

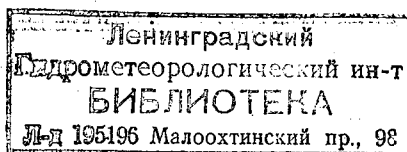
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

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

Выпуск
388

МОРСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук И. А. ДЮБКИНА
канд. физ.-мат. наук Р. Г. ТИМАНОВСКОЙ



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ ЛЕНИНГРАД 1977

Рассматриваются вопросы, связанные с созданием автоматизированной информационно-поисковой управляющей системы (АВИПУС) на НИС и НИСП ГУГМС: принципы ее построения, организации вычислительного процесса в ней, методики оценки эффективности.

Представлены работы, освещающие опыт эксплуатации морской автоматической станции на НИС и НИСП, а также вопросы, связанные с методикой измерения скорости ветра, горизонтальной прозрачности атмосферы в море и облачности.

Часть работ посвящена анализу взаимосвязи составляющих коротковолнового радиационного баланса с различными гидрометеорологическими параметрами в условиях океана и проблеме валидации.

Сборник предназначен для работников Гидрометслужбы и отчасти других ведомств, связанных со сбором, обработкой и анализом гидрометеорологической информации.

There are discussed problems related to the development of automatic information-retrieval controlling system on board research ships and weather research ships of the Hydrometeorological Service: principles of its construction, organization of computing process in it, procedures for estimating the efficiency.

There are presented articles covering the experience of operating the marine automatic station on board research ships and weather research ships, as well as the problems related to the procedures for measuring wind speed, horizontal atmospheric transparency on the sea, and cloudiness.

Part of the articles is dedicated to analyzing the interrelationships between the components of short-wave radiation balance and different hydrometeorological parameters under ocean conditions, and to the problem of validation.

The publication is intended for workers of the Hydrometeorological Service and other departures dealing with collection, handling, and analysis of hydrometeorological information.

И. А. Дюбкин, О. С. Зудин

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА НА НИС И НИСП ГУГМС

Состояние окружающей среды, механизм взаимодействия атмосферы и океана не могут быть изучены без соответствующей информации о происходящих в них процессах. Поставщиками такой информации являются научно-исследовательские суда (НИС), научно-исследовательские суда погоды (НИСП), а также буйковые станции, принадлежащие различным ведомствам (ГУГМС, АН СССР, АН УССР и др.).

Среди этих ведомств научно-исследовательский флот ГУГМС является наиболее многочисленным, имеющим суда различного тоннажа: от катеров до мощных океанических лайнеров водоизмещением до 7000 т, при этом крупных судов водоизмещением свыше 3000 т около двух десятков.

Соответственно круг задач, которые решаются на отдельных судах этого флота, существенно шире круга задач судов других ведомств. Основной задачей флота ГУГМС является комплексное исследование атмосферы и океана и механизма их взаимодействия в четырехмерном пространстве в широком диапазоне частот наблюдаемых явлений с целью повышения качества всех видов гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и в первую очередь для совершенствования методов долгосрочных прогнозов погоды.

Сложные и многообразные научные и прикладные задачи, стоящие перед флотом ГУГМС, невозможно успешно решить, если отдельные суда, а впоследствии весь флот ГУГМС не будет иметь совместимые снизу доверху технические и программные средства, объединенные в единую автоматизированную гидрометеорологическую систему.

Первая попытка организации работ в указанном направлении была сделана при создании проекта СИГМА-с [1, 2]. Основные задачи, поставленные в этих публикациях, актуальны и в настоящее время, поэтому в данной и последующих работах этого сборника они находят дальнейшее развитие. Таким образом, для

повышения эффективности научно-исследовательской деятельности флота ГУГМС необходимо создать иерархическую автоматизированную вычислительную информационно-поисковую управляющую систему (АВИПУС).

Необходимо отметить, что предпринималось много попыток по созданию автоматизированных судовых систем, но все они выполнены в единственном экземпляре для отдельных судов либо под отдельные научные задачи и практически морально устарели [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

В связи с этим в настоящей работе делается попытка описания основных понятий АВИПУС, а также изложения некоторых принципов ее построения с учетом будущего флота ГУГМС — оснащения его современными измерительными комплексами и вычислительной техникой.

1. Определение структуры АВИПУС

Представляется, что при создании АВИПУС нельзя ограничиваться только автоматизацией отдельных процессов измерений и обработки научной информации. В связи с постоянным ростом внимания человечества к проблеме изучения океана, разрабатываемая система должна позволять наращивать круг решаемых ею задач по мере их возникновения.

На рис. 1 представлена общая принципиальная схема построения и взаимосвязи между отдельными звеньями АВИПУС. Из рисунка следует, что АВИПУС должна объединять научно-исследовательскую работу не только одного судна, но и различных внешних абонентов. При этом в зависимости от научных целей и масштаба эксперимента значение отдельных звеньев АВИПУС будет меняться.

Раскроем понятие АВИПУС на примере индивидуального НИС или НИСП и группы наблюдательских платформ в период проведения глобальных экспериментов.

1.1. Суда ГУГМС в зависимости от водоизмещения делятся на три ранга: III ранг — до 1000 т, II ранг — от 1000 до 5000 т и I ранг — свыше 5000 т.

Рассмотрим определение и состав АВИПУС применительно к судам I и II ранга. Суда I и II ранга по своим задачам и возможностям являются крупными научно-исследовательскими подразделениями, так как в настоящее время оснащаются автоматическими измерительными комплексами и современными ЭВМ [1, 2, 6].

На этих судах АВИПУС должна объединить работу измерительных комплексов всех подразделений (отрядов) на базе ЭВМ или комплекса ЭВМ. Учитывая, что круг вопросов, решаемых разными подразделениями этих судов, разный в отношении оперативности выдачи информации и ее дальнейшего использования, АВИПУС на этих судах должна быть многоплановой и иерархической.

Как следует из рис. 1, основными модулями АВИПУС на НИС и НИСП могут быть: узел связи (УС) устройство сопряжения ли-

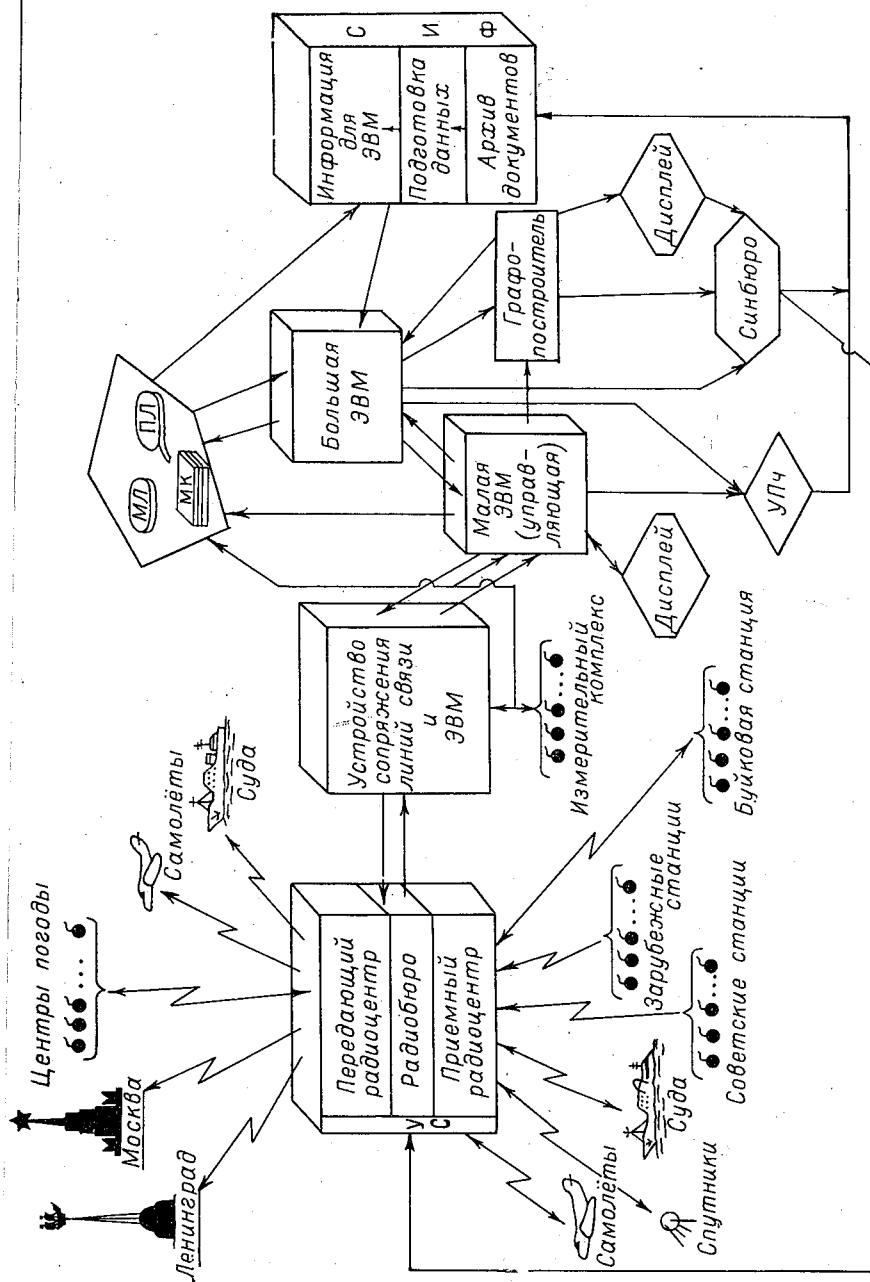


Рис. 1. Состав и общая схема связи между отдельными звеньями АВИПУС.

ний связи и ЭВМ, измерительный комплекс (ИК), малая ЭВМ, которая может быть и управляющей, большая ЭВМ, справочно-информационный фонд (СИФ), а также внешние накопители информации — магнитная лента (МЛ) или магнитные диски (МД), магнитные карты (МК) и перфолента (ПЛ). В качестве устройства вывода информации целесообразно иметь дисплей, графопостроитель (ГП), устройства печати (УПч).

Кроме модулей, расположенных непосредственно на НИС и НИСП, АВИПУС должна объединять сеть буйковых станций, расположенных в радиусе нескольких сот морских миль от судна, которое собирает информацию этих станций. Очевидно, в эту же систему могут включаться и модули, обеспечивающие связь НИС (НИСП) с другими внешними абонентами: самолетами и береговым координационно-вычислительным центром (БКВЦ).

При этом в рассматриваемой системе должны отрабатываться не только прямые, но и обратные связи, наличие которых повысит оперативность обмена научной информацией как внутри НИС (НИСП), так и с внешними абонентами.

Рассмотрим движение информации в предлагаемой системе как внутри данного НИС, так и от внешних по отношению к нему абонентов.

В первом случае движение информации от ИК может осуществляться в двух режимах:

- в режиме прямой связи автоматизированных измерительных комплексов (АИК) через устройство сопряжения с ЭВМ (в будущем должна быть и обратная связь);

- в режиме, когда АИК непосредственно не связаны с ЭВМ, а заносят информацию на некоторый технический носитель информации (МЛ, МД, МК, ПЛ); в этом случае связь АИК и ЭВМ осуществляется через указанные носители информации, обратная связь ЭВМ и АИК может осуществляться лишь через специалиста.

Наконец, в случае отсутствия АИК должна быть предусмотрена возможность приема информации, занесенной человеком на один из указанных накопителей информации по соответствующим макетам.

Представляется, что на судах I и II ранга непосредственная связь АИК с ЭВМ обязательна, так как в противном случае об оперативных функциях системы в целом не может быть и речи.

Более того, на НИС и НИСП в научных лабораториях необходимо устанавливать терминалы к ЭВМ, например телетайпы или электронные клавишные вычислительные машины (ЭКВМ) «Искра-125», посредством которых наблюдатель сможет общаться с ЭВМ. Для создания действительно автоматизированной системы такое общение необходимо, хотя бы для ввода в ЭВМ значений параметров, наблюдаемых визуально, и ввода медленных процессов в режиме пакетной связи и обработки.

После поступления информации в ЭВМ ее дальнейшее движение внутри системы по заранее заданной программе в зависимости от вида информации (ее оперативного значения, уровня необходи-

мой обработки и т. д.) должна обеспечивать соответствующая управляющая система программного обеспечения. Эта система осуществит приоритетный прием и обработку информации. При этом оперативной информации, предназначенной для прогностических центров, и задачам управления экспериментом должен присваиваться высший приоритет. Научные задачи будут решаться как фоновые. Таким образом, управляющая программа будет объединять все пакеты программ пользователей системы в единое целое [10, 11]. Дисплей служит как для вывода информации, так и для ее контроля и корректировки специалистом [2], и в будущем — для управления АИК.

Малая ЭВМ здесь должна практически выполнять функции, которые возлагались на КИОСК и СИГМА-с [1]. Основное ее назначение — освободить большую ЭВМ от различных вспомогательных операций. Например, ввода, вывода информации и т. д.

Информация, прошедшая первичную обработку и контроль, накапливается в СИФ в виде, как пригодном для передачи в архив, так и удобным для научного анализа на НИС и НИСП, а также в БКВЦ.

Передача информации на НИС (НИСП) от внешних абонентов также может осуществляться в двух вариантах: в виде необработанных сигналов измерений или уже обработанной информации до определенного уровня [12, 13, 14, 15, 16].

Предполагается, что первый вариант передачи информации целесообразно осуществлять при сборе информации с буйковых станций (БС) и самолетов. Такой подход к сбору информации позволит снизить сложность и стоимость ИК на буйковых станциях и самолетах, так как все математические и логические операции будут выполняться ЭВМ.

Согласно сказанному, программное обеспечение АВИПУС на НИС и НИСП должно иметь сложную управляющую систему и большой набор пакетов программ первичной обработки, контроля данных и первичного научного анализа [10, 11, 16, 17, 18].

Таким образом, рассматриваемая система должна работать как в режиме реального времени, так и в режиме разделения времени.

1.2. В настоящее время наметилась тенденция изучения процессов взаимодействия атмосферы и океана путем проведения глобальных экспериментов, в которых используются разнообразные платформы наблюдений различных стран (суда, буйковые и наземные станции, самолеты, спутники). Примером являются тропические эксперименты в 1972 и 1974 гг., а также планируемый эксперимент по ПИГАП.

Представляется, что для успешного решения всех задач, которые ставятся перед таким экспериментом, измерительные комплексы, предназначенные для измерения определенных характеристик состояния атмосферы и океана (метеорологические, радиационные, аэрологические и т. д.), должны работать как единый групповой прибор. Представляется также, что в этом случае АВИПУС может объединить работу всех измерительных комплексов разных плат-

форм наблюдений в единую систему, что существенно повысит оперативность сбора, обработки и научного анализа результатов измерений в период полевой фазы эксперимента. В этом случае структура АВИПУС может быть разбита на четыре взаимосвязанных уровня (рис. 2). На самом нижнем уровне системы располагаются различные платформы наблюдений, как правило, не оборудованные ЭВМ. Эта сеть платформ наблюдений разбивается на группы, каждая из которых возглавляется судном, оборудованным всеми

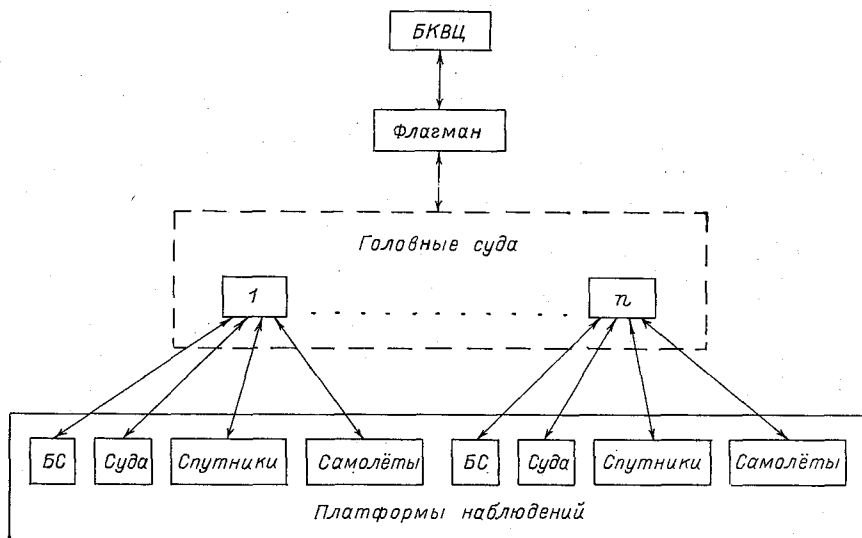


Рис. 2. Иерархическая структура АВИПУС на примере глобального эксперимента.

элементами АВИПУС, о которых сказано выше. Эти головные суда представляют собой следующий уровень в иерархии. На этом уровне осуществляется сбор необработанной (сырой) информации непосредственно с платформ наблюдений, где нет ЭВМ, первичная ее обработка и контроль, а затем передача результатов обработки в центр управления полевой фазой эксперимента, который располагается на флагмане находящемся на следующем, более высоком уровне иерархии системы. Следовательно, флагман осуществляет сбор информации с головных судов, выполняет научный анализ информации и управляет экспериментом через соответствующие головные суда.

На самом высоком уровне находится БКВЦ, который получает результаты экспресс-анализа данных наблюдений и координирует программу эксперимента.

Из сказанного следует, что практически на всех трех верхних уровнях основные функции АВИПУС дублируются. Отличительной чертой каждого из этих уровней является усиление роли определенного модуля АВИПУС. Например, на головных судах основной функцией АВИПУС будет сбор, первичная обработка, контроль передачи информации на флагман. На флагмане же, кроме сбора информации, будут преобладать научный анализ информации и управление экспериментом.

Рассмотрим круг основных задач, решаемых АВИПУС.

2. Задачи, решаемые АВИПУС

Обобщая сказанное выше и опыт работ по автоматизации процессов сбора и обработки научной информации как в системе УГМС, так и в АН СССР, можно сформулировать следующие основные задачи, которые должна решать АВИПУС:

- измерение параметров изучаемой среды как с борта судна, так и с автономных плавсредств;
- занесение результатов измерений на некоторый технический носитель в виде, удобном для непосредственного ввода в ЭВМ, а также непосредственный ввод результатов измерений в ЭВМ;
- первичная обработка и контроль результатов обязательных наблюдений;
- сбор и обработка данных буйковых станций;
- первичная обработка и научный анализ данных специальных экспериментов;
- повышение оперативности гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства;
- повышение объективности и точности получаемой научной информации;
- расширение круга задач, решаемых на НИС и НИСП;
- подготовка массивов судовых и буйковых данных для дальнейшего анализа в береговых вычислительных центрах;
- облегчение труда специалистов научных отрядов;
- управление экспериментом;
- методическое и метрологическое обеспечение глобальных экспериментов.

Естественно, что при создании и увязке всех выше перечисленных звеньев системы в единое целое возникает множество проблем, без решения которых трудно создать АВИПУС. Кратко рассмотрим эти проблемы.

3. Проблемы, возникающие при создании АВИПУС

Прежде всего возникает проблема, связанная с разработкой методических основ автоматизации процесса измерений, обработки и усвоения асинхронной информации, т. е. информации, получаемой на разных наблюдательных платформах в различное время и в различных точках пространства.

Не менее важной проблемой является подготовка (специальная техническая и психологическая) кадров для обслуживания разных звеньев такой системы.

Учитывая тот факт, что датчики для измерения гидрометеорологических параметров в морском исполнении в настоящее время практически отсутствуют, при создании АВИПУС, очевидно, нужно решать проблему, связанную с разработкой таких датчиков.

Необходимо, кроме того, решить вопросы, связанные с математическим (программным) обеспечением АВИПУС, а также с разработкой системного подхода ко всей проблеме в целом. Нельзя не упомянуть проблему координации работ, связанных с созданием АВИПУС, выполняемых отдельными специалистами и ведомствами.

Очевидно, нет необходимости аргументировать каждую из указанных проблем. Однако кратко остановимся на вопросах методического руководства, программного обеспечения и системного подхода к созданию данной системы, так как представляется что от решения именно этих вопросов зависит успех в целом.

