление данных одного МРЛ (бланк ф. № 2) и группы МРЛ (бланк ф. № 3), кодирование оперативной и штормовой информации и передача закодированных данных потребителю, кодирование режимной информации и накопление ее для последующей режимной обработки. Оператор осуществляет руководство режимом работы аппаратуры, обслуживает потребителей (отвечает на запросы) следит за штормовой обстановкой в черте города (аэропорта) и приближающимися опасными явлениями, контролирует работу аппаратуры и обработанную информацию, анализирует картины радиоэха, следит за смещением радиоэха облачных систем и отдельных очагов;

3) полная автоматизация с помощью ЭВМ, которая через устройство предварительной обработки сопрягается с МРЛ. Кроме штормоповещения автоматизированный комплекс МРЛ — ЭВМ обеспечивает получение информации об интенсивности и слое осадков, турбулентности (в облаках и осадках) и вертикальных мезомасштабных движениях [14, 15, 17, 31, 58]. Появляется возможность обновлять информацию с необходимой частотой, т. е. один раз в 15 мин.

Реальная возможность автоматизации процесса наблюдений доказана опытной эксплуатацией аппаратуры АОМ в Белорусском территориальном ГМЦ. Эта аппаратура автоматизирует процесс получения первичных радиолокационных данных, совмещает по времени данные отражаемости на разных уровнях высот и о высотах (исключает асинхронность), создает оптимальные условия оператору для проведения анализа и контроля данных, с большей точностью определяет высоты радиоэха, уменьшает время съема информации или время работы МРЛ и создает реальные условия для использования рассмотренных выше приставок в практике радиолокационных наблюдений, выдает выходную информацию в виде, удобном для ее ввода в ЭВМ или классификатор, что создает предпосылки обработки данных в ЭВМ или с помощью классификатора [27, 46].

6. Сравнение способов получения радиолокационной информации

Выше отмечалось большое значение периодичности наблюдений и скорости съема первичной информации. Обе эти характеристики зависят от метеоусловий, размеров дискретных ячеек (a) и способа получения первичных данных. Для анализа этих параметров и принятия научно обоснованных решений производились расчеты

затрачиваемого времени на различные виды работ при неавтоматизированном (НА) и автоматизированном (А) способах съема информации на МРЛ. Предполагалось, что наблюдения проводятся в соответствии с рекомендуемой технологией [27, 29, 46, 47, 52]. Расчеты велись для коэффициента заполнения экрана радиоэхом ($K_з \approx 0{,}6$) в сложной метеообстановке и размерах ячеек $a =$

Таблица 6

Время получения радиолокационной информации (мин).

Вид выполняемой работы	Способ получения	Размер ячеек, км		
		15	30	60
Съем информации в дальней зоне	НА	30—40	10—20	5—10
	А	2,5—3	2,6—3	2,5—3
Съем информации в ближней зоне (в четырех азимутах)	НА	—	3—5	—
	А	—	4—5	—
Обработка в дальней зоне	НА	15—20	7—10	3—7
Печать в дальней зоне	А	10—12	5—6	3
Обработка в ближней зоне	НА	—	2—3	—
Печать в ближней зоне	А	—	4	—

$= 15$, 30 и 60 км. В табл. 6 указано время, затрачиваемое на наблюдения в дальней зоне (ДЗ) — в кольце от 30 до 300 км и ближней зоне (БЗ) — в радиусе 30 км.

Анализ табл. 6 показывает, что неавтоматизированный способ получения первичной информации в дальней зоне не обеспечивает необходимой синхронности и оперативности наблюдений. В ближней зоне автоматизированный способ получения первичной информации, не выигрывая во времени съема, несколько проигрывает во времени представления информации.

Для устранения асинхронности и повышения оперативности неавтоматизированного способа наблюдений в настоящее время на сети МРЛ в сложной метеорологической обстановке при $K_з \leqslant \leqslant 0{,}5$ съем первичной информации осуществляется в радиусе 180 км, измерения интенсивности РКО только на одной высоте, превышающей уровень нулевой изотермы на 2—2,5 км. При наличии фронтальных облачных систем за пределами 180 км съем информации осуществляется по ячейкам 60×60 км. Такой режим получения первичных данных обеспечит возможность обновления информации 2 раза в час, уменьшит вдвое асинхронность наблюдений и повысит достоверность данных об опасных явлениях до 80—85 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абшаев М. Т. и др. Специализированный радиолокатор градозащиты и штормоповещения МРЛ-5 и его метеорологическая эффективность/ М. Т. Абшаев, Ф. И. Бурдаков, С. И. Ваксиянбург.— Труды ВГИ, 1976. вып. 33. с. 3—30.