Отсутствие единого методического руководства работами, связанными с автоматизацией гидрометеорологических наблюдений привело к тому, что созданные в настоящее время автоматические станции практически «морально» устарели. Последнее обусловлено тем, что при их создании разработчики опирались на положения и требования устаревших наставлений и руководств и на датчики используемые для измерений на суше. Вопрос об автоматизации процесса обработки решался таким образом, что обработка информации начиналась с ввода в ЭВМ уже обработанных вручную специалистом результатов измерений, при этом ЭВМ выполняла функции раскодировки оперативных синоптических и аэрологических телеграмм и распечатывала таблицы установленных форм [19, 20, 21]. Очевидно, действительная автоматизация процесса обработки должна начинаться с ввода в ЭВМ «сырых», необработанных результатов измерений, а сами оперативные телеграммы должны выдаваться ЭВМ [12, 13, 14, 18]. Более того, часто на ЭВМ переводятся менее трудоемкие для специалиста, но более сложные для ЭВМ (из-за отсутствия надежных алгоритмов) операции; ЭВМ выполняет элементы критического анализа, а первичная обработка результатов измерений осуществляется вручную [20, 21, 22, 23]. Необходимо заметить, что соотношение времени затрачиваемого на выполнение специалистом критического анализа, и времени первичной обработки аэрологической и актинометрической информации в среднем равно $1/20$, т. е. на контроль тратится час, а на первичную обработку 20 ч [24]. Очевидно, при таком соотношении затрат ручного труда целесообразно поступать на первых этапах автоматизации наборот, так как критический анализ — сложная научная проблема, требующая прежде всего детального знания анализируемого процесса, без которого на должном уровне проблему критического анализа на ЭВМ решить трудно, особенно для условий моря из-за отсутствия надежной режимной информации.

Поэтому представляется, что на первых этапах автоматизации целесообразно исключать человека из процесса контроля информации.

Необходимо отметить, что до настоящего времени проблеме математического обеспечения автоматизированных систем на НИС и НИСП ГУГМС практически не уделялось должного внимания: имеются отдельные алгоритмы и программы, с помощью которых решаются задачи различных уровней обработки информации [6, 13, 14, 16, 22, 25], в основном создававшиеся без разработчиков АИК и в отрыве от методических центров. В результате многие арифметические и логические операции (при наличии на борту ЭВМ) возлагаются на АИК, что существенно повышает их сложность и стоимость. Отсутствие единой системы математического обеспечения, во-первых, не позволяет, осуществлять оперативно комплексный анализ данных эксперимента, а во-вторых, ставит под сомнение возможность сравнения результатов обработки информации, получаемой на различных НИС и НИСП.

Еще раз отметим, что только на базе современной ЭВМ (в настоящее время типа ЕС) и соответствующего математического обеспечения представляется возможным все технические средства объединить в единую автоматизированную систему. Необходимость комплексного, системного подхода при разработке АВИПУС вытекает из широкого круга перечисленных выше задач и проблем, которые необходимо решить.

4. Основные принципы построения АВИПУС

Согласно вышесказанному можно сформулировать общие принципы построения АВИПУС, которые должны быть заложены при проектировании и создании этой системы на НИС и НИСП.

4.1. В связи со сложностью проблемы ее необходимо решать системно. Под системным подходом здесь понимается не только проектирование отдельных звеньев методами системотехники [26], но и решение проблемы в целом. Это значит, что необходимо разработать новую методику измерений и новые датчики, соответствующие требованиям эксплуатации в условиях моря и открытого океана в широком диапазоне погодных условий, разработать оптимальные алгоритмы обработки, контроля, хранения и распространения научной информации и т. д. Наряду с этим необходимо одновременно предусмотреть перестройку процесса обучения в гидрометеорологических учебных заведениях с целью подготовки специалистов нужного профиля.

4.2. Данная система должна создаваться поэтапно. По-видимому целесообразно выделить три основных этапа.

На первом этапе должны разрабатываться:

— модель будущей системы с целью оценки надежности эффективности работы отдельных ее звеньев;

— оптимальная система человек — ЭВМ, моделирующая будущие автоматические системы и дающая уже в настоящее время эффект в плане сокращения ручного труда в процессе получения и обработки научной информации и позволяющая отрабатывать методику и алгоритмы получения, первичной обработки, контроля, хранения и распространения информации применительно к условиям полной автоматизации;

— технические задания на создание датчиков и самой системы в целом;

— новые учебные программы подготовки специалистов гидрометеорологов с учетом того, что в ближайшие 5—10 лет на сети станций будут работать сложные автоматические измерительные комплексы, которые будут выдавать информацию о состоянии атмосферы, отличную от получаемой в настоящее время на морской сети станций;

— новые методы изучения океана и атмосферы с учетом научного и технического прогресса в целом для получения репрезентативных данных с движущихся объектов.

Следовательно, уже на первом этапе работа должна вестись одновременно во всех направлениях, а не по отдельным, как это делается до сих пор. Такая работа должна строго координироваться, для того чтобы выход данных от одного разработчика являлся началом работ для другого и т. д.

На втором этапе в основном должны работать полуавтоматические системы и обрабатываться звенья автоматических систем, а также внедряться результаты работы, проведенной на первом этапе. На третьем этапе должны осуществляться замена полуавтоматических систем на автоматические и дальнейшее совершенствование последних.

4.3. Разрабатываемая для НИС и НИСП система АВИПУС должна быть иерархической и в свою очередь находиться на определенном уровне иерархии общей автоматизированной системы ГУГМС, т. е. она должна входить в единую систему Гидрометслужбы как автономная подсистема. Кроме того, АВИПУС на НИС и НИСП должна являться подсистемой соответствующих центров сбора и переработки данных ГМЦ, ВНИИГМИ-МЦД, ГГО, ГОИН и ЦАО.

4.4. Технические средства и программное обеспечение системы должны создаваться по принципу модульности. В этом случае появляется возможность оснащать корабли различных рангов практически по единому плану, т. е. распределение функций переработки и анализа данных между судами III, II и I ранга и береговыми вычислительными центрами (БВЦ) будет различными [27]. Кроме того, модульный подход позволит постепенно наращивать степень автоматизации без переделки предшествующих звеньев системы.

4.5. Координацию работы по созданию системы должно осуществлять методическое учреждение ГУГМС, укомплектованное специалистами, способными охватить проблему в целом и знакомы-

и со смежными дисциплинами. Чисто технические или математические подразделения не могут осуществлять такую координацию. Такое требование объясняется тем, что для создания автоматизированных систем, подобных АВИПУС, недостаточно обладать знаниями, «как сделать» технически или математически данную систему, но необходимо досконально представлять проблему в целом, т. е. необходимо знать, «что делать». А для этого нужно иметь четкое представление, для чего предназначается такая система и что должно решаться в первую очередь при видоизменении процессов получения и обработки информации, а также требований к датчикам и измерительным комплексам.

4.6. Методисты, математики (программисты) и инженеры должны работать в тесном контакте. Только в этом случае представится возможность оптимально распределить функции по переработке информации между автоматическими измерительными комплексами, ЭВМ и специалистами научных отрядов НИС и НИСП.

В заключение необходимо отметить, что, как уже указывалось, в настоящее время отдельные звенья описанной системы на уровне первого поколения реализованы. Это прежде всего отдельные элементы СИГМА-с: зонд-батометр, автоматическая станция, а также пакеты программ первичной обработки и управляющая программа [10, 12, 13, 14, 18]. Кроме того, имеется богатый опыт по созданию целенаправленных автоматизированных систем на НИС «Михаил Ломоносов» и «Академик Вернадский» АН УССР [3, 4, 5, 6]. Таким образом, основа для создания системы, подобной АВИПУС, имеется, необходимо лишь соответствующим образом объединить усилия различных исполнителей.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Для обеспечения более эффективной работы научно-исследовательского флота ГУГМС должна быть создана АВИПУС. Эта система должна объединить как отдельные суда и другие наблюдательные платформы, так и группы таких платформ при проведении глобальных экспериментов в единое целое, функционирующее как единая автоматизированная система, обеспечивающая сбор и различного уровня обработку научной информации.

2. АВИПУС, которая должна являться подсистемой общей системы ГУГМС, должна создаваться поэтапно.

3. Основой такой системы должна быть одна или комплекс ЭВМ с соответствующим программным обеспечением.

4. Операционная система АВИПУС должна состоять из пакетов программ пользователей и управляющей программы, обеспечивающей приоритетный прием и обработку информации.

5. Все работы по созданию АВИПУС должны координироваться методическим учреждением ГУГМС.

1. Борисенков Е. П., Федоров О. М. Автоматизированная система сбора и обработки научной информации для научно-исследовательских судов.— «Тр. ААНИИ», 1972, т. 301, с. 5—18.
2. Дюбкин И. А. О математическом обеспечении СИГМА-с.— «Тр. ААНИИ» 1972, т. 301, с. 19—30.
3. Автоматизация научных исследований морей и океанов. Ч. 2.— «Экспресс-информация», 1968, № 11, Севастополь. 360 с.
4. Автоматизация научных исследований морей и океанов. Ч. 1.— «Экспресс-информация», 1969, № 14, Севастополь. 380 с.
5. Автоматизация научных исследований морей и океанов. Ч. 1 и 2.— «Экспресс-информация», 1972, № 10, Севастополь. 372 с.
6. Беляев В. И. Обработка и теоретический анализ океанографических наблюдений.— Киев, «Наукова думка», 1973. 295 с.
7. Devillas E. Automatic processing of state of sea by DSA-5 model. Meteorol. Sooveses to Mear and Coast Activifies, Proceedings of the Regional Training Seminar Roma, 1974, p. 310—320, ill 10.
8. Barton G., Saxton D. The role of interactive computer systems in data processing at Cedda. EDS, May, 1975 p. 10—14.
9. Holcomber T. I., Freitag J. S., Pew J. A. Instrumentation and ADP equipment for future multidiscipline oceanographic ships.—Amer. Congress on Surveying and Mapping 1971, March 7—12.
10. Дюбкин И. А., Марченко Л. Г. Алгоритмы управления вычислительными процессами в автоматизированной гидрометеорологической системе на НИС и НИСП. См. наст. сборник, с. 25—32.
11. Дюбкин И. А., Марченко Л. Г. Иерархическая структура вычислительного процесса в автоматизированной вычислительной информационно-поисковой управляющей системе (АВИПУС) на НИС и НИСП. См. наст. сборник, с. 16—24.
12. Васильев В. Ф. и др. Полуавтоматическая обработка данных температурно-ветрового зондирования. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 4, ч. 3 б. Л., Гидрометеоздат, 1974, с. 75—85.
13. Дюбкин И. А., Ключкин Л. И., Романцов В. А. Система автоматизированной обработки глубоководной информации.— «Тр. ААНИИ», 1972, т. 301, с. 43—58.
14. Дюбкин И. А., Веремеенко М. В., Самушкин В. А. Модель автоматизированной системы получения и обработки актинометрической информации и эффективность ее практического применения.— В кн.: Автоматическая проверка и исправление данных гидрометеорологических наблюдений. М., Гидрометеоздат, 1975, с. 123—129.
15. 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 ГУГМС. См. наст. сборник, с. 73—81.
16. Рожков В. А., Трапезников Ю. А. Методические рекомендации, алгоритмы и программы расчета вероятностных характеристик ветрового волнения на ЭВМ. Л., Гидрометеоздат, 1969. 397 с.
17. Поляк И. И., Шахмейстер В. А. Программа аппроксимации функций нескольких переменных алгебраическими многочленами по способу наименьших квадратов.— «Тр. ГГО», 1971, вып. 289, с. 29—32.
18. Трифонов Г. П. Алгоритмы и программы централизованной обработки данных систем зондирования атмосферы «РКЗ — Метеор». М., Гидрометеоздат, 1973. 76 с.
19. Временные методические указания по машинной обработке и контролю данных гидрометеорологических наблюдений. Вып. 9, ч. 2. Обнинск, Гидрометеоздат, 1973. 26 с.
20. Мерцалова О. Б. и др. Технологическая схема механизированной обработки радиозондовых наблюдений.— «Тр. НИИАК», 1970, вып. 62, с. 3—33.
21. Бирман Б. А., Каганский А. С. Некоторые принципы объективного

контроля морской метеорологической информации.— «Экспресс-информация», 1971, вып. 6(11), Обнинск, с. 75—78.

22. Бужова С. И. Алгоритмы вычисления числовых характеристик статистического распределения случайной величины. М., изд. ЦЭМИ АН СССР, 1968. 6 с.

23. Ханевская М. В. Автоматизация контроля режимной обработки ежедневных радиозондовых данных температуры и геопотенциала.— «Экспресс-информация», 1971, вып. 6(11). Обнинск, с. 47—63.

24. Дюбкин И. А. Методика оценки эффективности автоматизированных методов получения и первичной обработки гидрометеорологической информации. М. наст. сборник, с. 61—72.

25. Essenwanger O. M. Analytical procedures for the quality control of meteorological data.— „Meteorol. Monographs”, 1970, vol. 1, N 33.

26. Месарович М., Мако Д., Такахага И. Теория иерархических многоуровневых систем. М., «Мир», 1973. 344 с.

27. Дюбкин И. А., Лодкин И. И. К вопросу организации берегового координационно-вычислительного центра.— «Тр. ААНИИ», 1972, т. 301, с. 31—42.

И. А. Дюбкин, Л. Г. Марченко

**ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА
В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ
УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ (АВИПУС)
НА НИС И НИСП**

Проблеме автоматизации процесса обработки гидрометеорологической информации посвящены исследования различных авторов [1—8]. Однако в настоящее время практически существуют только программы пользователей, предназначенные для решения индивидуальных задач обработки данных, и разрабатываются отдельные измерительные комплексы, часто выполняющие функции, которые можно возложить на ЭВМ, что в значительной степени упростит их конструкции [9—14].

В настоящее время научно-исследовательский флот ГУГМС (НИС и НИСП) оснащается современной измерительной и вычислительной техникой, которую необходимо эффективно использовать, для чего в первую очередь потребуется создание единой технологической схемы процесса обработки всей гидрометеорологической информации, получаемой на судах I и II ранга. Необходимость разработки такой схемы связана также с проблемой создания автоматизированной вычислительной информационно-поисковой управляющей системы (АВИПУС) на НИС и НИСП, которая позволит оперативно осуществлять комплексный анализ информации и значительно повысить эффективность использования судовой ЭВМ, что невозможно сделать без упорядочения всего процесса вычислений в системе.

Автоматизация управления процессом вычислений в системе обработки данных, получаемых на НИС и НИСП, приобретает особое значение при проведении глобальных экспериментов, подобных ПИГАП.

Целью настоящей работы является систематизация всего вычислительного процесса в АВИПУС на научно-исследовательских

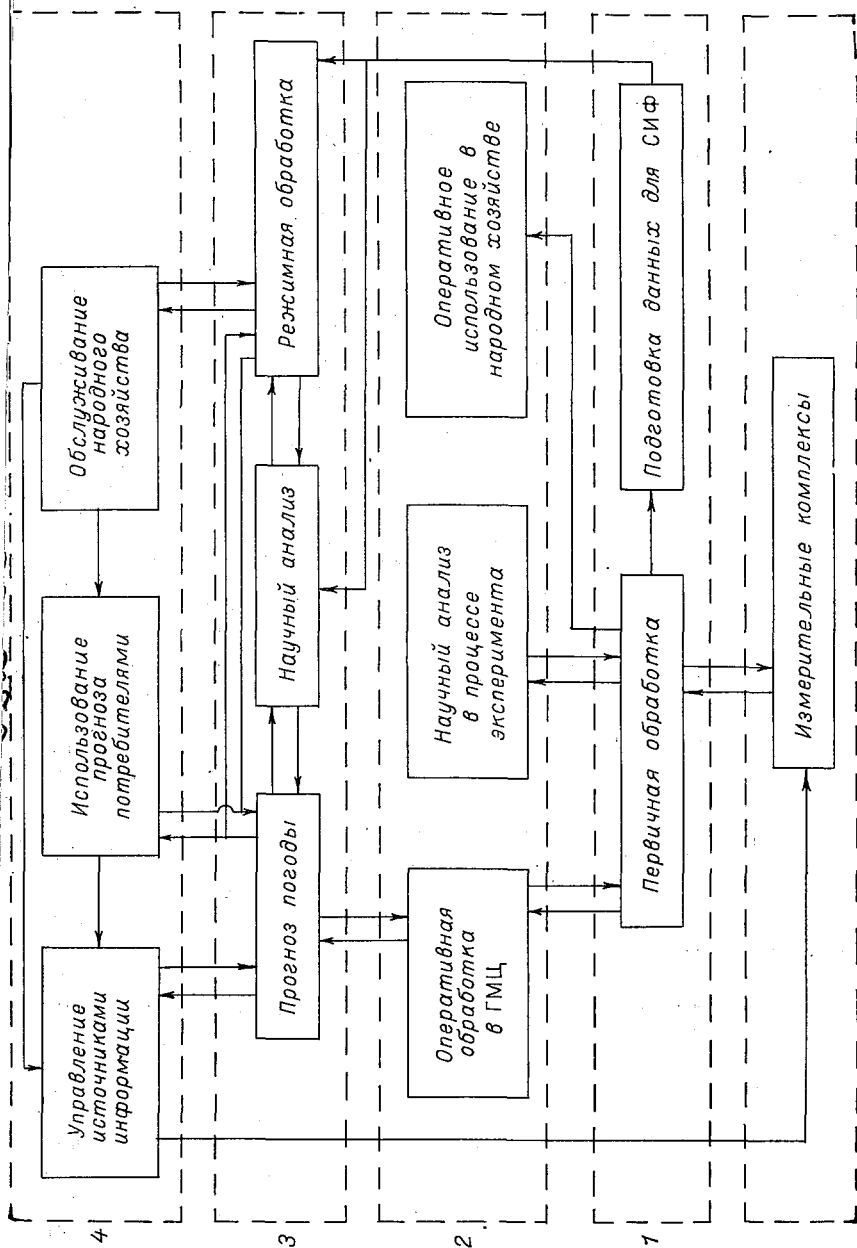


Рис. 1. Иерархия видов обработки (использования) гидрометеорологической информации.

судах ГУГМС начиная с получения информации от автоматических измерительных комплексов (АИК) и кончая выдачей ее потребителю. Такая систематизация позволит в дальнейшем при разработке программного и технического обеспечения АВИПУС правильно распределить функции между отдельными элементами системы.

Существующую в настоящее время общую иерархию основных видов обработки и использования гидрометеорологической информации вообще можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 1. Из рисунка следует, что на самом нижнем уровне осуществляется первичная обработка гидрометеорологической информации, получаемой от измерительных комплексов, и подготовка данных для справочно-информационного фонда (СИФ). На верхнем уровне происходит различного рода гидрометеорологическое обеспечение народного хозяйства, требования которого влияют как на нижележащие уровни обработки информации, так и на источники информации. Таким образом, все вышележащие уровни в иерархии обработки гидрометеорологической информации используют результаты нижнего уровня — первичной обработки данных измерений. Очевидно, что от качества информации, получаемой с этого уровня, зависит надежность как научных выводов, так и результатов задач, решаемых на остальных уровнях.

Автоматизированные вычислительные информационно-поисковые управляющие системы на научно-исследовательских судах ГУГМС в основном предназначены для автоматизации задач первого и частично второго уровня иерархии видов обработки, представленной на рис. 1. Кроме того, такие системы должны обеспечивать накопление материалов наблюдений в виде, удобном для дальнейшего использования в береговом координационно-вычислительном центре (БКВЦ), а также осуществлять обмен первичными результатами научного анализа гидрометеорологических данных с БКВЦ с целью управления экспериментом и координации исследований [3, 5, 15, 16].

Прежде чем рассмотреть структуру вычислительного процесса в АВИПУС, необходимо установить единую терминологию при определении основных видов обработки гидрометеорологических данных, отсутствие которой затрудняет решение основной проблемы — создание АВИПУС, а в некоторых случаях и мешает этому. Последнее обусловлено тем, что до сих пор в один и тот же термин обработки (первичной, оперативной или режимной) разные авторы вкладывают разное содержание. Так, одни исследователи под первичной обработкой понимают комплекс работ прогностических центров, связанный с сортировкой, раскодированием и контролем оперативных синоптических телеграмм. Иногда к этому комплексу относят и процесс получения значений анализируемого элемента в узлах регулярной сетки [17—19]. Понятно, что этот процесс по отношению к процессу прогнозирования является первичным. Однако он не может считаться таковым, поскольку при этом процессе используется уже обработанная информация (оперативные телеграммы), полученная с разных платформ наблюдений. Другие

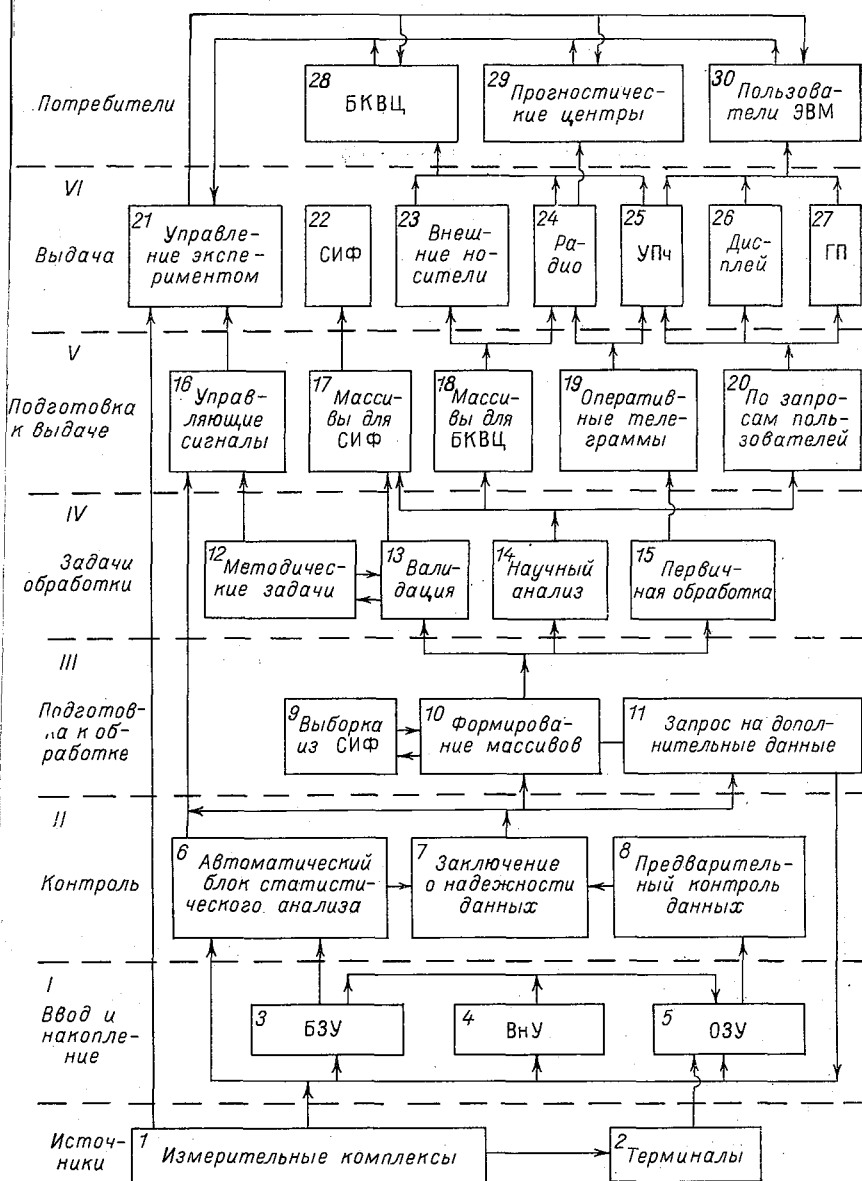


Рис. 2. Технологическая схема процесса обработки гидрометеорологической информации на НИС ГУГМС, оснащенных ЭВМ.

авторы под режимной обработкой понимают не комплекс операций связанный с анализом многолетних рядов наблюдений, а операции по переработке оперативных телеграмм, когда их данные не наносятся на карты погоды, а заносятся в соответствующие таблицы и т. д. [9—11].

По-видимому, представляется целесообразным узаконить термины для каждого из видов обработки, определения содержания которых введем на основании работ [7, 15].

Первичная обработка — различного рода преобразования непосредственных результатов измерений с целью получения значений гидрометеорологических элементов в соответствующих единицах измерений, отнесенных к определенным точкам четырехмерного пространства; составление оперативных телеграмм и установленных форм обобщения, а также первичный этап контроля качества информации.

Оперативная обработка — раскодирование и контроль оперативных телеграмм, объективный анализ.

Режимная обработка — различного рода физико-статистический анализ многолетних рядов наблюдений; климатологические обобщения.

В АВИПУС на НИС весь процесс обработки гидрометеорологической информации при движении ее от источника к потребителю можно представить в виде иерархической системы, состоящей из следующих уровней, указанных на рис. 2.

На каждом из перечисленных уровней иерархии должны выполняться различные задачи, реализованные в виде пакетов программ пользователей. В некоторых случаях эти программы могут быть объединены в соответствующие подсистемы (например, подсистемы первичной обработки метеорологической, актинометрической, аэрологической, океанологической информации и т. д.).

На I уровне технологической схемы (рис. 2) данные, получаемые по каналам связи от измерительных комплексов (ИК) (блок 1), или непосредственно вводятся в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) ЭВМ (блок 5), или предварительно накапливаются в буферном запоминающем устройстве (БЗУ) (блок 3). При отсутствии канала связи между ИК и ЭВМ информация накапливается на техническом носителе (блок 4). В последнем случае ввод осуществляется пользователями ЭВМ (наблюдателями, экспериментаторами) как с внешних устройств (ВнУ), находящихся в судовом вычислительном центре, так и с терминалов, установленных в лабораториях (блок 2), в качестве которых могут служить телетайпы [20, 21].

Введенные в ЭВМ данные на II уровне процесса обработки подвергаются предварительному контролю (блок 8), при котором выявляются синтаксические и грубые случайные ошибки. Предварительно делается перевод относительных величин в физические. При подсоединении измерительных комплексов к автоматическому блоку статистической обработки (блок 6) контроль данных и их научный анализ производятся в реальном масштабе времени. На

уровне контроля данных после предварительного заключения о их надежности (блок 7) процесс обработки разветвляется. В случае наличия в информации серьезных искажений формируются управляющие сигналы (блок 16), которые передаются в систему управления экспериментом (блок 21), связанную с системой функционального контроля измерительных комплексов.

Если информация надежна, то управление передается на следующий уровень, где происходит формирование массивов для дальнейшей обработки. При этом в случае необходимости делается выборка данных из СИФ (блок 9) или выдается запрос на I уровень вводе сопутствующих результатов измерений (блок 11), полученных от других АИК в тот же период времени, что и обрабатываемая в данный момент информация. По окончании формирования очередного массива составляется заявка на выполнение соответствующей задачи обработки, которая передается на следующий по порядку уровень в иерархии системы. Здесь она ставится в очередь и выполняется в соответствии с присвоенным ей приоритетом. После выполнения первичной обработки (блок 15) управление передается на блок подготовки к выдаче оперативных телеграмм. На этом же уровне решаются задачи более глубокого контроля (валидации) (блоки 12 и 13) и научного анализа информации (блок 14).

На V уровне подготавливается информация для выдачи потребителю в соответствии с установленными формами обобщения. Подготовленные телеграммы в строго определенные сроки передаются по эфиру в прогностические центры (блок 29). Провалидированные данные (прошедшие технический и критический контроль) упаковываются по соответствующим форматам (блок 17) и передаются в СИФ (блок 22). Параллельно в блоке 18 идет подготовка материалов наблюдений для передачи в БКВЦ (блок 28), куда данные могут быть переданы по эфиру (блок 24) или на техническом носителе по окончании рейса (блоки 23 и 25). Информация для исследователей, проводящих научные эксперименты (блок 30), формируется в блоке 20 описываемой схемы и выдается в цифровом и графическом виде на устройство печати УПч (блок 25), графопостроитель ГП (блок 27) и экран дисплея (блок 26).

Для планирования научного эксперимента и управления им в АВИПУС от потребителя по каналам обратной связи передается управляющая информация, которая принимается системой планирования и управления экспериментом (блок 21). Эта система выбирает режим работы измерительных комплексов в зависимости от интенсивности исследуемых процессов, планирует места установки буйковых станций, управляет движением корабля в интересном с научной точки зрения направлении и т. д.

Так как информация, получаемая на научно-исследовательских судах ГУГМС, имеет разную степень срочности обработки и доставки потребителю, в АВИПУС различным ее видам должны быть присвоены различные приоритеты. Приоритетный порядок обслуживания заявок на выполнение задач, решаемых в АВИПУС, должен

распространяться на каждый из рассмотренных уровней в иерархии процесса обработки.

Необходимо отметить, что успешная реализация рассмотренной схемы вычислительного процесса в АВИПУС на НИС и НИСП будет зависеть от согласования выходных сигналов автоматически измерительных комплексов (АИК) с требованиями блоков приема информации в ЭВМ. Кроме того, при проектировании АИК необходимо предусмотреть возможность приема этими комплексами управляющих сигналов с ЭВМ. Из сказанного следует, что создание АИК и программного обеспечения АВИПУС,— взаимосвязанный процесс, требующий тесного контакта инженеров и математиков. До сих пор они создаются не только в отрыве друг от друга, но и в отрыве от разработчиков методики наблюдений и обработки данных. Отсюда можно заключить, что разработчики автоматизированных систем на НИС и НИСП должны решать разнообразные задачи связанные не только с проблемой их технического оснащения (как это делалось до сих пор), но и с созданием математического и методического обеспечения этих систем.

Создание рассмотренной технологической схемы вычислительного процесса на НИС и НИСП позволит повысить оперативность использования результатов измерений, особенно при проведении глобальных экспериментов. Однако координированные усилия различных учреждений ГУГМС и других ведомств необходимы не только для создания измерительных комплексов, но и для создания программного обеспечения автоматизированных систем.

В настоящее время отдельные блоки рассмотренной схемы обработки информации, получаемой на НИС и НИСП, в первом варианте разработаны [8, 22—28]; имеются методы, алгоритмы и программы научного анализа [19, 29—31].

Таким образом, предпосылки для создания рассматриваемой системы программного обеспечения АВИПУС имеются.

На основании сказанного представляется возможным сделать следующие выводы.

1. Математическое обеспечение АВИПУС на НИС и НИСП, центральным звеном которого является управляющая программа,— многоплановая система, состоящая из функционально связанных между собой подсистем.

2. Сделана первая попытка систематизации всего вычислительного процесса на ЭВМ при обработке гидрометеорологической информации, получаемой на НИС и НИСП.

3. Программное обеспечение АВИПУС должно создаваться на единой методической основе, опережая создание автоматических измерительных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация научных исследований морей и океанов. Ч. 2.— «Экспресс-информация», 1968, № 11. Севастополь. 360 с.
2. Автоматизация научных исследований морей и океанов. Ч. 1.— «Экспресс-информация», 1969, № 14, Севастополь, 380 с.

3. Автоматизация научных исследований морей и океанов. Ч. 1 и 2.— «Экспресс-информация», 1972, № 10, Севастополь. 372 с.
4. Автоматизированная гидрометеорологическая система. Л., Гидрометеоиздат, 1970. 216 с.
5. Беляев В. И. Обработка и теоретический анализ океанографических наблюдений. Киев, «Наукова думка», 1973. 269 с.
6. Борисенков Е. П., Федоров О. М. Автоматизированная система сбора и обработки научной информации для научно-исследовательских судов.— «Тр. ААНИИ», 1972, т. 301, с. 5—18.
7. Дюбкин И. А. Автоматизация процессов получения и первичной обработки научной информации в экспедициях ААНИИ.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 7, с. 97—103.
8. Трифонов Г. А. Алгоритмы и программы централизованной обработки данных системы зондирования атмосферы «РКЗ — Метеор». М., Гидрометеоиздат, 1973, 76 с.
9. Временные методические указания по машинной обработке и контролю данных гидрометеорологических наблюдений. Вып. 9, ч. 2. Обнинск, 1973. 26 с.
10. Мерцалова О. Б., Мирошниченко Б. П., Юровский А. Т. Механизированная обработка радиозондовых наблюдений.— «Экспресс-информация», 1969, вып. 2, ч. 3, Обнинск, с. 107—114.
11. Мерцалова О. Б. и др. Технологическая схема механизированной обработки радиозондовых наблюдений.— «Тр. НИИАК», вып. 62, 1970, с. 3—33.
12. Колкова Л. М., Савенков В. В. Анализ работы морской автоматической станции в период ее опытной эксплуатации.— См. наст. сборник, с. 41—46.
13. Автоматическая станция КРАМС. Под ред. Л. П. Афиногенова, М. С. Стернзата. Л., Гидрометеоиздат, 1974. 218 с.
14. Колесников А. Г. и др. Судовой автоматический комплекс измерения основных гидрофизических элементов в океане.— В кн.: Сб. докладов ко второму Международному океанографическому конгрессу. Киев, «Наукова думка», 1966, с. 126—131.
15. Дюбкин И. А. О математическом обеспечении СИГМА-с.— «Тр. ААНИИ», т. 301, 1972, с. 19—30.
16. Дюбкин И. А., Лодкин И. И. К вопросу организации берегового координационного вычислительного центра.— «Тр. ААНИИ», т. 301, 1972, с. 31—42.
17. Белоусов С. Л., Гандин Л. С., Машкович С. А. Обработка оперативной метеорологической информации с помощью ЭВМ. Л., Гидрометеоиздат, 1968, 282 с.
18. Семендяев К. А., Гладкая З. Ф., Ульянова Н. Н. Автоматическая раскодировка аэрологических телеграмм.— «Тр. ГМЦ», вып. 1, 1967, с. 54—57.
19. Гандин Л. С., Каган Р. Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л., Гидрометеоиздат, 1976. 360 с.
20. Дюбкин И. А., Зудин О. С. Автоматизированная вычислительная информационно-поисковая система на НИС и НИСП ГУГМС. См. наст. сборник, с. 21—24.
21. Дюбкин И. А., Веремеенко В. М., Колкова Л. М. Оценка эффективности от внедрения различных методов сбора и первичной обработки метеорологической и актинометрической информации на НИС и НИСП ГУГМС. См. наст. сборник, с. 73—81.
22. Васильев В. Ф. и др. Полуавтоматическая обработка данных температурно-ветрового зондирования. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 4, ч. 36. Л., Гидрометеоиздат, 1974, с. 75—85.
23. Дюбкин И. А., Веремеенко М. В., Самушкин В. А. Модель автоматизированной системы получения и обработки актинометрической информации и эффективность ее практического применения. Автоматическая проверка и исправление данных гидрометеорологических наблюдений. (Материалы Международного симпозиума специалистов гидрометслужб социалистических стран.) М., Гидрометеоиздат, 1975, с. 123—129.
24. Дюбкин И. А., Марченко Л. Г. Алгоритм управления вычислительным процессом в автоматизированной гидрометеорологической системе на НИС и НИСП.— См. наст. сборник, с. 25—33.
25. Дюбкин И. А., Клюквин Л. Н., Романцов В. А. Система автома-

тизированной обработки глубоководной информации. — «Тр. ААНИИ», т. 30, 1972, с. 43—58.

26. Назарова И. В. Опыт составления новых алгоритмов контроля с автоматическим исправлением на ЭВМ ошибочных данных метеорологических наблюдений. Автоматическая проверка и исправление данных гидрометеорологических наблюдений. (Материалы Международного симпозиума специалистов гидрометслужб социалистических стран.) М., Гидрометеоиздат, 1975, с. 32—41.

27. Беспалов Д. П. Методы выявления ошибок в режимной метеорологической информации наземной сети станций. Автоматическая проверка и исправление данных гидрометеорологических наблюдений. (Материалы Международного симпозиума специалистов гидрометслужб социалистических стран.) М., Гидрометеоиздат, 1975, с. 97—100.

28. Светлова Т. П. Особенности контроля на ЭВМ режимной информации метеорологической сети по давлению, температуре и направлению ветра. Автоматическая проверка и исправление данных гидрометеорологических наблюдений. (Материалы Международного симпозиума специалистов гидрометслужб социалистических стран.) М., Гидрометеоиздат, 1975, с. 101—110.

29. Поляк И. И. Численные методы анализа наблюдений. Л., Гидрометеоиздат, 1975. 212 с.

30. Гандин Л. С. Комплексный контроль аэрологической информации. Автоматическая проверка и исправление данных гидрометеорологических наблюдений. (Материалы Международного симпозиума специалистов гидрометслужб социалистических стран.) М., Гидрометеоиздат, 1975, с. 32—41.

31. Рожков В. А., Трапезников Ю. А. Методические рекомендации алгоритмы и программы расчета вероятностных характеристик ветрового волнения на ЭВМ. Обнинск, 1969, 398 с.

32. Иванов В. Н. и др. Спектры метеорологических полей в экваториальной зоне Атлантики. — В кн.: ТРОПЭКС-72. Л., Гидрометеоиздат, 1974, с. 207—217.

33. Фалькович А. И. О вычислении вертикальной скорости ветра при обработке данных экспедиции ТРОПЭКС-72. — В кн.: ТРОПЭКС-72. Л., Гидрометеоиздат, 1974, с. 637—640.

И. А. Дюбкин, Л. Г. Марченко

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НА НИС И НИСП

Автоматизированные системы обработки данных на НИС и НИСП разрабатываются на базе ЭВМ, поэтому в них в качестве обязательной составной части должна входить система программ, которая, кроме функций обработки гидрометеорологической информации, должна осуществлять организацию всего вычислительного процесса на ЭВМ, а также трансляцию и отладку программ пользователей. Центральным звеном общего программного обеспечения является организующая система, объединяющая систему обработки данных в единое целое. Организующая система позволит не только более рационально использовать машинное время, но также повысить оперативность приема данных от измерительных комплексов и доставки результатов обработки потребителю.

Как показано в работах [1—3], автоматизированная вычислительная информационно-поисковая управляющая система (АВИПУС) на НИС и НИСП — сложная многоуровневая система, требующая специальной организации вычислительного процесса.

Электронные вычислительные машины «Минск-32», которыми в настоящее время оснащены суда ГУГМС, имеют сравнительно развитую систему математического обеспечения (МО) [4—6], что дает возможность использовать эту машину в комплексе технического обеспечения автоматизированных систем обработки данных [7]. Однако стандартная система МО не обеспечивает эффективного функционирования ЭВМ «Минск-32» в АВИПУС на НИС и НИСП, т. е. не позволяет создать единую систему сбора, обработки, контроля и распространения научной информации, эффективно использующую все возможности этой машины.

Таким образом, чтобы стандартная система МО ЭВМ «Минск-32» отвечала требованиям, предъявляемым к организующей системе при функционировании машины в системе обработки дан-

ных на НИС, необходимы некоторые доработки ее, направленные не только на качественные изменения компонентов диспетчера, и на разработку некоторых новых функциональных модулей. Та для работы ЭВМ «Минск-32» в АВИПУС необходимо создать модули, обеспечивающие:

— приоритетный прием информации от измерительных комплексов, поступающей в ЭВМ по каналам связи;

— управление последовательностью выполнения задач обработки данных в соответствии с присвоенными им приоритетами и с прерыванием задач более низкого приоритета;

Таблица 1

Примерный перечень задач, решаемых на судовых ЭВМ,
с указанием соответствующих им приоритетов

Наименование задачи	Номер приоритета
1. Штормовое оповещение	1
2. Планирование эксперимента и управление его проведением	2
3. Навигационные задачи	3
4. Первичная обработка и формирование оперативных телеграмм:	
метеорологических	4
аэрологических	5
океанографических	6
5. Первичная обработка и формирование установленных форм обобщения:	
актинометрической информации	7
данных ракетного зондирования	8
6. Методическое и метрологическое обеспечение эксперимента	9
7. Научный анализ	10

— управление выводом данных в соответствии со сроками задачи оперативных телеграмм;

— функциональный контроль системы в процессе ее работы;

— обеспечение достоверности и устойчивости решения задач обработки при сбоях и отказах в аппаратуре;

— накопление статистики о работе системы с целью ее анализа и адаптации;

— управление научным экспериментом;

— автоматический поиск данных.

Для более надежной и эффективной работы системы все модули, выполняющие перечисленные функции, должны быть включены в состав диспетчера ЭВМ, что потребует внесения соответствующих

изменений в некоторые из его программ. В этом отношении для построения автоматизированной системы обработки информации, получаемой на НИС и НИСП, более целесообразно использовать одну из моделей ЕС ЭВМ [8], операционная система которой предусматривает возможность настройки на условия конкретного применения, т. е. генерации из отдельных программных модулей новой операционной системы, способной выполнить заданный объем работ по обработке данных.

Задачи, решаемые на НИС и НИСП, имеют различную степень срочности выполнения. В соответствии с этим им присваиваются различные приоритеты. В табл. 1 приведен перечень основных задач, решаемых на ЭВМ НИС и НИСП, а также номера приоритета, присвоенные этим задачам. Безусловно, номер приоритета той или другой задачи может меняться в зависимости от задач конкретного рейса или эксперимента.

При определении номера приоритета мы исходили из следующих соображений. Наивысший приоритет целесообразно присвоить задаче штормового оповещения. Задаче планирования и управления экспериментом можно дать второй приоритет, так как при обнаружении неисправностей в измерительных комплексах их необходимо немедленно устранить. Навигационному комплексу присваивается третий приоритет, так как, помимо безопасности судовождения, знание местонахождения корабля необходимо для любых измерений.