2. Аленов П. А., Зражевская Р. М. К вопросу радиолокационной эффективности распознавания гроз и облаков.— Труды ГГО, 1973, вып. 281, с. 95—101.

3. Алибегова Ж. Д., Брылев Г. Б., Иванова Н. Ф. О связи между максимальными и средними значениями интенсивности дождей по данным радиолокационных и плювиографических наблюдений.— Труды ГГО, 1976, вып. 383, с. 63—66.

4. Алибегова Ж. Д. и др. О привлечении данных МРЛ сети штормооповещения для анализа полусуточных изогнет жидких осадков /Ж. Д. Алибегова, Д. П. Беспалов, Г. Б. Брылев и др.— Труды ГГО, 1976, вып. 375, с. 69—78.

5. Боровиков А. И. и др. Радиолокационные измерения осадков.— Л.: Гидрометеоиздат, 1967.— 140 с.

6. Болондинская Л. С., Брылев Г. Б., Кузнецова Л. И. К вопросу о разделении осадков разного фазового состояния в переходные периоды года по радиолокационным данным.— Труды ГГО, 1975, вып. 323, с. 95—108.

7. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л., Степаненко В. Д. Вопросы практического применения радиолокационной метеорологической информации (Обзор). Сер. Метеорология.— ВНИИГМИ — МЦД, Обнинск, 1978.— 60 с.

8. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л. О связи между скоростью и направлением перемещения радиоэха конвективной облачности и воздушными потоками на стандартных барических уровнях.— Труды ГГО, 1976, вып. 383, с. 52—62.

9. Брылев Г. Б., Огуряев В. С. Радиолокационные критерии шквалов, связанных с кучево-дождевой облачностью.—Труды ГГО, 1976, вып. 383, с. 67—72.

10. Брылев Г. Б., Сальман Е. М. О возможном способе ежедневной корректировки радиолокационного критерия грозоопасности.— Труды ГГО, 1973, вып. 281, с. 82—85.

11. Брылев Г. Б., Сонечкин Д. М. Предварительные результаты применения техники квадратичного дискриминантного анализа для распознавания грозовых и ливневых явлений.— Труды ГГО, 1976, вып. 383, с. 91—102.

12. Брылев Г. Б., Сонечкин Д. М., Шведов В. В. Влияние обучающей выборки на распознавание радиоэха гроз и ливней.— Труды ГГО, 1979, вып. 430, с. 86—92.

13. Брылев Г. Б., Рыжков А. В. Ошибки определения границ облаков радиолокационным методом.— Труды ГГО, 1979, вып. 430, с. 11—18.

14. Брылев Г. Б., Воробьев Б. М., Грачев С. С. Расчет характеристик конвективных облаков по данным стандартной аэрологической информации и их сравнение с результатами радиолокационных наблюдений.— Труды ГГО, 1979, вып. 430, с. 55—63.

15. Брылев Г. Б., Завдовьев А. В., Низдойминога Г. Л. Определение параметров движения радиоэха облаков и осадков на основе корреляционного анализа.— Труды ГГО, 1979, вып. 430, с. 93—100.

16. Брылев Г. Б., Сергиенко Е. П., Ширяева В. И. Радиолокационные характеристики гроз в районе Киева.— Труды ГГО, 1979, вып. 430, с. 110—117.

17. Брылев Г. Б., Завдовьев А. А., Линев А. Г. Принцип использования совокупности алгоритмов при автоматизации распознавания радиоэха гроз и осадков.— Труды ГГО, 1979, вып. 430, с. 80—85.

18. Брылев Г. Б., Низдойминога Г. Л. Использование радиолокационных данных в синоптической практике. Методическое пособие.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 85 с.

19. Бродский А. Д., Кап В. Л. Краткий справочник по математической обработке результатов измерений.— М.: Стандартиздат, 1960.

20. Временные указания по ручной стыковке данных МРЛ.— Л.: ГГО, 1975.— 25 с.

21. Временные методические указания по машинной обработке и контролю данных гидрометеорологических наблюдений. Вып. 12, ч. 3, разд. 1. Обнинск, 1976.— 15 с.

22. Гальперин С. М. Результаты радиолокационно-пеленгационных наблюдений за ливнями и грозами с помощью МРЛ-1 и сопряженного с ним пе-

ленгатора гроз /С. М. Гальперин, В. Д. Степаненко, М. Е. Соломоник и др.— В кн. Труды III Всесоюз. совещания по радиолокационной метеорологии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1968.

23. Гальперин С. М., Степаненко В. Д., Осетров А. С. Радиолокационное обнаружение молний.— Труды ГГО, 1974, вып. 301, с. 81—87.

24. Гашина С. Б., Матвеева Л. И., Разумовский А. А. Сравнение информации об облаках и явлениях, сопровождающих Cb, получаемой с наземной и радиолокационной сети станций.— Труды ГГО, 1973, вып. 281, с. 90—95.

25. Гашина С. Б. и др. Оптимальные численные схемы распознавания класса грозоопасных Cb и негрозоопасных осадков /С. Б. Гашина, А. Г. Линев, В. Г. Оноприенко, Е. М. Сальман.— Труды ГГО. 1976, вып. 383, с. 18—25.

26. Гавриленко И. М., Бузяи Т. О., Заволока Ю. В. Об определении температуры и высоты верхней границы облачности по спутниковым и радиолокационным данным.— Труды УкрНИГМИ, 1977, № 154, с. 65—73.

27. Гашина С. Б. и др. Результаты испытаний аппаратуры, автоматизирующей процесс получения радиолокационной информации ААОМ, в БТГМЦ /С. Б. Гашина, Т. В. Иванова, А. Г. Линев, В. А. Петрушевский.— Труды ГГО, 1977, вып. 395, с. 3—5.

28. Гашина С. Б., Дивинская Б. Ш., Линев А. Г. О связи радиолокационных характеристик, полученных комплексом МРЛ—ААОМ, с некоторыми метеорологическими параметрами.— Труды ГГО, 1977, вып. 395, с. 6—12,

29. Гашина С. Б. и др. Сравнение эффективности неавтоматизированного и автоматизированного способов получения метеорологической радиолокационной информации /С. Б. Гашина, Б. Ш. Дивинская, А. Г. Линев, Е. М. Сальман.— Труды ГГО, 1976, вып. 283, с. 34—39.

30. Гашина С. Б., Дивинская Б. Ш., Сальман Е. М. Методика использования и результаты проверки численного радиолокационного критерия грозоопасных облаков.— Труды ГГО, 1968, вып. 231.

31. Гудыма А. М., Завдовьев А. А., Линев А. Г. Применение промышленных ЭВМ для обработки информации в реальном масштабе времени при решении задач штормоповещения.— Труды ГГО, 1979, вып. 430, с. 118—123.

32. Дивинская Б. Ш. К возможности использования в метеорологическом анализе комплексной характеристики радиоэха облачного поля.— Труды ГГО, 1974, вып. 327, с. 40—47.

33. Дивинская Б. Ш., Брылев Г. Б., Сальман Е. М. Радиолокационные характеристики полей с мощными кучевыми облаками и их связь с термодинамическим состоянием атмосферы.— Труды ГГО, 1969, вып. 243.

34. Дивинская Б. Ш., Сальман Е. М. К вопросу о режимных обобщениях данных радиолокационных наблюдений.— Труды ГГО, 1973, вып. 281, с. 58—64.

35. Дивинская Б. Ш. К методике распознавания облачных систем по их радиолокационным характеристикам.— Труды ГГО, 1973, вып. 281, с. 48—58.

36. Дивинская Б. Ш., Иванова Т. В. К возможности получения режима гроз по данным наблюдений на метеорологических радиолокаторах.— Труды ГГО, 1976, вып. 383, с. 73—79.

37. Дивинская Б. Ш. Алгоритмы комплексной обработки данных наблюдений радиолокаторов.— Труды ГГО, 1976, вып. 383, с. 85—90.

38. Дивинская Б. Ш. Обоснование численных алгоритмов распознавания облачных систем и их трансформации.— Труды ГГО, 1977, вып. 395, с. 95—100.

39. Дивинская Б. Ш., Иванова Т. В. Особенности совместного использования данных метеорологических радиолокаторов (МРЛ) и гидрометеорологических станций (ГМС).— Труды ГГО, 1977, вып. 395, с. 100—105.

40. Иванова Т. В., Степаненко В. Д. Анализ изменчивости радиолокационных характеристик при трансформации облачного поля.— Труды ГГО, 1979, вып. 430, с. 68—72.

41. Игнатова Р. В., Петрушевский В. А. Эффективность и обеспеченность радиолокационных обнаружений облаков, не дающих осадков.— Труды ГГО, 1964, вып. 173, с. 3—9.

42. Кобзистый П. И., Мучник В. М. Некоторые характеристики грозовой деятельности.— Труды УкрНИГМИ, 1970, вып. 86, с. 132—136.