Ко второй группе задач (пункты 4 и 5 табл. 1) относится обслуживание прогностических центров оперативной информацией. В этой группе наивысший приоритет — четвертый — имеет метеорологическая информация, так как синоптическая телеграмма должна уйти в 05 мин каждого срока наблюдений. В этот момент может осуществляться прием и обработка данных температурно-ветрового зондирования. Поэтому подсистеме первичной обработки данных радиозонда присвоен пятый приоритет. Данные глубоководного зондирования имеют шестой, а актинометрическая информация — седьмой приоритеты. Наконец, результаты ракетного зондирования обрабатываются после актинометрической информации, т. е. этому виду данных присвоен восьмой приоритет.

Задачи методического и метрологического обеспечения решаются после обработки всех оперативных данных. В нашем случае этому виду работ присвоен девятый приоритет.

Научный анализ результатов измерений, проведенных в данном рейсе, или какой-либо другой информации осуществляется тогда, когда ЭВМ свободна от решения вышеуказанных задач, т. е. научный анализ в нашем случае имеет десятый приоритет.

Из таблицы видно, что задачи штормового оповещения, навигационные задачи и задачи управления экспериментом имеют наивысшие номера приоритетов. Поэтому в момент поступления заявок на их выполнение должна прерываться любая решаемая в это время задача. Наоборот, задачи научного анализа данных имеют самый низкий приоритет и могут выполняться как фоновые, т. е.

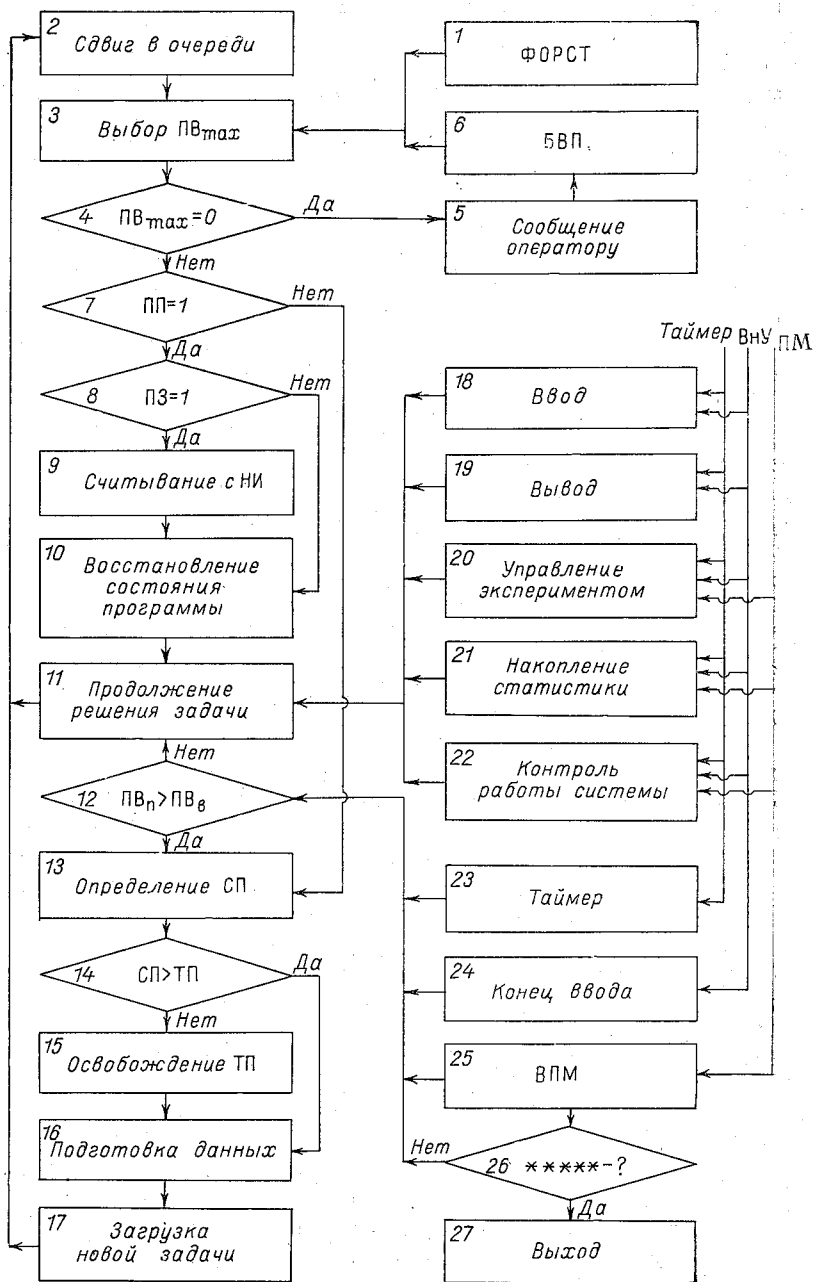


Рис. 1. Блок-схема алгоритма управления процессом решения задач обработки данных на ЭВМ.

процессе их выполнения может произойти прерывание, после которого начнет выполняться любая другая задача с более высоким приоритетом. Приоритетный порядок решения задач в автоматизированной системе обработки данных, получаемых на судах, необходим для более рационального использования машинного времени и своевременной обработки оперативной информации. Эти вопросы приобретают все возрастающее значение в связи с увеличением потока гидрометеорологической информации, вызванным не только автоматизацией процесса ее получения, но также и расширением круга задач, решаемых на НИС, что в свою очередь обусловлено повышением интереса к изучению процесса взаимодействия атмосферы и океана [1, 9, 11].

Целью настоящей работы является изложение алгоритма операционной системы программного обеспечения АВИПУС.

Рассмотрим в кратком изложении этот алгоритм (рис. 1). Для первоначального пуска системы и ее дальнейшей автоматической работы необходимо задать начальные данные о задачах обработки, об информации измерительных комплексов, о буферных зонах и т. д.

Эти данные вводятся по подпрограмме ФОРСТ (блок 1) и записываются в специальные (служебные) таблицы. В дальнейшем в ходе работы системы информация служебных таблиц может изменяться, дополняться по соответствующим директивам с пишущей машинки (ИМ). После того как все таблицы окажутся сформулированными, управление передается на блок 3, в котором происходит выбор из таблицы очереди заявки, имеющей наивысший приоритет выполнения ($PV_{\max}$).

Так как в очередь записываются не только вновь поступившие заявки, но и заявки на прерванные задачи обработки, дальше в блоке 7 происходит проверка соответствующего условия (ПП — признак прерванности). Для выполнения прерывавшейся ранее задачи (ПП-1) блоком 10 организуется восстановление ее состояния и переход к дальнейшему выполнению. При этом предварительно в блоках 8 и 9 происходит считывание всей программы или ее части с внешнего носителя информации (НИ), если она была туда переписана при освобождении в блоке 15 необходимого количества памяти для более срочной задачи.

При выборе из очереди новой задачи управление передается блоку 13, где определяется свободное поле (СП) в памяти ЭВМ, длина которого сравнивается с требуемым количеством памяти (ТП), указанным в служебных таблицах (блок 14). Если имеющегося объема памяти достаточно, начинает работать блок 16, подготавливающий информацию для выбранной задачи. В этом блоке в соответствии с носителем информации (НИ), указанным в таблице описаний задач, производятся необходимые действия для поиска и чтения нужной информации. После подготовки массива данных для обработки в блоке 17 происходит загрузка выбранной задачи и передается ей управление. По окончании выполнения задачи обработки соответствующая заявка удаляется из очереди, а память,

отведенная ей, освобождается (блок 2). Затем выбирается из очереди новая задача, и цикл работы системы повторяется.

Если в очереди не окажется ни одной заявки ($PB_{\max}=0$), то блок 5 об этом печатает сообщение оператору. Далее система переходит в режим ожидания до появления одной из причин прерывания (оператор БВП-блокировка выполнения программы).

Поток задач, рассматриваемых по описанному циклу в системе обработки данных, может быть прерван по сигналам от таймера, от внешних устройств (ВнУ) и с пишущей машинки (ПМ). Если в результате прерывания не требуется вносить новую заявку в таблицу очереди (блоки 18—22), то продолжает решаться прерванная задача (блок 11). Если же после выполнения ветви, обслуживающей прерывание, поступила новая заявка (блоки 23—26), то управление передается блоку 12, где сравниваются приоритеты поступившей ($PB_{\text{п}}$) и выполняющейся ($PB_{\text{в}}$) заявок.

Так, например, если выполняется задача научного анализа, а в это время необходимо обработать данные радиозонда, то по сигналу прерывания, поступившему по окончании ввода от соответствующего ВнУ (измерительного комплекса), включается модуль, обслуживающий данное прерывание (блок 24). Здесь поступившая заявка записывается в таблицу очереди. Затем, так как номер приоритета новой заявки выше, запоминается состояние прерванной задачи и начинают работать блоки 13—18, в которых происходит подготовка данных для новой задачи и ее загрузка. Далее, например, во время выполнения аэрологической задачи поступил сигнал прерывания от таймера, по которому необходимо выдать метеорологическую телеграмму, тогда для постановки заявки в очередь включается блок 23. В этом же блоке проверяется наличие данных для составления оперативной телеграммы. При отсутствии данных выдается сообщение оператору. Если же данные имеются в памяти ЭВМ, то происходит переход к новой задаче и подготовка временной константы для описания следующего прерывания от таймера. По окончании решения метеорологической задачи составленная телеграмма пересылается в выходную буферную зону, из которой информация выдается потребителю также в приоритетном порядке. Потом управление передается на блоки 2 и 3, из очереди выбирается следующая задача, имеющая наивысший приоритет. В рассматриваемом случае это будет аэрологическая задача, которая уже решалась и была прервана. Поэтому дальше будут работать блоки 8—11 рассматриваемой схемы алгоритма. И только после решения этой задачи продолжится выполнение задачи научного анализа, которая в свою очередь опять может быть прервана задачей, более высокого приоритета. Так на фоне решения задачи научного анализа или другой задачи с наименьшим приоритетом могут решаться все задачи, требующие более срочного выполнения.

По сигналу прерывания с ПМ в ЭВМ может быть поставлена в очередь на выполнение любая задача, имеющаяся в библиотеке пользователя. Кроме того, с ПМ могут вводиться дополнения и изменения в служебные таблицы, заявки на ввод данных, подлежа-

их обработке, а также признак конца работы системы. Для возможности ввода информации в ЭВМ с ПМ в любое время в процессе работы системы перед выходом из ветви, обслуживающей данное прерывание (блок 25), предусматривается возможность следующего прерывания (ставится соответствующий оператор).

В настоящее время рассмотренный алгоритм реализован на языке ассемблера ЭВМ «Минск-32». Однако он является первым вариантом операционной системы для автоматизации управления вычислительным процессом в автоматических гидрометеорологических системах, который будет еще совершенствоваться. Для удобства отладки алгоритм реализован в виде программы пользователя, выполняющейся под управлением диспетчера ЭВМ на одном из рабочих уровней. При составлении программы делалась попытка максимального использования возможностей системы математического обеспечения ЭВМ «Минск-32». Однако для более полной реализации всего алгоритма, представленного на рис. 1, необходимо внести изменения в соответствующие программы диспетчера этой машины.

Из рассмотрения изложенного алгоритма автоматического управления вычислительным процессом в АВИПУС с учетом того факта, что в настоящее время значительная часть метеорологической информации есть результат визуальных наблюдений, следует необходимость установки терминалов к ЭВМ в научных лабораториях ИИС и ИИСП. Это существенно повысит эффективность всей системы [11]. Кроме того, для осуществления прерывания процесса решения задач с низшим приоритетом по сигналу от автоматических измерительных комплексов (АИК) необходимо, чтобы при конструировании АИК учитывались соответствующие требования операционной системы.

На основании вышеизложенного представляется возможным делать следующие выводы.

1. В соответствии с изложенными в работах [2, 3] задачами сделана первая попытка разработки алгоритма автоматического управления процессами сбора, обработки, контроля и распространения гидрометеорологической информации различного приоритета на ИИС и ИИСП ГУГМС.

2. Для эффективного функционирования автоматизированной гидрометеорологической системы необходимо в ее программное обеспечение включать специальную организующую систему, которая объединяет отдельные звенья системы в единое целое.

3. Процесс разработки алгоритма управляющей системы АВИПУС является сложной научной задачей, которая может быть решена на основе знаний проблемы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дюбкин И. А. О математическом обеспечении СИГМА-с.— «Тр. ААНИИ», г. 301, 1972, с. 19—30.
2. Дюбкин И. А., Зудин О. С. Автоматизированная вычислительная информационно-поисковая управляющая система на ИИС и ИИСП ГУГМС. См. наст. сборник, с. 3—15.

3. Дюбкин И. А., Марченко Л. Г. Иерархическая структура вычислительного процесса в автоматизированной вычислительной информационно-поисковой управляющей системе (АВИПУС) на НИС и НИСП. См. наст. сборник с. 16—24.

4. Белокурская И. А., Кушнеров Н. Т., Неменман М. Е. Диспетчер ЭВМ «Минск-32». М., «Статистика», 1973, 135 с.

5. Пржиялковский В. В., Смирнов Г. Д., Пыхтин В. Я. Электронная вычислительная машина «Минск-32». М., «Статистика», 1973, 159 с.

6. Цветков В. Н. Математическое обеспечение ЭВМ типа «Минск». М. «Статистика», 1974, 328 с.

7. Журавлев В. Г. Основы АСУ. Кишинев, «Штиинца», 1975, 247 с.

8. Система математического обеспечения ЕС ЭВМ. Под ред. А. М. Ларионова. М., «Статистика», 1974, 216 с.

9. Борисенков Е. П., Федоров О. М. Автоматизированная система измерения, сбора и обработки гидрометеорологической информации на научно-исследовательских судах ГУГМС (СИГМА-с). — «Тр. ААНИИ», т. 301, 1972, с. 5—18.

10. 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 ГУГМС. См. наст. сборник, с. 73—81.

11. Дюбкин И. А. Автоматизация процессов получения и первичной обработки научной информации в экспедициях ААНИИ. — «Метеорология и гидрология» 1973, № 7, с. 97—103.

Т. П. Светлова

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА СУДАХ

Среди научных проблем, решение которых принесет неоценимую пользу всему человечеству, одно из первых мест занимает создание надежных методов долгосрочного прогноза погоды.

Одной из трудностей, стоящих на пути решения этой проблемы, по мнению Всемирной метеорологической организации [7], является отсутствие глобальной гидрометеорологической информации, что не позволяет с достаточной точностью судить о состоянии и поведении системы атмосфера — суша — океан.

Особенно заметно ощущается недостаток в данных с акватории океанов. Эпизодические измерения, проводимые отдельными судами на океанах, не могут восполнить недостаточность имеющихся сведений о пространственной и временной изменчивости метеорологических полей на акватории океана. По этой причине в последнее время организуются глобальные эксперименты, позволяющие собрать обширную научную информацию с площадей соответствующих масштабу изучаемых явлений.

Трудно переоценить роль судовых метеорологических наблюдений при проведении подобных экспериментов. Они обеспечивают в первую очередь получение полей основных метеорологических характеристик, что имеет важное значение как при решении вопросов глобальной атмосферной циркуляции, так и для удовлетворения запросов народного хозяйства. Однако стоимость получения научной информации с судов НИС и НИСП более чем на порядок выше стоимости аналогичной информации, поступающей с сухопутных станций. В связи с этим необходимо предъявлять повышенные требования к надежности и репрезентативности получаемых данных.

Ввиду быстрого нарастания потока информации, получаемой за последние годы с судов НИС и НИСП, и преобладания методов и средств, использующих малопроизводительный ручной труд, задача создания новой системы получения сбора обработки, анализа и распространения этой информации становится исключительно важной. Между тем, как показано в [2], одной из основных проблем

при создании такой системы является отсутствие методических основ построения системы метеорологических наблюдений на судах которые учитывали бы специфику морских условий.

Настоящую статью следует рассматривать как попытку анализа состояния метеорологических наблюдений на судах НИС и НИСГ с целью наметить основные направления работ по их совершенствованию и созданию основ построения системы.

Метеорологические наблюдения, проводимые на судах, являются тем материалом, на основании которого мы имеем возможность судить о состоянии атмосферы, количественных характеристиках метеорологического режима и климата различных акваторий Мирового океана и на котором базируются все виды прогнозов и предупреждений об опасных явлениях.

Такое разнообразие аспектов приложения результатов измерений накладывает на них определенные требования как в отношении состава и точности измерений, так и в отношении пригодности их для совместного использования. Удовлетворение этих требований обеспечивается в первую очередь наличием двух видов программ наблюдений: стандартной и специальных.

Стандартная программа включает в себя комплекс измерений, направленных на изучение атмосферных процессов и явлений погоды и климат с необходимой полнотой и точностью, удовлетворяющих специфическим требованиям гидрометслужбы.

Иными могут быть специальные программы метеорологических наблюдений на судах, здесь состав наблюдений и необходимая точность их должна определяться характером решаемых задач.

Необходимым условием стандартных метеорологических наблюдений, помимо достаточной полноты сведений, характеризующих физические процессы, происходящие в атмосфере, является их однородность и сравнимость как во времени, так и в пространстве.

Это условие может быть достигнуто путем 1) применения на судах однотипных приборов, поверенных и сравненных с принятыми эталонами; 2) размещения приборов и установок в репрезентативных местах; 3) производства наблюдений по единой методике; 4) совершенства средств измерения; 5) применения однородных алгоритмов первичной обработки.

Важную особенность метеорологических измерений на судах, с которой приходится считаться при построении системы измерений, составляют невозможность полного исключения влияния судна на показания измерительных комплексов и значительные трудности уменьшения этого влияния до размеров, позволяющих производить измерения с погрешностью, не превышающей допустимую.

Таким образом, задача построения системы метеорологических наблюдений на судах не сводится только к унификации технических средств измерения, методики измерений и обработки данных. Решение ее невозможно без создания методических основ построения ее и выработки научно-обоснованных рекомендаций, обеспечивающих получение полей всех метеорологических элементов при

ущественно меньшем влиянии наблюдательной платформы (судна).

В настоящее время наметились определенные сдвиги в направлении стандартизации приборов, мест их установки, методик наблюдения и обработки при метеорологических измерениях на судах. Так, на 13 советских судах, принимавших участие в экспедиции АТЭП-74, приборы для измерения метеорологических параметров и места их установки за отдельными редкими исключениями были стандартизованы в соответствии с [5]. Перечень приборов приводится в табл. 1. Методические рекомендации ГГО в основном соблюда-

Таблица 1

Сведения о приборах, используемых для метеорологических измерений в АТЭП-74

Название прибора	Тип прибора	Место установки	Высота установки, м
Барометр анероид	МД-49-2	Метеорологическая лаборатория	8—12
Аспирационный психрометр с ртутными термометрами	МВ-4	Крылья пеленгаторного мостика, выстрел на расстоянии 2,5 м от борта	9—14
Анемометр контактный	М-92	Фок-мачта (НИСП) или грузовые колонны (НИС)	16,5—29
Корабельный измеритель ветра	КИВ	То же	16,5—29
Осадкомер Третьякова	О-1	Крылья верхнего мостика	10,7—15
Плювиограф	П-2	Верхний мостик	10,7—15

лись на всех судах, кроме отдельных судов Академии наук СССР, где допускались произвольные отклонения от утвержденных методик. Так, например, на судне АН СССР «Академик Курчатов» измерения температуры и влажности воздуха производились не с выстрела на расстоянии 2,5 м от борта, а с руки при горизонтальном положении психрометра резервуарами против ветра.

Однако для получения сравнимого материала одной стандартизации приборов и методов наблюдения недостаточно, только полный комплекс мер, направленных на создание системы наблюдения, может обеспечить выполнение указанной задачи.

Как показывает анализ, по крайней мере три из перечисленных выше условий получения однородного и сравнимого материала наблюдений не выполняются полностью или выполняются только частично.

Основная трудность, с которой приходится столкнуться при построении системы морских метеорологических измерений, заключается в том, что если на вопросы, что и когда измерять, мы можем в настоящее время дать достаточно аргументированный ответ, то

вопросы, где, как и чем измерять на судне, требуют постановки серьезных научно-методических исследований.

Главным препятствием на пути создания системы является отсутствие датчиков в морском исполнении для измерения гидрометеорологических параметров.

Наиболее заметно оно сказывается на измерении трех метеорологических характеристик: ветра, осадков и видимости, особенно, когда наблюдения за ними производятся с движущегося объекта. Так, все существующие в настоящее время конструкции ветровых измерителей имеют несбалансированные флюгарки, что вызывает

Таблица 2

Количество атмосферных осадков (мм) за период АТЭП-74

Название судна	Фаза наблюдений	По осадкомеру				По плювиографу
		левый борт	правый борт	наветренный	подветренный	правый борт
„Профессор Зубов“	I	217,6	233,7	217,9	233,4	206,6
	II	3,3	5,7	4,7	4,3	6,1
	III	78,8	56,7	90,5	45,0	42,8
	Всего					255,5
„Профессор Визе“	I	—	—	—	—	27,8
	II	171,2	105,3	174,1	103,1	123,8
	III	188,7	110,8	180,6	118,9	149,7
	Всего					301,3

Примечание. Тире означает, что нет сведений, по какому осадкомеру велись наблюдения.

при использовании их для измерений на судах значительное искажение как направления, так и скорости ветра, когда флюгарка при наклоне судна из-за качки становится не по потоку.

Не существует и конструкции для измерения количества и регистрации интенсивности осадков, пригодной для измерений на судне.

Согласно рекомендации ВМО судовые осадкомеры, по крайней мере их приемные сосуды, должны устанавливаться как можно выше, чтобы исключить влияние судна на осадкомер [8].

Использование для измерений осадков на судах обычных осадкомеров, к тому же не поднятых на мачту, приводит к заметному увеличению суммарной погрешности измерения за счет появления дополнительных источников ошибок, присущих условиям измерений на судне. Главный из них — влияние судна на воздушный поток, обтекающий осадкомер, — до настоящего времени мало изучен. Некоторое представление о таком влиянии дают данные табл. 2, где приводятся сведения о расхождении сумм осадков, полученных на

одном и том же судне за период АТЭП-74 при различной установке приборов по отношению к воздушному потоку, обтекающему судно.

Вместе с тем, если сопоставить суммы осадков, полученные в период международных сравнений по записям плuviографов судов «Академик Королев», «Прибой», «Океан» и «Муссон» 18 августа 1976 г. (суда находились в дрейфе и были ориентированы одинаково по отношению к преобладающему ветру), легко заметить, что они достаточно хорошо согласуются (6,8; 7,1; 4,2 и 3,7 мм).

Обращает на себя внимание и тот факт, что средняя за время непрерывного дождя интенсивность осадков по записям плuviографов всех кораблей за период АТЭП-74 хорошо согласуется с данными, полученными для этого района и сезона косвенными приемами [6].

По-видимому, решение вообще отменить измерения осадков на судах было неправильным; оно привело к тому, что на сегодняшний день имеющиеся в нашем распоряжении сведения о структуре осадков в океане минимальны, а научно-методические работы в рамках указанной проблемы не ведутся уже много лет.

Аналогичное положение создалось и с инструментальными наблюдениями за видимостью. По сравнению с наблюдениями за этим параметром на сухопутных станциях, наблюдения на судах осложняются отсутствием ориентиров, пригодных для использования визуальных методов наблюдения, и достаточной длины базы для применения существующих конструкций приборов.

Другим не менее важным препятствием является отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по размещению приборов с учетом требований к репрезентативности измерений. Отдельные разрозненные исследования по этой проблеме [3] не позволяют дать также рекомендации для всех приборов и типов судов. Между тем на протяжении последних лет ни одна исследовательская программа отдельных плаваний судов и проводимых групповых экспедиций не предусматривала специальных методических работ, направленных на решение столь сложной и важной задачи.

Существенно снижает эффективность системы и использование приборов с недостаточной точностью измерений или недостаточной стабильностью их метрологических характеристик.

Так, совершенно недопустимо использовать на судах барометры-анероиды БАММ, которые, помимо значительной инструментальной погрешности $\pm 2,5$ мм рт. ст., очень ощутимо меняют со временем свои постоянные поправки.

Более удачным следует признать использование для этой цели барометров-анероидов МД-49-2, технические характеристики которых по точности значительно выше ($\pm 0,8$ мм рт. ст.), а постоянные поправки практически остаются неизменными в течение рейса средней продолжительности (4—5 месяцев). Однако и эти приборы не удовлетворяют требуемой точности измерения давления, так как барометры, установленные на сухопутных станциях, обеспечивают измерения с максимальной погрешностью $\pm 0,5$ мбар, что создает

заметную неоднородность материалов наблюдений, когда информация используется в комплексе.

При проведении крупных групповых экспедиций, особенно в районах, где пространственные и временные градиенты измеряемого параметра сопоставимы с инструментальной погрешностью применяемых для наблюдений приборов, указанная проблема становится особенно острой, так как она затрудняет анализ и использование получаемой информации. В первую очередь это относится к оперативному использованию данных для научных целей, поскольку их применение без соответствующей валидации с учетом специфики измерений может привести к абсурдным выводам.

В связи с этим следует обратить внимание на материалы наблюдений по давлению двух экспедиций по программе ПИГАП—ТРО ПЭКС-72 и АТЭП-74, так как требования ряда научных подпрограмм указанных экспедиций к измерению давления не согласуются с существующей точностью гидрометеорологических наблюдений этого параметра и не могут быть удовлетворены в ближайшее время.

Действительно, барометры-анероиды, применяемые для измерения атмосферного давления на судах, имеют инструментальную погрешность измерения не менее ± 1 мбар. Между тем известно, что инструментальная погрешность прибора является тем верхним пределом точности, который может быть достигнут с этим прибором. Принятая в Гидрометслужбе СССР индивидуальная поверка каждого отдельного образца позволяет в какой-то мере учесть постоянную составляющую инструментальной погрешности, однако возможности такого повышения точности не безграничны [4].

Как показывает анализ материалов международных сравнений метеорологических комплексов советских судов в период АТЭП-74, среднее рассеивание показаний, исправленных всеми поправками, при одновременном определении их с судов Владивосточной группы, анероиды которых были поверены в Бюро поверки ДВНИГМИ, и судов, оснащенных анероидами, поверенными в ЦБП, составило соответственно 0,4 и 0,6 мбар. При одновременном сравнении всех анероидов экспедиции во время второго международного сравнения 16—19 августа 1974 г. значение рассеивания возросло почти вдвое и составило 1,1 мбар.

Приведенное значение не превышает пределов допустимой погрешности для приборов этого класса точности, т. е. анероидов, имеющих инструментальную погрешность $\pm 1,1$ мбар. Однако, если соотнести его с требованием научных подпрограмм измерять давление с точностью $\pm 0,2$ мбар и со значением наблюдаемых в этом районе градиентов давления, становится понятно, что использование полученных результатов без дополнительной их валидации неправомерно.

Заложенное в подпрограммах АТЭП-74 требование измерять атмосферное давление с погрешностью не более $\pm 0,2$ мбар при существующем оснащении судов является технически необоснованным. Такая точность может быть достигнута только путем организации специальных измерений приборами более высокого класса точ-

ности, пригодными для эксплуатации в морских условиях. В качестве временной меры можно рекомендовать при проведении экспедиции использовать анероиды одной заводской партии, поверенные в одном поверочном органе.

Существенные ошибки в значениях измеряемых параметров могут появляться за счет влияния на них побочных факторов. Рассматривая с этой точки зрения применяемые на судах приборы, следует остановиться в первую очередь на измерениях температуры и влажности. Одной из наиболее существенных погрешностей в рассматриваемом случае является погрешность, обусловленная смачиванием датчика. Более перспективными следует считать измерения электропсихрометрами с постоянным смачиванием.

Для измерения параметров ветра характерно наличие значительных погрешностей за счет неточного определения скорости судна, особенно при измерении скорости ветра с борта дрейфующего судна.

Невелика и фактическая точность измерений температуры поверхности моря, здесь, помимо неопределенности самого понятия „поверхность” моря, существенную неоднородность материалов вызывают различия при измерениях на ходу судна и в дрейфе за счет нарушения термической структуры поверхностного слоя воды движущимся судном.

В заключение следует отметить, что, несмотря на значительные трудности и существенные затраты при осуществлении морских метеорологических измерений, ни одно из научных исследований, направленных на изучение взаимодействия атмосферы и океана, не может обойтись без проведения стандартных метеорологических наблюдений, так как они позволяют проводить непрерывный анализ состояния атмосферных процессов.

Использование при таких измерениях большого количества разнотипных судов и оборудования вынуждает поставить важнейший вопрос о сопоставимости данных таких наблюдений. Решение этого вопроса является сложной научной и организационной задачей. Применительно к аналогичным наблюдениям на суше эта проблема в международном плане практически решена, чего нельзя сказать в отношении метеорологических наблюдений на море.

Проведение международной экспедиции АТЭП-74 показало, что система штатных отрядов на советских судах, а также стандартизация приборов и методик, создали определенные предпосылки к тому, что стандартные наблюдения советских судов находятся на более высоком уровне. Доказательством того служит тот факт, что измерения всех метеорологических элементов производились на советских судах с «желательной» точностью, рекомендуемой ВМО для АТЭП-74.

Однако задачу создания системы морских метеорологических наблюдений нельзя считать завершенной и в национальном плане, так как они не удовлетворяют целому ряду требований, о которых упоминалось выше.

Касаясь задач на ближайшее будущее в международном плане,

следует сказать, что первоочередной должна стать оценка сопоставимости национальных систем метеорологических наблюдений на море и создание единых руководящих документов ВМО. В национальном плане — необходимо сосредоточить все усилия на решении важнейших методических вопросов, связанных с постановкой метеорологических наблюдений на судах, их правильностью, необходимой и достаточной точностью, а также с интерпретацией полученных результатов. Выработка конкретных рекомендаций по выбору рациональной высоты измерения и репрезентативных мест установки приборов требует широкого развертывания специальных экспериментальных исследований, что должно стать первоочередной задачей метеорологических отрядов и прежде всего НИС.

Не менее важной и срочной является и задача разработки новых приборов и методов измерений, предназначенных для эксплуатации в море.

Только решение всех перечисленных задач в комплексе позволит создать достаточно совершенную систему морских метеорологических измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о работе V сессии комиссии по атмосферным наукам. Вашингтон 17—29 VIII 1970 г. Женева, ВМО, 1971, с. 3—18.
2. Дюбкин И. А. Зудин О. С. Автоматизированная вычислительно-информационно-поисковая управляющая система на НИС и НИСП ГУГМС. См. наст. сборник, с. 3—15.
3. Кравчук Ю. А. и др. Исследования влияния судна на поля метеорологических элементов. — В кн.: ТРОПЭКС-72, Л., Гидрометеиздат, 1974, с. 603—608.
4. Методические основы автоматизированной системы метеорологических наблюдений. Под ред. Д. П. Беспалова. Л., Гидрометеиздат, 1971. 119 с.
5. Методические указания по производству метеорологических и актинометрических наблюдений на судах и перфорации результатов в период проведения Атлантического тропического эксперимента (АТЭП). Л., Изд. ГГО, 1974. 33 с.
6. Мировой водный баланс и водные ресурсы земли. Л., Гидрометеиздат, 1974, с. 638.
7. Experiment design proposal for the Garp Atlantic Tropical Experiment Gate Report, 1972, N 1, June, p. 6—9, 81—83.
8. Precipitation measurements at Sea Tech. N 47. Geneva, WMO, 1962. 18 p.

Л. М. Колкова, В. В. Савенков

АНАЛИЗ РАБОТЫ МОРСКОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В ПЕРИОД ЕЕ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В настоящее время на научно-исследовательских судах ГУГМС проводятся работы по усовершенствованию методики производства наблюдений и их обработки. Если ранее при производстве наблюдений использовались приборы без применения автоматизации, то сейчас внедряются дистанционная регистрация некоторых параметров с помощью мостов и потенциометров, КСП-04 и сложные автоматизированные комплексы. Обработка данных производится на ЭВМ, которыми комплектуются суда [1, 2].

Естественно, что автоматизация гидрометеорологических наблюдений на судах, с одной стороны, должна обеспечивать получение более качественной и точной информации о состоянии атмосферы, с другой стороны, должна разгрузить работу вахтенного метеоролога.

Цель настоящей работы обобщить опыт эксплуатации на судах ОдО ГОИНа автоматических измерительных комплексов и определить перспективу их дальнейшего использования. Для такого обобщения использованы следующие данные: заключение ААНИИ о работе станции на НИС «Профессор Визе» в балтийском рейсе в период с 18 апреля по 5 мая 1974 г., отчет ОдО ГОИНа о работе указанной станции на НИСП «Виктор Бугаев» в Северной Атлантике в период с августа 1975 г. по январь 1976 г., а также заключение по данным сравнительных наблюдений (датчики станции — контрольные приборы, не связанные со станцией) XII рейса НИСП «Виктор Бугаев». Испытания станции проводились на ходу судна и в дрейфе.

Станция обеспечивает круглосуточное автоматическое измерение метеорологической и актинометрической информации, поступающей с датчиков, установленных по бортам судна: атмосферного давления, температуры воздуха и воды, температуры точки росы, скорости и направления кажущегося ветра, высоты облачности, суммарной, прямой и отраженной радиации, радиационного баланса,

а также направления и скорости движения судна. Допустимые погрешности измеряемых параметров приведены в табл. 1. Характеристики влажности воздуха, величина и характеристика барической тенденции, направление и скорость истинного ветра рассчитываются на ЭВМ по соответствующей программе. Ряд параметров, которые в настоящий момент не автоматизированы (количество и форма облачности, осадки, видимость, атмосферные явления, состояние диска солнца, волнение, обледенение, состояние моря, ледовая

Таблица 1
Допустимые погрешности измерения метеорологических элементов датчиками станции

Параметр	Допустимая погрешность
Температура	
воздуха	$\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
точки росы	от $\pm 0,6$ до $\pm 3,2^{\circ}\text{C}$ (в зависимости от относительной влажности воздуха)
воды	$\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
Атмосферное давление . . .	$\pm 0,2$ мбар
Ветер	
направление	$\pm 10^{\circ}$
скорость	$\pm 0,5 (\pm 0,5)$ м/с
Высота нижней границы облачности	$\pm 20\%$ + крен и дифферент
Направление движения судна	$\pm 1^{\circ}$
Скорость движения судна . .	$\pm 0,1$ м/с

обстановка), определяются вахтенным метеорологом визуально и заносятся в станцию с пульта оператора как параметры «ручного ввода».

В зависимости от программы наблюдений информация со станции поступит через 1,2 или 3 ч. Время выдачи информации совпадает с началом каждого часа. Между сроками возможен внеочередной опрос датчиков в любое время за исключением 15-минутного интервала, когда происходит автоматическая подготовка датчиков к выдаче информации, их опрос и выдача данных. Наряду с автоматическим выбором датчиков предусмотрен их ручной выбор при помощи кнопок, расположенных на пульте оператора. Информация станции выдается через телетайп на перфоленту в виде, пригодном для расчета и составления оперативной синоптической теле-

раммы. Одновременно с этим метеопараметры фиксируются на центральном и выносных табло.

Станция имеет два режима работы: автоматический и контрольный. Автоматический режим — основной режим работы станции, в котором и выдается оперативная информация. Контрольный режим предназначен для проверки нормального функционирования устройства автоматики станции.

Как отмечено выше, для выяснения надежности работы станции проводилась ее опытная эксплуатация на судах ОдО ГОИНа и ААНИИ. В период опытной эксплуатации выяснено, что в целом станция работоспособна, помехоустойчива, все датчики, за исключением датчика температуры точки росы, достаточно надежны, при сравнительных наблюдениях они показали хорошую сходимость с показаниями контрольных приборов. Имевшие место сбои были обусловлены некоторыми конструктивными недоработками отдельных узлов станции. Так, согласно данным XII рейса НИСП «Виктор Бугаев», с 11 ноября 1975 г. по 20 января 1976 г. зарегистрирован 21 сбой. Причины сбоев: выход из строя схемы считывания давления, обрыв в цепи дистанционной приставки ДВ ИВО-1 М, выход из строя органных часов (скачок во времени на 10 мин), отсутствие надежного контакта кнопок набортного поля ручного ввода данных и др. Однако все это было устранено в рейсе. К существенному недостатку станции следует отнести ее большие габариты, которые затрудняют установку и обслуживание станции даже на судах типа «Профессор Визе».

Рассматриваемая станция на судах ААНИИ практически применения не нашла, в то время как на НИСП «Пассат» и НИСП «Виктор Бугаев» ОдО ГОИНа она внедряется в оперативную эксплуатацию. Перед вводом станции в оперативную эксплуатацию были проведены серии сравнительных наблюдений с целью выявления надежности работы датчиков и отдельных узлов станции. По данным сравнительных наблюдений XII рейса НИСП «Виктор Бугаев» для всех элементов, определяемых автоматически, были рассчитаны коэффициенты корреляции, средние арифметические и средние квадратические отклонения показаний датчиков станции от показаний контрольных приборов (табл. 2).

Выяснилось, что значения элементов, определяемые по датчикам станции, хорошо коррелируют с данными контрольных приборов. Как видно из табл. 2, значения коэффициентов корреляции достигают 0,91—0,99, исключение составляют только данные температуры точки росы, коэффициент корреляции которых равен 0,74.

При рассмотрении среднеарифметических отклонений видно, что расхождения между показаниями датчиков станции и контрольных приборов укладываются в рамки допустимых погрешностей определения того или иного элемента (см. табл. 1). Отмечаемая небольшая тенденция увеличения погрешностей измерения для некоторых метеорологических элементов объясняется тем, что при производстве сравнительных наблюдений отсутствовала четкая методика их проведения и, кроме того, наблюдались некоторые конструктивные

Статистические характеристики, вычисленные по данным сравнительных наблюдений
XII рейса НИСП "Виктор Бугаев"

Параметр	Датчик		n	r	$\bar{x}$	σ
	автоматической станции	контрольный				
Температура воздуха	ПТС-500	Психрометр МВ-4 М	64	0,99	0,14	0,25
л. б.	"	"	50	0,99	0,16	0,27
п. б.						
По смоченному термометру						
л. б.	"	"	22	0,99	-0,07	0,18
п. б.	"	"	8	0,98	-0,21	0,48
Температура точки росы	Датчик точки росы	"	70	0,74	2,21	2,68
л. б.	"	"	50	0,74	3,58	3,87
п. б.						
Температура воды	ПТС-500	Термометр ТМ-10	85	0,93	-0,30	0,34
Атмосферное давление	МД-49-2	МД-49-2	127	0,99	-0,37	0,62
Ветер						
направление	М-63-М	КИВ	91	0,58	-3,94	19,68
скорость	"	М-92	113	0,91	0,72	1,44
Направление движения судна	Гирокомпас	С репитера	96	0,99	-4,44	3,25
Скорость движения судна	Лог	"	104	0,99	-0,06	0,23

Примечание. л. б. — левый борт, п. б. — правый борт, n — число сравнений, r — коэффициент корреляции, $\bar{x}$ — среднее арифметическое отклонение, σ — среднее квадратическое отклонение

доработки, отмеченные выше. Так, направление и скорость ветра, станция выдает осредненные за 10 мин, а скорость и направление движения судна — мгновенные. В связи с этим, когда судно производит повороты или идет с переменной скоростью, определить точно направление и скорость ветра, используя данные автоматической станции, трудно. Если же судно идет постоянным курсом и с постоянной скоростью, погрешность определения параметров ветра укладывается в приводимые в табл. 1 допуски. Температура воды на борту судна и в дрейфе измерялась датчиками станции в кингстонных камерах, контрольный прибор замерял температуру воды за бортом судна, отсюда и некоторое увеличение погрешностей при определении этого параметра, когда судно находилось в дрейфе. Датчик температуры точки росы работал нестабильно, амплитуда разностей достигала 10°C. На судах ОДО ГОИНа датчик температуры точки росы в связи с его ненадежной работой был заменен датчиком «смоченного» термометра, созданного на основе датчика «сухого» термометра (здесь идет речь не о новом датчике, а о способе смачивания батиста на термометре). Как показали данные сравнительных наблюдений, найден достаточно хороший вариант смачивания. Коэффициент корреляции показаний такого датчика оказался близким к единице ($r=0,98$ и $0,99$).

Из сказанного видно, что на современном этапе автоматизации метеорологических наблюдений станция может измерять примерно 30% метеорологических параметров, входящих в синоптическую телеграмму, остальные 70% определяются визуально или с помощью приборов, не связанных со станцией. Эффективность работы станции при различных условиях ее эксплуатации подробно представлена в работе [3]. Из работы [3] видно, что для получения наибольшего эффекта от работы станции необходимы линия связи метеолaborатория — ЭВМ и установка в метеолaborатории терминала — телетайпа. Отсутствие подобной линии связи не дает возможности всерьез говорить об оперативной эксплуатации станции.

Опытная эксплуатация станции показала, что

— автоматическая станция оказывает существенную помощь гидрометеорологическому отряду в его работе, особенно при ежечасной подаче в эфир оперативных телеграмм;

— датчики станции, за исключением датчика температуры точки росы, работают достаточно надежно и хорошо коррелируют с контрольными приборами;

— станция работоспособна и после некоторой доработки ее узлов может быть использована в оперативной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенков Е. П., Федоров О. М. Автоматизированная система измерения, сбора и обработки гидрометеорологической информации на научно-исследовательских судах ГУГМС (СИГМА-с). — «Тр. АНИИ», 1972, т. 301. с. 5—18.