43. Код для сообщения данных метеорологических наблюдений, проводимых с помощью наземных радиолокаторов (РАДОВ).— Л.: Гидрометеоиздат, 1973.— 53 с.

44. Иванов А. А. О методе индикации неоднородности поля ветра в облаках и осадках с помощью некогерентных радиолокационных станций.— Труды ЦАО, 1977, вып. 126, с. 37—47.

45. О составе, точности и пространственно-временном разрешении информации, необходимой для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и службы гидрометеорологических прогнозов.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975,— 219 с.

46. Петрушевский В. А. Принципы автоматизированной обработки и цифрового представления метеоданных.— Труды ГГО, 1974, вып. 327, с. 3—17.

47. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2 /Под ред. Г. Б. Брылева и Е. М. Сальмана.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974.— 334 с.

48. Сальман Е. М. Влияние неоднородности распределения отражаемости на точность ее измерения.— Труды ГГО, 1973, вып. 281, с. 14—19.

49. Сальман Е. М., Дивинская Б. Ш. Вопросы метеорологической эффективности системы наблюдений за облачностью и опасными явлениями.— Труды ГГО, 1971, вып. 261, с. 92—108.

50. Сальман Е. М., Дивинская Б. Ш. Вероятность радиолокационных обнаружений осадков.— Труды ГГО, 1964, вып. 159, с. 40—48.

51. Сальман Е. М., Дивинская Б. Ш. Оптимальная форма и частота представления радиолокационных данных об облаках и связанных с ними явлениях.— Труды ГГО, 1973, вып. 281, с. 65—74.

52. Сальман Е. М., Гашина С. Б., Линев А. Г. Некоторые вопросы автоматизированного получения и анализа радиолокационной информации.— Метеорология и гидрология, 1976, № 7, с. 113—117.

53. Сальман Е. М. и др. Численный эксперимент по распознаванию грозовых Cb /Е. М. Сальман, С. Б. Гашина, А. Г. Линев, Н. Д. Попова.— Труды ГГО, 1974, вып. 327, с. 32—39.

54. Степаненко В. Д. Радиолокация и метеорология.— Л.: Гидрометеоиздат, 1973.— 343 с.

55. Степаненко В. Д. Об эффективности получения и использования радиолокационной метеорологической информации.— Труды ГГО, 1976, вып. 383, с. 26—34.

56. Степаненко В. Д. Некоторые геометрические характеристики облаков и осадков по радиолокационным наблюдениям.— Труды ГГО, 1968, вып. 222, с. 132—134.

57. Федоров Ю. К. К вопросам комплексной обработки данных об облачности и атмосферных явлениях.— Труды ГГО, 1976, вып. 383, с. 79—84.

58. Черников А. А. Радиолокационные методы наблюдений и их перспективы.— Труды ЦАО, 1976, вып. 117, с. 60—73.

59. Шметер С. М. Структуры полей метеорологических элементов в зоне кучево-дождевых облаков.— Труды ЦАО, 1969, вып. 88.

СОДЕРЖАНИЕ

Н. П. Русин. Подсистемы наземных метеорологических (геофизических) наблюдений 3

Н. П. Русин. Методические требования, определяющие оптимальные условия получения информации с сети наземных метеорологических станций 12

Д. П. Беспалов, Л. Ф. Школяр. Методы оценки погрешностей определения характеристик влажности воздуха 32

Л. Л. Брагинская. О точности измерения характеристик влажности воздуха 38

Б. И. Протопопова. Обоснование требований к измерению приземного ветра 46

Л. Р. Струзер. Основные недостатки существующей системы получения первичной информации об атмосферных осадках и рациональные изменения методики наблюдений за ними 52

Л. С. Мордовина. Наблюдения за атмосферными явлениями 65

С. А. Смирнов. Обоснование методических требований по наблюдениям за гололедно-изморозевыми явлениями 70

И. А. Дюбкин. Требования к созданию морской метеорологической подсистемы 75

Е. П. Барашкова. Обоснование РММ на построение подсистемы наземных актинометрических наблюдений 91

Е. Л. Махоткина. Прямые измерения в области фотосинтетически активной радиации 101

Н. А. Касьян, Г. П. Соколова. Методические требования к подсистеме теплобалансовых наблюдений 106

Я. М. Шварц, Л. В. Огуряева. Основы построения сети наблюдений за электрическими свойствами атмосферы 118

Г. Б. Брылев, В. Д. Степаненко, Г. Г. Щукин. Подсистема метеорологических радиолокационных наблюдений 129