2. Д ю б к и н И. А. О дистанционной регистрации температуры и влажности воздуха электронным мостом.— «Тр. ААНИИ», 1974, т. 315, с. 162—167.

3. Д ю б к и н И. А., В е р е м е е н к о М. В., К о л к о в а Л. М. Оценка эффективности от внедрения различных методов сбора и первичной обработки метеорологической и актинометрической информации на НИС и НИСП ГУГМС.— Сп. наст. сборник, с. 73—81.

Л. Б. Руднева, Р. Г. Тимановская

К ПРОБЛЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОБЛАЧНОСТЬЮ

В последние годы исключительно важное значение приобретают исследования по проблеме автоматизации сбора, обработки и анализа гидрометеорологической информации. В статье [1] о перспективах развития Гидрометеорологической службы СССР отмечается, что в ближайшие годы планируется механизация всех видов обработки режимных материалов и в основном — автоматизация сбора и распространения оперативной информации в крупных центрах, как же как автоматизация обработки материалов, необходимых для составления численных прогнозов. Развитие методов прогнозирования погоды вызывает необходимость увеличения количества и улучшения качества метеорологической информации на всем земном шаре. Поэтому существенную роль в получении информации из труднодоступных районов суши и океана будут играть автоматические и полуавтоматические станции.

Проблема создания автоматизированной гидрометеорологической системы, подобно описанной в работе [2], требует разработки методов инструментальных измерений тех метеорологических элементов, которые в настоящее время наблюдаются в основном визуально. К таким элементам прежде всего относится облачность.

Трудность автоматизации наблюдений за облачностью состоит в том, что, в отличие от других метеорологических элементов, облачность — это физический процесс, который характеризуется многими параметрами, такими, как, например, температура, влажность, вертикальные движения, фазовое состояние воды, спектр размеров капель, кристаллов льда и т. д.

Автоматизация наблюдений за сложным физическим процессом — довольно трудная задача.

Судя по литературным данным, в последние годы выполнено много работ, затрагивающих вопросы автоматизации наблюдений за облачностью (за отдельными ее характеристиками — количеством на небосводе, линейными размерами, водностью и др.), однако, в целом проблема не решена — по-прежнему наблюдения за облач-

ностью на широкой сети метеорологических станций проводятся визуально. Создавшееся положение обусловлено не только сложностью проблемы, но и тем, что в настоящее время нет достаточно четкого определения задачи автоматизации наблюдений за облачностью. Вследствие этого многие исследователи по-разному понимают и соответственно по-разному решают задачу автоматизации наблюдений за облачностью.

Цель настоящей работы — проанализировать и обобщить опыты исследований, связанных с разработкой автоматических наблюдений за облачностью, сформулировать, как представляется авторам, задачу автоматизации наблюдений за облачностью и наметить пути реализации этой проблемы.

Как уже отмечалось выше, на метеорологических станциях наблюдения за облачностью осуществляются визуально, за исключением небольшого количества станций, на которых в последнее десятилетие наблюдения за облачностью ведутся с помощью метеорологических радиолокаторов.

При визуальных наблюдениях за облачностью наблюдатель дает сведения о количестве и форме облаков. Количество облаков определяется как доля небесной сферы, занятая облаками. Для определения формы облаков наблюдатель использует ряд морфологических признаков, положенных в основу классификации облаков. Согласно современной морфологической классификации, подробно описанной в Атласе облаков [3], облака подразделяются на 10 форм. Каждая из форм облаков имеет ряд видов и разновидностей.

При определении формы облаков наблюдатель оценивает высоту их нижней границы и, таким образом, определяет принадлежность наблюдавшихся форм облаков к тому или иному ярусу, принимает во внимание соотношение вертикальных и горизонтальных размеров облаков, выделяет характерное строение облачности, ее рисунок (гряды, волны, полосы, нити, ячейки и т. д.) и тем самым определяет форму облаков.

Естественно, что человек имеет возможность понять результат такого рода интегрального процесса значительно быстрее, чем комбинация сложных измерительных приборов. С другой стороны, большое разнообразие форм, видов и разновидностей облаков, которое выделяет наблюдатель, не всегда в полном объеме используется в оперативной работе, и очень часто для практических целей достаточно менее детальная классификация. К очевидным недостаткам визуальных наблюдений относится субъективизм в оценке количества облаков и в определении их формы, что во многом зависит от опыта наблюдателя. Кроме того, получить достоверные сведения об облачности в темное время суток визуально практически невозможно.

Спутниковая измерительно-дешифраторная техника не позволяет получать информацию об облачности в полном соответствии с существующей классификацией облаков [3], что вызывает необходимость ее упрощения.

Опыт практического использования телевизионных и инфракрасных снимков, получаемых со спутников [5—9], позволил выявить ряд трудностей в определении количества облаков и характера структуры поля облачности и поставить на повестку дня проблему оптимального сочетания наземных и спутниковых средств метеорологических наблюдений за облачностью [5], что открывает возможность повысить надежность, качество и детальность информации об облачности.

В настоящее время научные исследования, в которых в той или иной мере затрагиваются вопросы объективного определения характеристик облачности и возможности автоматизации наблюдений за облаками с поверхности земли, носят поисковый характер. Опубликованные работы свидетельствуют о разнообразных подходах к решению этой сложной проблемы. Основные направления исследований группируются вокруг оптических и локационных методов обнаружения облаков.

Среди оптических методов обнаружения облаков можно выделить фотографирование небосвода с помощью сферического зеркала [10—13], камерой «рыбий глаз» [14], а также измерения радиации в коротковолновом и длинноволновом участках спектра [15—33].

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки. Фотоснимки небесной сферы, как и телевизионные снимки в случае спутниковых измерений, воспроизводят распределение облачности по небосводу, однако автоматическая регистрация и передача подобной информации представляют собой самостоятельную задачу и требуют разработки автоматических методов дешифрирования снимков.

Визуальный метод обработки снимков не позволяет из-за своей трудоемкости в полном объеме получать информацию об облачности и, как правило, ее используют только для решения некоторых научных задач.

Следует заметить при этом, что задача определения структуры поля облачности по фотографиям небосвода не является столь простой, как это может показаться с первого взгляда. При дешифрировании наземных снимков облачности возникают те же трудности, которые свойственны дешифрированию фотографий облачности со спутников [4, 5, 5—9] и с самолетов [36].

Из опубликованных работ, связанных с постановкой и попытками решения задачи автоматического дешифрирования фотоснимков [36—45], следует, что задача определения формы облачности может быть решена путем применения статистических методов теории обнаружения (распознавание образов).

Так, в работе [40] показано, что статистические характеристики поля яркости изображения зависят от количества и формы облаков и, таким образом, могут служить дешифровочными признаками при распознавании изображений облачности. К таким характеристикам относятся математическое ожидание, дисперсия яркости, математическое ожидание абсолютного значения изменения яркости на

единицу расстояния, повторяемость и математическое ожидание длительности превышения уровня яркости.

Попытки применить статистические методы теории распознавания к наземным фотоснимкам облачности описаны в работе [45]. Для распознавания кучевых, высоко-кучевых и перистых форм облаков в качестве дешифровочных признаков авторы выбрали характеристики распределения расстояний между контурными элементами облаков и на примере 20 фотоснимков «обучающей выборки» получили алгоритмы обучения классификации облаков. Средняя оправдываемость распознавания форм облачности по одному из предложенных алгоритмов составила 87%. Поскольку исходный материал для апробирования методики распознавания форм облачности был получен разными авторами, то естественно, что фотоснимки для каждого типа облачности не представляли собой достаточно однородного материала и вывод авторов о том, что высококучевые облака распознаются хуже, чем перистые, может быть вызван именно этой причиной.

Высокая чувствительность потоков радиации к состоянию облачного неба давно наводит исследователей на мысль об использовании этого свойства приходящего к поверхности земли излучения для определения характеристик облачности.

Опубликованные по этому вопросу работы свидетельствуют о том, что намечилось два пути использования измерений приходящего к поверхности земли излучения для решения проблемы автоматизации наблюдений за облачностью. Первый путь, предложенный Х. Вернером, предполагает решение этой проблемы выявлением связи между измеряемыми интегральными потоками радиации и количеством облаков каждого яруса [33]. Второй путь предполагает получение характеристик облачности по данным непрерывных регистраций потоков излучения с использованием закономерных связей между статистическими характеристиками поля излучения и характеристиками облачности [42]. Как следует из опубликованных работ [20—29], второй путь получения характеристик облачности, по видимому, является более надежным и перспективным.

Действительно, Вернер получил надежные связи между потоками прямой, рассеянной радиации, противоизлучением атмосферы, эффективным излучением и некоторыми характеристиками облачности (количеством и ярусом). Он рекомендует для густой сети актинометрических станций регистрировать эффективное излучение как величину, достаточно надежно связанную с количеством облачности, затем использовать значения эффективного излучения для построения радиационных карт, с помощью которых следует проводить синоптический анализ. Реализация этого метода осложняется тем, что эффективное излучение, кроме облачности, зависит и от других характеристик состояния атмосферы, и в первую очередь от общего влагосодержания и температуры. Эффективное излучение при высоком влагосодержании атмосферы часто «не реагирует» на появление или увеличение облачности, что наблюдается, например, в тропических широтах океана. Кроме того, влияние облачности

на полусферические потоки радиации в пространственном отношении носит интегральный характер, поэтому различать структуру облачности, хотя бы в первом приближении, выделяя слоистую и кучевообразную облачность, очень трудно.

Работа Х. Вернера [33], несмотря на указанные недостатки предлагаемого метода определения облачных характеристик, носит целенаправленный характер и отличается глубоким анализом закономерностей связи полей радиации и облачности и поэтому, несомненно, представляет интерес с точки зрения постановки проблемы автоматизации наблюдений за состоянием облачного неба по потокам радиации. В отличие от его работы, выводы авторов статьи [46] о возможности определения количества облаков, яруса и формы по потокам нисходящего длинноволнового излучения могут привести к ложным представлениям о простоте затронутой проблемы. По утверждению авторов [46], нисходящий поток длинноволнового излучения в условиях сплошной облачности принимает ряд дискретных значений в зависимости от яруса и формы облаков и, таким образом, по значению измеренной радиации можно определить тип облачных образований. Однако в работе не приводятся оценки значений дисперсий потока радиации для различных форм облаков и не описываются закономерности изменения потоков радиации в зависимости от количества облаков. По нашему мнению, представленные в работе [46] сведения о количественных связях потока длинноволновой радиации и облачности носят иллюстративный характер, указывающий на принципиальную возможность использования указанного метода лишь на основе большого объема экспериментального материала.

Как указывалось выше, наиболее перспективен метод определения характеристик облачности по некоторым статистическим характеристикам полей излучения, получаемых на основе непрерывных регистраций потоков радиации в облачных условиях. При этом данный метод применим в случае регистрации как интегральных, так и спектральных потоков излучения.

Поэтому неудивительно, что в последние годы появилось большое количество работ, посвященных изучению пространственной, временной и угловой структуры полей радиации в условиях облачности [22—26, 36, 42—44, 47—48] и определению связей между радиационными и физическими характеристиками облачности [48—54].

Несмотря на то что выполнено много работ, затрагивающих вопросы автоматизации наблюдений за облачностью, следует отметить, что все эти работы скорее имеют иллюстративный характер, чем дают практическое решение проблемы. Это объясняется тем, что многие из авторов указанных работ не ставили задачей своих исследований вопросы автоматизации наблюдений за облачностью, а отмечали некоторые закономерности для решения этой задачи при изучении проблем переноса радиации в облачных условиях.

Тем не менее имеющиеся публикации создают впечатление, что в настоящее время принципиальные трудности данной проблемы практически решены. На самом деле это далеко не так. Если под

автоматизацией наблюдений за облачностью понимать аппаратурные измерения, результаты которых после определенных математических преобразований позволяют получить некие признаки-индикаторы характеристик облачности (количества, формы, линейных размеров и др.), то, учитывая многообразие различных сочетаний облачных систем, встречающихся в природе и частично представленных в Атласе облаков [3], становится очевидным, что проблема эта очень сложная и еще далека от своего решения. По-видимому, наиболее естественный способ преодоления этой трудности состоит в уменьшении количества характеристик облачности, которые должны быть получены на выходе измерительно-вычислительных устройств. Именно такая постановка задачи позволила частично решить проблему автоматизации наблюдений за облачностью радиолокационными методами [63—69].

Так, в настоящее время с помощью радиолокатора МРЛ представляется возможным определять пять форм облачности [1] Ci, Cs, Cc; 2) As, Ac; 3) St, Sc; 4) Ns; 5) Cu med., Cu cong., Cb], высоты верхней и нижней границ ($H_{вг}$, $H_{нг}$) соответственно мощность облачного слоя и частично некоторые данные о микроструктуре облаков. Очевидно, что оснащение массовой наблюдательной сети станций дорогой и сложной аппаратурой, какой являются радиолокаторы типа МРЛ, для определения характеристик облачности не представляется реальным. Поэтому разработка наиболее простых и доступных средств автоматизации наблюдений за облачностью продолжает оставаться актуальной задачей.

Авторы настоящей статьи также занимались вопросами, связанными с проблемой автоматизации наблюдений за облачностью, применяя в своих исследованиях оптические методы обнаружения облаков: фотографирование всего небосвода [15, 24], регистрацию, радиации в коротковолновом и длинноволновом участках спектра [16, 7, 20, 21, 24—27]. В указанных работах была показана принципиальная возможность решения задачи автоматизации наблюдений за облачностью с помощью регистрации потоков излучения и предложены конкретные методы определения некоторых характеристик облачности по данным статистических характеристик пространственной, временной или угловой структур полей радиации.

В частности, в работах [24, 57, 58] изложены конкретные методы определения количества облачности на небосводе (общего количества облаков и количества облаков нижнего яруса), временных и линейных размеров облачных неоднородностей по данным непрерывной регистрации прямой, суммарной радиации и длинноволнового излучения в участке спектра 8—12 мкм.

В основу определения перечисленных характеристик облачности положена плотность вероятности приходящего к поверхности земли излучения $P(G)$, рассчитываемая по данным регистрации этих потоков в течение промежутка времени T либо по данным, полученным путем сканирования в течение этого времени небосвода с помощью узкоугольного приемника излучения.

Апробирование предложенных методов определения количества

облачности на небосводе, временных, угловых и линейных размеров облачных неоднородностей на примере кучевых облаков, проведенное на Звенигородской базе ИФА АН СССР, а также в экспедиции ГРОПЭКС-74, показало высокую оправдываемость этих методов [57, 59].

Анализ функций $P(G)$, полученных для облаков разных ярусов, показал, что по этим функциям наряду с количеством облачности на небосводе представляется возможным определить принадлежность облачности к одному из трех ярусов. Иллюстрацией сказанного является рис. 1, на котором для облаков разных форм представлены плотности вероятности потоков суммарной радиации Q^* и длинноволнового излучения атмосферы $B_{\Delta\lambda}$ в участке спектра

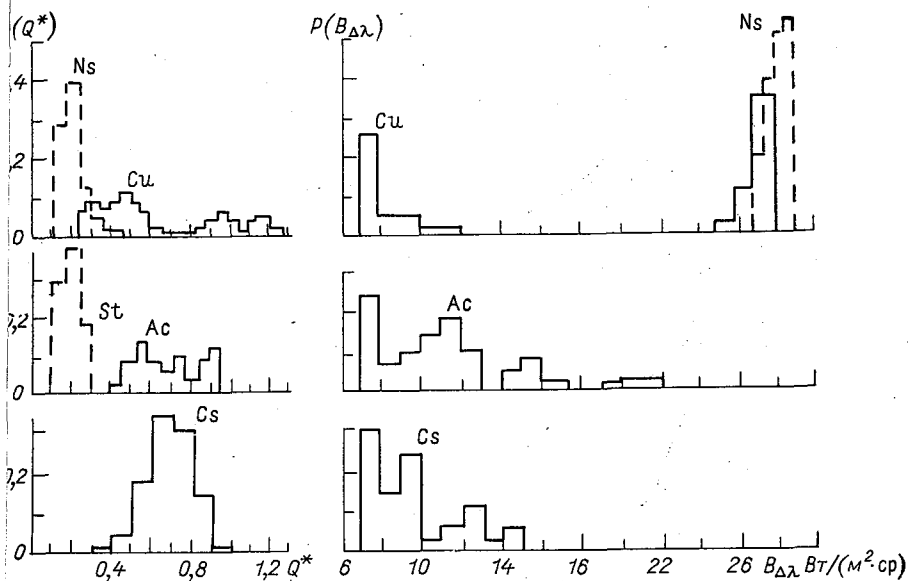


Рис. 1. Оценки плотности вероятности относительных потоков суммарной радиации Q^* и яркости околосенной зоны небосвода $B_{\Delta\lambda}$ в интервале спектра 8—12 мкм для разных условий облачности.

8—12 мкм при измерениях его в околосенной зоне небосвода. Четко проявляется различие в распределении потоков по их величине в разных облачных ситуациях. Так, при сплошной облачности нижнего яруса относительные потоки суммарной радиации группируются около значений 0,1—0,3, в условиях облачности среднего яруса пределы изменчивости относительных потоков суммарной радиации значительно больше и значения Q^* изменяются от 0,5 до 1,0 и, наконец, в случае облачности верхнего яруса относительные потоки суммарной радиации группируются около значений, близких к единице.

Аналогичные закономерности изменения плотности вероятности яркости облаков различных форм [21] наблюдаются при измере-

нии потоков прямой радиации и собственного излучения в участке спектра 8—12 мкм (рис. 1).

Анализируя данные измерений с точки зрения возможности использования функций распределения по величинам потоков излу-

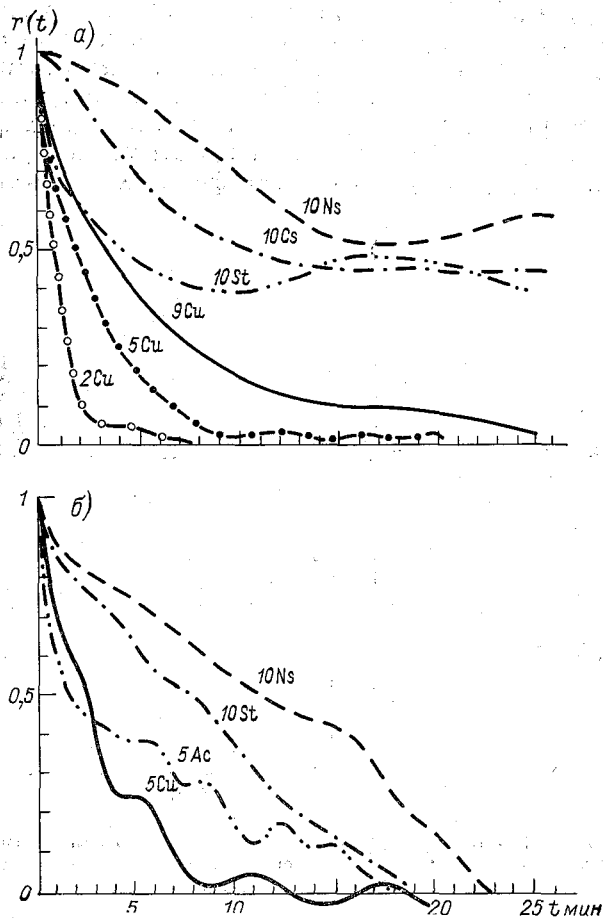


Рис. 2. Временные автокорреляционные функции $r(t)$ относительных потоков суммарной радиации $Q^*(a)$ и яркости околосенитной зоны небосвода в участке спектра 8—12 мкм $B_{\Delta\lambda}(b)$ в разных условиях облачности.

чения или яркости облаков в спектральных диапазонах, можно надеяться, что более обширный материал измерений позволит определить характерный закон распределения потоков излучения (или яркости) для разных видов облачности и использовать его в задаче определения яруса облаков.

Наиболее серьезное практическое осложнение в задаче автоматизации наблюдений за облачностью представляет собой процесс распознавания форм облаков. Исследование возможности объективной параметризации облачных полей по данным о пространственной и временной структуре полей излучения показало, что в качестве индикаторов форм облачности можно использо-

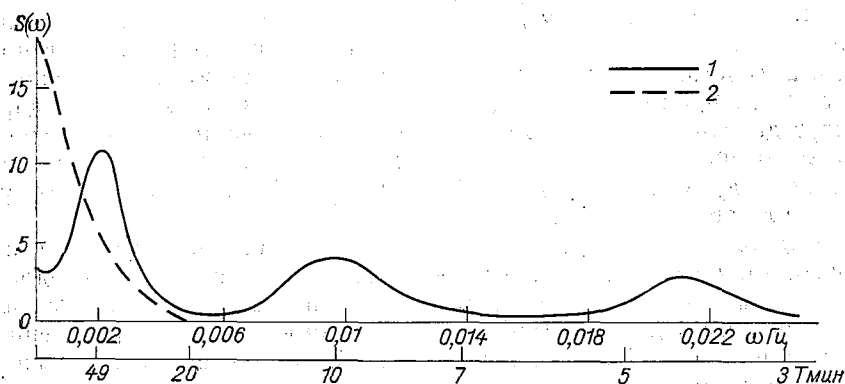


Рис. 3. Оценки спектральной плотности яркости кучевых облаков Cu (1) и слоистых облаков St (2) по данным измерений в спектральном интервале 8—12 мкм.

вать такие статистические характеристики полей излучения, как корреляционные функции $r(t)$ и спектральные плотности $S(\omega)$ [22, 24, 26, 29, 36, 39, 41, 49]. Однако исследование поведения этих функций в пределах одной формы облаков позволило обнаружить их большую изменчивость, а следовательно, только по одним этим характеристикам определить конкретную форму облачности не представляется возможным.

Тем не менее анализ функций $r(t)$ и $S(\omega)$ показал, что они существенно различаются у слоистообразной и кучевообразной облачности (рис. 2, 3). Это дает основание надеяться, что функции $r(t)$ и $S(\omega)$ могут быть использованы в качестве дополнительных признаков, по которым можно определить принадлежность облачности к кучевообразной или слоистообразной форме. Заметим, что это предположение требует дополнительных проработок.

Таким образом, если на первом этапе автоматизации наблюдений за облачностью ограничиться получением таких характеристик, как ее количество на небосводе, распределение временных, угловых или линейных размеров облачных неоднородностей, определить принадлежность к ярусу и группе слоистообразной или кучевообразной облачности, то эта проблема может быть решена и доведена до практического использования с помощью довольно простых и дешевых средств измерения радиационных потоков, какими являются

актинометрические приемники (пиранометры, актинометры) и упрощенные модели ИК радиометров.

Естествен вопрос, какому из применяемых методов измерения отдать предпочтение. Опыт работы показал, что практически нельзя решить проблему автоматизации наблюдений за облачностью с помощью одного измерительного устройства, будет ли это фотоустановка, актинометрический прибор или ИК радиометр, радиолокатор, лидар. Каждое из перечисленных измерительных устройств не является универсальным для определения состояния облачного неба в разных метеорологических ситуациях. Например, фотоустановки и актинометрические приборы дают информацию об облачности в светлое время суток. ИК радиометры, радиолокаторы, лидары могут давать такую информацию и в темное время суток. Однако точно выделять облака верхнего яруса или давать надежные сведения в случае многоярусной облачности ИК радиометры (с углом поля зрения $1-5^\circ$) не могут.

Радиолокаторы выдают информацию об облачности в виде, который также не полностью удовлетворяет синоптиков. Исследования с помощью лидаров начались сравнительно недавно, поэтому по имеющимся данным [60] сейчас трудно высказать определенное суждение о возможности решения проблемы автоматизации лишь этим методом.

Отсюда вытекает, что наиболее перспективным с точки зрения практического решения поставленной проблемы является комплексный подход к измерительно-вычислительным устройствам, способным заменить оператора-наблюдателя при получении метеоинформации об облачности.

Наиболее полные возможности такого комплексирования в настоящее время представляются на научно-исследовательских судах ГУГМС I и II ранга, на которых выполняется комплекс метеорологических, аэрологических и актинометрических наблюдений и которые сейчас оснащаются метеорологическими радиолокаторами и современной вычислительной техникой.

Решение проблемы создания автоматизированной вычислительной информационно-поисковой управляющей системы (АВИПУС), поставленной в [2], упрощает и решение проблемы автоматизации наблюдений за облачностью на судах.

Итак, резюмируя сказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Для решения проблемы автоматизации наблюдений за облачностью необходимо ограничиться менее детальной классификацией облаков по сравнению с той, которая принята для визуальных наблюдений [62] и обсуждается в работе [4]. На первом этапе автоматизации можно получить информацию о количестве облаков определенного яруса, принадлежности их к слоистообразной или кучевообразной облачности. При таком подходе эта проблема может быть решена.

2. Техническое решение задачи автоматизации наблюдений за облачностью наиболее перспективно с точки зрения создания комп-

лекса измерительной аппаратуры. Наибольшие возможности для этого в настоящее время имеются на судах ГУГМС.

3. Выполненные разработки по инструментальному определению количества облачности на небосводе, временных, линейных и угловых размеров облачных неоднородностей [15, 24] уже сейчас могут быть успешно использованы в научно-исследовательской работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров Е. К. Перспективы развития Гидрометеорологической службы СССР.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 6, с. 3—14.
2. Дюбкин И. А., Зудин О. С. Автоматизированная вычислительная информационно-поисковая управляющая система на НИС и НИСП ГУГМС. См. наст. сборник, с. 3—15.
3. Атлас облаков. Л., Гидрометеиздат, 1957.
4. Кричак О. Г. О генетической классификации облаков.— «Метеорология и гидрология», 1952, № 7, с. 23—24.
5. Ветлов И. П. Некоторые результаты сопоставления спутниковых и наземных наблюдений облачности.— «Тр. ММЦ», 1965, вып. 8, с. 29—36.
6. Минина Л. С. Практика нефалализа. Л., Гидрометеиздат, 1970. 336 с.
7. Кондратьев К. Я., Борисенков Е. П., Морозкин А. А. Практическое использование метеорологических спутников. Л., Гидрометеиздат, 1966. 376 с.
8. Сонечкин Д. М. О дешифрировании телевизионных изображений облачности, полученных с искусственных спутников.— «Метеорология и гидрология», 1962, № 9, с. 30—32.
9. Соловьева И. С., Сонечкин Д. М. Эксперименты по телевизионной съемке земли со спутника «Молния-1».— «Тр. ГМЦ», 1968, вып. 30, с. 50—60.
10. Davis T. N., Elvey C. T. Construction of an All-sky Camera.— «Geophysics; Research Report», 1955, N 2, October p. 25—31.
11. Бибикина Т. Н. Опыт наблюдения облаков фотографическим методом с помощью сферического зеркала.— «Вестник МГУ», 1960, № 2, с. 5—11.
12. Arx. Synoptic photography.— «Weather», XIII, N 6, 1958, p. 179—197.
13. Okolowicz W., Lenart W., Metoda zdjec catégé nieba w badaniach zachmurzenia. Prace panatwowego institutu hydrologiezno-meteorologicznego, Zesz. 100. Warszawa, Liter 7. 1970. p. 127—134.
14. Larry O. e. a. Sky Cover Photograms. A New Technique.— «Weather-wise», vol. 19, 1966, N 5, p. 198—203.
15. Тимановская Р. Г., Фейгельсон Б. М. Некоторые параметры кучевых облаков, полученные по фотографиям небесного свода и из наземных актинометрических измерений.— В кн.: Теплообмен в атмосфере. М., «Наука», 1972, с. 107—112.
16. Кондратьев К. Я. Актинометрия. Л., Гидрометеиздат, 1965. 690 с.
17. 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, с. 457—462.
18. Фейгельсон Е. М. Радиационные процессы в слоистообразных облаках. М., «Наука», 1964. 229 с.
19. Гойса Н. И., Шошин В. М. Экспериментальные исследования потоков солнечной радиации в нижней тропосфере при облаках St и Sc.— В кн.: Теплообмен в атмосфере. М., «Наука», 1972, с. 60—71.
20. Пылдмаа В. К., Тимановская Р. Г. Суммарная радиация у поверхности земли в различных условиях облачности.— В кн.: Теплообмен в атмосфере. М., «Наука», 1972, с. 101—106.
21. Тимановская Р. Г. Статистическая структура потоков прямой и суммарной радиации у поверхности земли при кучевой облачности.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 297, с. 142—155.

22. Стохастическая структура полей облачности и радиации. Отв. ред. Ю.—А. Р. Мулламаа. Тарту, Изд. Ин-та физ. и астр. АН ЭССР, 1972, 281 с.
23. Облачность и радиация. Тарту, Изд. Ин-та физ. и астр. АН ЭССР, 1975, 251 с.
24. Касаткина О. И. и др. К вопросу об объективном определении характеристик облачности.—«Метеорология и гидрология», 1972, № 8, с. 23—29.
25. Касаткина О. И., Красильщиков Л. Б., Руднева Л. Б. Экспериментальное исследование излучения облаков области 8—12 мкм.—«Тр. ГГО» 1972, вып. 275, с. 85—91.
26. Руднева Л. Б. К вопросу разработки метода объективной идентификации облачности на основе изучения статистической структуры излучения облачного неба.—В кн.: Радиационные процессы в атмосфере и на земной поверхности. Материалы 9-го Всесоюзного совещания по актинометрии 10—13 окт. 1972 г., Киев Л., Гидрометеиздат, 1974, с. 117—118.
27. Руднева Л. Б. Определение характеристик облачности по результатам измерений собственного излучения облаков в окне прозрачности 8—12 мкм.—«Тр. ГГО», 1975, вып. 345, с. 21—24.
28. Городецкий А. К., Филиппов Г. Ф. Наземные измерения излучения атмосферы и подстилающей поверхности в области спектра 8—12 мкм.—«Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1968, т. 4, № 2, с. 228—232.
29. Аллепов М. И., Шуба Ю. А. Исследование структуры излучения облаков в диапазоне 8—13 мкм с помощью быстрогодействующего радиометра-пиранометра.—«Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1971, т. 7, № 9, с. 956—962.
30. Белич Р. Б. и др. Излучение безоблачной атмосферы и облачности в интервале 8—12 мкм.—«Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1976, т. 12, № 1, с. 29—38.
31. Теплообмен в атмосфере. Отв. ред. Е. М. Фейгельсон, Л. Р. Цванг. М., «Наука», 1972, 148 с.
32. Wörner H. Zur Frage automatisierbarkeit der Bewölkungsangaben durch Verwendung von Strahlungsgrößen.—«Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR», 1967, Bd. XI, N 82, S. 5—32.
33. Werner Chr. Automatic cloud cover indicator system.—«J. Appl. Meteorol.», 1973, vol. 12, N 8, p. 1394—1400.
34. Найшуллер М. Г., Сонечкин Д. М., Яковлева Т. А. Анализ облачности по данным ИК съемки Земли со спутников экспериментальной системы «Метеор».—«Метеорология и гидрология», 1968, № 11, с. 21—29.
35. Домбковская Е. П. Интерпретация инфракрасных снимков облачности, полученных со спутника «Космос-122».—«Метеорология и гидрология», 1968, № 5, с. 3—11.
36. Исследование оптических свойств природных объектов и их аэрофотографического изображения. Отв. ред. Д. А. Япутш, Ю. К. Юцевич. Л., «Наука», 1970, 167 с.
37. Соловьева И. С., Сонечкин Д. М., Харитонов В. Ф. Обработка и анализ телевизионных изображений облачности на ЭВМ.—«Тр. ГМЦ», 1971, вып. 73, с. 64—74.
38. Фридман Ю. С. Математическая обработка телевизионных изображений облачного покрова Земли.—«Тр. ГГО», 1967, вып. 203, с. 35—48.
39. Мазина Л. Г. и др. Машинный анализ инфракрасных изображений облачности, полученных со спутника «Космос-122».—«Тр. ГМЦ», 1968, вып. 20, с. 64—71.
40. Сонечкин Д. М. Объективные методы диагноза облачности.—«Тр. ГМЦ», 1968, вып. 30, с. 39—49.
41. Сонечкин Д. М. Об объективной классификации метеорологических явлений и ситуаций с помощью ЭВМ.—«Метеорология и гидрология», 1968, № 5, с. 12—21.
42. Малкевич М. С., Монин А. С., Розенберг Г. В. Пространственная структура поля излучения как источник метеорологической информации.—«Изв. АН СССР. Сер. геофиз.», 1964, № 3, с. 394—407.

43. Истомина Л. Г. Определение статистических характеристик пространственной структуры облачных полей по аэрофотографиям.— «Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1966, т. 2, № 3, с. 263—271.

44. Истомина Л. Г., Козлов Е. М. О двумерной пространственной структуре яркости облачных полей.— «Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1968, т. 4, № 7, с. 628—632.

45. Горьян И. С. и др. Об автоматическом распознавании форм облачности.— «Метеорология и гидрология», 1970, № 9, с. 22—27.

46. Зайцева Н. А., Кравченко И. М., Шляхов В. И. Длинноволновая радиация — индикатор синоптической эволюции.— «Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1975, т. 11, № 1, с. 83—86.

47. Зайцева Н. А., Костяной Г. Н., Шляхов В. И. Пространственно-временные характеристики поля длинноволновой радиации в свободной атмосфере.— «Метеорология и гидрология», 1974, № 4, с. 67—75.

48. Фурман А. И. Некоторые пространственные характеристики полей кучевых облаков и надежность их определения с земли.— «Метеорология и гидрология», 1974, № 7, с. 28—33.

49. Малкевич М. А. Оптические исследования атмосферы со спутников. М., «Наука», 1973. 302 с.

50. Zdunkowski W. G., Choronenko I. Incomplete blackness of clouds in the infrared spectrum.— «Beitr. Phys. Atmosp.», 1969, Bd. 42, S. 206—223.

51. Platt C. M. R. Infrared emissivity of cirrus simultaneous satellite, lidar and radiometric observations.— «Quart. J. Roy. Meteorol. Sec.», 1975, vol. 101, N 427, p. 119—126.

52. Bauer E. Die Streuung der Infrarotstrahlung durch Wolcken.— «Appl. Opt.», 1964, N 3, p. 197—202.

53. Plass G. N. Radiative transfer in water and ice clouds in the visible and infrared region.— «Appl. Opt.», 1971, N 10, p. 738—748.

54. Allen J. R. Measurements of Cloud emissivity in the 8—13 mkm waveband.— «J. of Appl. Met.», 1971, vol. 10, N 2, p. 260—265.

55. Platt C. M. R. Lidar and radiometric observations of cirrus clouds.— «J. of Atm. Sci.», 1973, vol. 30, p. 1191—1204.

56. Werner Chr. Gerät zur automatischen Bestimmung des Bedeckungsgrades.— «Ann. Meteorol. Neue Folg.», 1973, N 6, S. 321—323.

57. Тимановская Р. Г., Тимановский Д. Ф. Определение количества облаков по непрерывным регистрациям прямой радиации.— «Тр. ГГО», 1975, вып. 345, с. 8—13.

58. Тимановская Р. Г., Руднева Л. Б. Описание состояния облачного неба по данным регистраций потоков излучения.— «Тр. ГГО», 1975, вып. 345, с. 13—21.

59. Абрамов Р. В. и др. Конвективные облака в экваториальной Атлантике по данным инструментальных и визуальных наблюдений.— В кн.: ТРОПЭКС-72, Л., Гидрометеоздат, 1975, с. 125—131.

60. Васильев В. В., Степаненко В. Д. Возможности определения некоторых характеристик облачности с помощью лидаров.— «Тр. ГГО», 1975, вып. 328, с. 3—13.

61. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., Гидрометеоздат, 1971. 370 с.

62. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеоздат, 1969. 306 с.

63. Котов Н. Ф. Радиолокационные характеристики ливней и гроз.— «Тр. ГГО», 1960, вып. 102, с. 63—93.

64. Гашина С. Б., Сальман Е. М. Статистические особенности радиолокационных характеристик конвективных облаков в разных физико-географических условиях.— «Тр. ГГО», 1969, вып. 243, с. 12—16.

65. Гашина С. Б. и др. Радиолокационные характеристики зимних облаков.— «Тр. ГГО», 1968, вып. 231, с. 29—37.

66. Игнатова Р. В., Петрушевский В. А., Сальман Е. М. Радиолокационные признаки характера облачности.— «Тр. ГГО», 1963, вып. 173, с. 26—34.

67. Игнатова Р. В., Романов М. А. Определение характеристик облаков по радиолокационным данным.— «Тр. ГГО», 1967, вып. 217, с. 40—46.
68. Сальман Е. М., Гашина С. Б. Применение методов статистического распознавания и задача радиолокационной классификации облаков.— «Тр. ГГО» 1971, вып. 261, с. 20—29.

И. А. Дюбкин

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Техническая реконструкция гидрометеорологической службы СССР постоянно углубляется. Создаются новые измерительные комплексы, совершенствуются методы машинной обработки научной информации [1, 2, 3, 4]. В оперативную практику внедряются методы получения и первичной обработки информации, дающие определенную эффективность.

В последние годы большое внимание уделяется оценке эффективности различных сторон деятельности подразделений ГУГМС [5, 6, 7]. При этом в основном делается попытка получить эффективность в виде чистой экономической прибыли, т. е. в рублях. В условиях гидрометеорологической службы это не всегда возможно и не всегда дает полную характеристику деятельности данного подразделения. В связи с этим представляется целесообразным рассматривать следующие аспекты общей эффективности:

- материальный выигрыш в рублях, одной из составных частей которого является повышение производительности труда;
- улучшение гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства;
- сокращение сроков между получением информации и ее использованием в оперативных научных целях;
- общий технический прогресс;
- возможность решения научных задач, которые раньше не могли быть решены;
- исключение субъективного влияния человека на качество информации;
- получение новых сведений о процессах происходящих в атмосфере и океане.

Таким образом, при автоматизации различных процессов, связанных с деятельностью сети станций и НИИ ГУГМС, основная эффективность получается не непосредственно, а косвенно.

Указанные составные части общей эффективности научно-исследовательских работ могут использоваться для характеристики деятельности подразделений ГУГМС как в комплексе, так и каждая в отдельности.

В данной работе предлагается один из возможных методов оценки одной из составных частей эффективности — изменения производительности труда специалистов-гидрометеорологов на сети станций при внедрении автоматизированных методов получения и первичной обработки научной информации.

На основании имеющегося опыта работ по автоматизации указанных процессов представляется возможным утверждать, что в настоящее время наиболее существенный эффект от внедрения новых методов получения и первичной обработки научной информации можно получить именно в плане повышения производительности труда [8, 10].

Для оценки эффективности в плане изменения производительности труда наблюдателя от внедрения автоматизированных методов получения и первичной обработки научной информации введем некоторый коэффициент A_{ca} , характеризующий соотношение времени, затраченного на выполнение заданного объема работ по получению и первичной обработке гидрометеорологической информации в условиях ручного труда, и времени, затраченного на получение и обработку этого же объема работ в условиях автоматизации этих процессов.

Физическую сущность и методику расчета указанного коэффициента изложим на примере работы гидрометеорологической станции.

Полный объем работы специалистов-гидрометеорологов на сети станций можно разбить на элементарные операции a , образующие множество $M = (a_1, a_2, \dots, a_n)$. При этом в множестве M выделим пять подмножеств, элементы a которых характеризуют следующие виды работ на станции:

вспомогательные работы

$$X_1 = \{a_i\}, i = \overline{1, I},$$

процесс получения информации

$$X_2 = \{a_j\}, j = \overline{1, J},$$

обслуживание аппаратуры

$$X_3 = \{a_k\}, k = \overline{1, K},$$

процесс первичной обработки информации

$$X_4 = \{a_l\}, l = \overline{1, L},$$

информационную работу

$$X_5 = \{a_p\}, p = \overline{1, P}.$$

До настоящего времени на большинстве гидрометеорологических станций практически все операции $a \in M$ выполняются вручную.

По мере внедрения автоматизированных методов получения и первичной обработки информации в каждом из пяти подмножеств число операций a постоянно будет изменяться на некоторые вели-

ины Δ : ΔJ , ΔJ , ΔK , ΔL и ΔP , причем операции, выполняемые вручную, будут постоянно исключаться. Лишь подмножество X_3 будет включать некоторое дополнительное подмножество $z \in X_3$, появление которого обуславливается тем, что более сложные измерительные комплексы требуют больших затрат времени на профилактику и ремонт аппаратуры. Кроме того, в результате внедрения новых методов в практику наблюдений и обработки данных появляется новое подмножество $W = \{W_d, b, h, v, u\}$, связанное с обслуживанием ЭВМ, подготовкой информации для ввода в ЭВМ и т. д. На первых этапах автоматизации в множестве W можно выделить пять подмножеств Y_q ($q=1,5$), операции которых характеризуют следующий комплекс работ, возникающий в связи с внедрением автоматизированных методов получения и первичной обработки научной информации:

$$Y_1 = \{W_d\}, \quad d = \overline{1D}$$

— подготовка и перфорация результатов измерений в условиях отсутствия автоматических измерительных комплексов, обеспечивающих занесение информации на технический носитель в виде, удобном для ввода в ЭВМ (выполняется вручную или на полуавтоматах);

$$Y_2 = \{W_b\}, \quad b = \overline{1B}$$

— визуальная проверка и исправление перфорации на станциях;

$$Y_3 = \{W_h\}, \quad h = \overline{1H}$$

— визуальная и машинная проверка и исправление перфоленты в вычислительном центре;

$$Y_4 = \{W_v\}, \quad v = \overline{1V}$$

— работа оператора ЭВМ, обеспечивающего прохождение информации через ЭВМ и техническое обслуживание ЭВМ;

$$Y_5 = \{W_u\}, \quad u = \overline{1U}$$

— комплекс работ, связанный с сохранением и воспроизведением информации на долговременном носителе (ДНИ).

Учитывая сказанное, коэффициент A_{ca} представим в виде

$$A_{ca} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (1)$$

где

$$T_1 = \sum_{i=1}^I t_i + \sum_{j=1}^J t_j + \sum_{k=1}^K t_k + \sum_{l=1}^L t_l + \sum_{p=1}^P t_p \quad (2)$$

— суммарное время, затрачиваемое на выполнение операций $a \in M$ при ручном способе наблюдений и обработки, t, j, k, l, p — время, затрачиваемое на выполнение операций a подмножеств X_m , $X_m = \overline{1,5}$;

$$T_2 = \sum_{i=1}^{I-\Delta I} t_i + \sum_{j=1}^{J-\Delta J} t_j + \sum_{k=1}^{K+\Delta K} t_k + \sum_{l=1}^{L-\Delta L} t_l + \sum_{p=1}^{P-\Delta P} t_p + \sum_{q=1}^Q t_q \quad (3)$$

— суммарное время, необходимое на выполнение операций a подмножеств множества M , оставшихся после внедрения новых (автоматизированных) методов работы: первые пять слагаемых характеризуют суммарное время, необходимое на выполнение оставшихся операций после внедрения новых методов работы; $\sum_{q=1}^Q t_q$ — суммарное время, необходимое на выполнение операций $w \in W$; t_q — время, необходимое на выполнение операций подмножеств V_{qj} ; $X_q = 1,5$ х.

Из анализа выражения (1) следует, что внедрение новых методов работы при заданном объеме работ целесообразно при условии

$$T_1 > T_2,$$

т. е. $A_{ca} > 0$.

Из соотношения (1) также следует, что коэффициент A_{ca} может изменяться в пределах $-C < A_{ca} \leq 1$.

Очевидно, в рассматриваемом плане значения $A_{ca} < 0$ не имеют смысла.

Таким образом, методы автоматизации процессов получения и первичной информации могут считаться эффективными лишь при условии $0 < A_{ca} \leq 1$.

Верхнего предела значение A_{ca} достигает при $T_2 \approx 0$.

Очевидно, такое положение практически не будет достигнуто даже при наличии совершенных автоматизированных измерительных комплексов и методов машинной обработки информации, так как какая-то доля ручного труда всегда остается. Действительно, в ближайшее десятилетие может произойти следующее:

— в основном операции $a \in X_1$ сохраняться, тогда

$$\sum_{i=1}^I t_i \approx \sum_{i=1}^{I-\Delta I} t_i;$$

— в подмножестве X_2 в какой-то мере длительное время сохраняться операции, связанные с профилактикой и градуировкой датчиков, а также с поверочными и сравнительными измерениями; следовательно,

$$\sum_{j=1}^J t_j \rightarrow \sum_{j=1}^{J-\Delta J} t_j \neq 0;$$

— в связи с внедрением более сложных измерительных комплексов число операций X_3 , необходимых для обслуживания аппаратуры, будет возрастать, т. е.

$$\sum_{k=1}^K t_k < \sum_{k=1}^{K+\Delta K} t_k;$$

— из исходного множества M на гидрометеорологической станции в большей степени могут быть автоматизированы операции подмножеств X_4 и X_5 , т. е.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{l=1}^L t_l &\rightarrow \sum_{l=1}^{L-\Delta L} t_l \rightarrow \varepsilon_1; \\ \sum_{p=1}^P t_p &\rightarrow \sum_{p=1}^{P-\Delta P} t_p \rightarrow \varepsilon_2. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Из соотношения (4) следует, что и в этом случае некоторая доля ученого труда (ε_1 и ε_2) останется. Это обусловлено тем, что участие человека всегда будет необходимо для совершенствования алгоритмов первичной обработки, контроля и распространения научной информации.

Последнее слагаемое в выражении (3) состоит из пяти составляющих, характеризующих затраты времени на выполнение операций $w \in W$, которые возникают в связи с вводом в практику автоматизированных методов получения и обработки научной информации.

Из сказанного следует, что в выражении (1) переменной является величина T_2 , которая стремится (даже на завершающем этапе автоматизации) к некоторому значению $C_1 \neq 0$.

В пределе значение C_1 будет характеризоваться временем, необходимым на выполнение вспомогательных операций ($a_i \in X_1$), градуировки и проведение сравнительных наблюдений ($a_j \in X_2$), обслуживание измерительной аппаратуры ($a_k \in X_3$), техническое обслуживание ЭВМ ($w_v \in Y_4$) и операций, обеспечивающих работу справочно-информационного фонда (СИФ), т. е. $w_4 \in Y_5$.

Таким образом, в ближайшее десятилетие представляется возможным автоматизировать часть операций $a \in M$ и $w \in W$, которые принадлежат подмножествам $X_m (m=4,5)$ и $Y_q (q=1,3)$. При этом остающиеся и вновь возникающие операции во множествах M и W будут распределяться между гидрометеорологическими станциями и вычислительными центрами.

В связи с этим необходимо отметить, что при оценке эффективности работ по автоматизации должен рассматриваться полный комплекс исследований, связанный с получением, обработкой, контролем, анализом, хранением и распределением научной информации [1, 5—9]. В противном случае может сложиться ложное представление, что внедрение некоторого измерительного или программного комплекса полностью автоматизирует операции, выполняемые специалистами. Для решения поставленной задачи необходимо анализировать автоматизированную систему в целом (все ее звенья), учитывая, что при внедрении автоматизированных методов получения и первичной обработки информации одни операции исключаются, другие появляются.

Методику расчета коэффициента автоматизации проиллюстрируем на примере анализа работ наблюдателя-актинометриста в условиях ручного труда и частичной его автоматизации ($t' \in T_2$).

Некоторый объем работы наблюдателя-актинометриста представим в виде элементарных операций a (табл. 1). Рассмотрим время, затрачиваемое на их выполнение наблюдателем в условиях руч-

Динамика степени автоматизации процессов получения и первичной обработки актинометрической информации

Номер операции a	Перечень некоторых элементарных операций a , образующих множество M	Под-множество	$t \in T_1$ ч				$t_2 \in T_2$ ч				$t_{\text{пр}}$ при внедрении системы, ч	
			1967	1970	1971	1972	1973	1975	полуавтоматической	автоматической		
1	Профилактика приборов на площадке . . .	X_1	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
2	Производство четырех сроков наблюдений	X_2	720	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Сравнительные наблюдения (30 сроков за месяц)	X_2	—	180	180	180	180	120	120	120	120	120
4	Градуировка всех рабочих приборов	X_2	140	140	140	140	140	140	80	80	80	80
5	Уход за регистрирующими приборами . . .	X_3	250	350	350	350	400	400	400	400	600	600
6	Обработка данных градуировок	X_4	140	140	140	140	140	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ
7	Проверка книжек КМ-12 и книжек градуировок	X_4	276	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Обработка срочных наблюдений в книжке КМ-12	X_4	360	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	Составление таблиц ТМ-12 по четырем срокам наблюдений	X_4	104	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	Составление графиков и таблиц для обработки лент ЭПП-09	X_4	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	Обработка лент ЭПП-09 (5 элементов) . . .	X_4	216	144	—	—	—	—	—	—	—	—
12	Обработка сравнительных наблюдений . . .	X_4	—	90	90	90	90	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ

13	Составление таблиц ТМ-12 с лент ЭПП-09	X_4	—	180	180	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ
14	Копировка и считка таблиц ТМ-12	X_4	108	108	108	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ
15	Шифровка таблиц ТМ-12	X_4	24	24	24	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ
16	Составление таблиц ТМ-13, подсчет, копировка, считка	X_4	694	482	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ
17	Подсчет таблиц ТМ-12	X_4	36	36	36	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ
18	Критический контроль таблиц ТМ-12	X_4	84	84	84	60	40	ЭВМ ≥ 10	ЭВМ + 10
19	Анализ радиационных потоков по данным таблиц ТМ-13	X_4	76	76	76	76	60	ЭВМ + 20	ЭВМ + 20
20	Подготовка лент ЭПП-09 к перфорации и перфорация	Y_1	—	—	200	200	200	200	—
21	Проверка перфолент на станции	Y_2	—	—	84	84	84	84	—
22	Проверка перфолент и получение таблиц в вычислительном центре, обслуживание ЭВМ	Y_3 Y_4	—	—	100	100	100	50	50
23	Комплекс работ, связанный с созданием и воспроизводством информации на ДНИ	Y_5	—	—	—	—	100	100	100
	Сумма за год		3292	2074	1832	1534	1284	1104	1020
	Коэффициент A_{ca}		0,37	0,44	0,44	0,53	0,62	0,67	0,69

Примечание. Буквы ЭВМ указывают на то, что данная операция выполняется на ЭВМ; ЭВМ + 10 и ЭВМ + 20 — на то, что данная операция выполняется на ЭВМ, но дополнительно требуется 10 и 20 ч ручного труда.

ного труда, и проследим за динамикой его изменения в условиях постепенного наращивания автоматизации труда наблюдателя.

В табл. 1 приводятся экспериментальные данные о затратах времени на выполнение операций a , полученные в научно-методическом отделе ААНИИ при внедрении полуавтоматической актинометрической системы на советских антарктических станциях в период 1968—1973 гг. В качестве оценок $t_1 \in T_1$ приняты затраты времени на получение и обработку актинометрической информации на одной советской актинометрической станции за год, когда практически все операции a выполнялись вручную. В этот период на выполнение всего объема работ требовалось 3292 чел/ч.

В результате изменения методики обработки (отмена операций a_2, a_{7-10} и введение операций a_{12} и a_{13}) в 1970 г. коэффициент A_{ca} оказался равным 0,37.

Внедрение полуавтоматов для перфорации данных с диаграммных лент самописцев и их машинной обработки отразилось на значении коэффициента A_{ca} : от 0,44 в 1971 г. он возрос до 0,67 в 1975 г.

Следовательно, увеличение коэффициента A_{ca} указывает на степень уменьшения суммарного времени, необходимого на выполнение определенного объема работ, по отношению к исходному значению T_1 за счет исключения части ручного труда. Очевидно, что величина $1 - A_{ca}$ — оставшаяся часть ручного труда.

Из сказанного следует, что физическую сущность этого коэффициента можно интерпретировать как коэффициент степени автоматизации анализируемого процесса. По значению коэффициента степени автоматизации можно оценивать эффективность внедрения новых методов работы как в плане повышения производительности труда, так и в плане материального выигрыша в рублях.

Заметим, что наличие таблиц, аналогичных табл. 1, позволяет не только оценивать значение коэффициента степени автоматизации A_{ca} , но и решать задачи, связанные с планированием исследований по рассматриваемым вопросам.

Для примера рассмотрим две из этих задач.

Первая задача — выбор оптимального плана, выполнение которого обеспечит получение наибольшего экономического эффекта при ограниченном числе исполнителей. В этом случае табл. 1 можно рассматривать как пример поэтапного внедрения отдельных блоков разрабатываемой автоматизированной системы, в результате которого извлекается существенный эффект в процессе создания и совершенствования указанной системы. При этом имеется возможность постоянно наращивать, а также прогнозировать (планировать) степень автоматизации данного процесса с учетом имеющихся у разработчика возможностей.

Проанализируем данные табл. 1 с точки зрения сложности перевода на ЭВМ выполнения операций $a \in M$ и трудоемкости их выполнения вручную. В 1967 г. на советской антарктической станции наблюдателям-актинометристам требовалось 2394 ч на выполнение технических операций, которые сравнительно просто могли быть

автоматизированы путем видоизменения процессов получения обработки информации. Это операции $a_2 \in X_2$ и $a_{7-11, 16} \in X_4$.

В то же время операции $a_{18, 19} \in X_4$ в 1969—1971 гг. не могли быть полностью автоматизированы, так как для этого были необходимы специальные научные исследования с целью отработки алгоритмов критического контроля и получения соответствующих численных критериев. На выполнение этих операций квалифицированным специалистом тратится около 160 ч творческого труда в год (из 3292 ч).

Учитывая сказанное, в плане работ по автоматизации актинометрического комплекса в первую очередь включались операции $a_2 \in X_2$ и $a_{7-11} \in X_4$. В результате выполнения первоначального плана было сокращено до 37% ручного труда наблюдателя ($A_{ca}=0,37$) без существенных материальных затрат за счет внедрения выпускаемого промышленностью потенциометра ЭПП-09 и изменения методики получения и обработки информации, отмены срочных наблюдений на площадке и т. д. Затем планировалась автоматизация операций $a_{11, 16} \in X_4$ и $a_{13-14} \in X_4$, что привело к увеличению значения коэффициента A_{ca} . Одновременно проводилась подготовка к переходу на ЭВМ и более сложных логических операций $a_{17, 18} \in X_4$, которые частично будут автоматизированы в 1976 г. Следовательно, можно ожидать в 1976 г. увеличения коэффициента степени автоматизации до 0,65. Однако, в связи с тем что появляется необходимость в развитии справочно-информационного фонда (СИФ), для чего ориентировочно потребуется около 100 ч на переработку информации одной станции в год, значение коэффициента A_{ca} увеличится лишь до 0,62. Отсюда следует, что при планировании работ по автоматизации гидрометеонаблюдений расчет коэффициента A_{ca} позволяет четко выделить те операции, автоматизация которых дает наибольший экономический эффект. А это в свою очередь позволит наиболее рационально распределить усилия между исполнителями.

Вторая задача — прогнозирование значения коэффициента степени автоматизации и оценка генеральной стратегии развития работ по созданию автоматизированной гидрометеорологической системы.

Из данных табл. 1 видно, что уже в настоящее время представляется возможным оценить эффект, который можно получить в плане повышения производительности труда при полном внедрении простых полуавтоматических и сложных автоматических комплексов получения и первичной обработки научной информации.

Проанализируем данные табл. 1 с указанной точки зрения. Значения $t_{пр}$ в двух последних графах являются прогностическими для полуавтоматических и автоматических систем получения и первичной обработки актинометрической информации на завершающем этапе их создания. Приведенные в них значения $t_{пр}$ получены на основании анализа существующего состояния автоматизации сети гидрометеорологических станций [1, 8, 10] и тенденции развития этих работ в ближайшее десятилетие.

Время на выполнение операций $a_1 \in X_1$, $a_{3,4} \in X_2$ в настоящий период практически не зависит от степени автоматизации в целом и зависит лишь от надежности работы датчиков. Более того, при наличии сложных автоматических измерительных комплексов время, требуемое на выполнение операций $a_{15} \in X_3$, будет существенно больше, чем для более простых полуавтоматических комплексов. Автоматизация процесса первичной обработки не требует полной автоматизации процесса получения научной информации. Для этих целей достаточно дистанционной регистрации гидрометеорологических элементов при помощи серийно выпускаемых электронных мостов и потенциометров. В этом случае макеты занесения данных вручную или при помощи полуавтоматов должны быть близки к макетам автоматических комплексов.

Из сказанного следует, что при внедрении автоматических измерительных комплексов, обеспечивающих автоматическое занесение данных на технический носитель в виде, удобном для непосредственного ввода в ЭВМ, упраздняется лишь одна операция $\omega_{20} \in Y_1$, присущая полуавтоматическим системам. В то же время увеличивается время на выполнение операции $a_5 \in X_3$. Возможно некоторое сокращение времени на выполнение операций $\omega_{20} \in Y_2$ при наличии автоматических комплексов, но это вопрос спорный. При недостаточности надежных автоматических измерительных комплексов это время может увеличиться, а не уменьшиться. Операция ручной или полуавтоматической перфорации данных ($\omega_{20} \in Y_1$) присуща только полуавтоматическим системам, а значительное увеличение времени на обслуживание аппаратуры ($a_5 \in X_3$) и потребность в специалистах с более высокой технической подготовкой присущи автоматическим системам.

Степень преимущества полностью автоматических систем перед полуавтоматическими, являющимися моделью автоматических систем, будет зависеть лишь от баланса двух факторов: от упразднения ручной перфорации и увеличения сложности аппаратуры, а также от материальных затрат на создание тех и других систем. Для операций $a_{18,19} \in X_4$ вместо времени в часах приведены данные в виде ЭВМ+10 и ЭВМ+20, которые означают, что некоторое время специалисту потребуется на анализ информации на выходе ЭВМ (10 и 20 ч на информацию одной станции в год) даже на завершающем этапе автоматизации. В результате получаем $A_{ca}=0,67$ для полуавтоматической системы и $A_{ca}=0,69$ для автоматической системы.

В целом можно предположить, что в ближайшее десятилетие для различных гидрометеорологических комплексов значение коэффициента A_{ca} для полуавтоматических систем будет находиться в пределах 0,65—0,75, а для автоматических — в пределах 0,75—0,85.

Очевидно, если преимущество автоматической системы перед полуавтоматической выразить через разность значений A_{ca} , то оно не будет превышать 0,10—0,15. Напомним, что данное предположение будет справедливо при условии, что оценка значения коэффи-

иента степени автоматизации будет производиться для всей системы в целом, а не для отдельных ее частей.

Таким образом, данные табл. 1 дают основание сделать выводы, что для широкой сети станций в ближайшее десятилетие должны развиваться полуавтоматические системы, как более дешевые и простые в эксплуатации, а сложные автоматические системы должны создаваться для направленных научных экспериментов и обрабатываться с целью повышения надежности работы и простоты в эксплуатации. В дальнейшем, естественно, автоматические системы должны заменить полуавтоматические и на сети станций.

На основании вышеизложенного можно сделать следующее заключение.

Коэффициент степени автоматизации может служить критерием для оценки эффективности уже созданных методов получения и первичной обработки научной информации, а также для выбора оптимальной стратегии планирования работ по автоматизации. Преимущество должно отдаваться системам, которые обеспечивают хотя бы равные значения коэффициента степени автоматизации и требуют меньших материальных затрат на их создание.

Изложенная методика оценки эффективности новых методов работы может применяться не только к исследованиям по автоматизации сети станций, но и для оценки эффективности автоматизации других исследований, связанных с различными вычислительными операциями, например с расчетами для климатологических, прогнозных и других целей.

Существенное уменьшение числа специалистов, участвующих в процессе получения и первичной обработки гидрометеорологической информации, может быть достигнуто уже в настоящее время в результате выполнения первых этапов автоматизации.

Выражаю свою благодарность сотруднику ААНИИ Н. Н. Андреевой за участие в испытаниях изложенной методики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная гидрометеорологическая система. Л., Гидрометеоиздат, 1970. 216 с.
2. Дюбкин И. А. Автоматизация процессов получения и первичной обработки научной информации в экспедициях ААНИИ.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 7, с. 97—103.
3. Dúbkin I. A., Weremejenko M. W., Samuschkin W. A. Das Modell eines automatisierten Systeme für die Gewinnung und Verarbeitung aktinometrischer Informationen und die Effektivität dessem praktischer Anwendung.— Sb. Materialien des Internationalen Symposiums der Spezialisten der HMD/MD der sozialistischen Länder „Automatische Prüfung und Korrektion hidrometeorologischer Beobachtungsdaten“, reprint WN11GMI-MCD, Obninsk, 1974, s. 203—215.
4. Дюбкин И. А. О математическом обеспечении СИГМА-с.— «Тр. ААНИИ» 1972, т. 301, с. 19—30.
5. Гандин Л. С., Брагинская Л. Л. Об оценке экономической эффективности работ по усовершенствованию методов объективного анализа метеорологических полей.— «Тр. ГГО», 1975, вып. 348, с. 162—169.
6. Жуковский Е. Е. Принятие оптимальных решений как метод повы-

шения эффективности агрометеорологических прогнозов.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 1, с. 32—41.

7. Ломииадзе В. П., Бартишвили И. Г., Гудушаури Ш. Л. Об эффективности метода ЗакНИГМИ при защите сельскохозяйственных культур от градобитий.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 3, с. 11—16.

8. Дюбкин И. А. Автоматизация процесса получения и первичной обработки научной информации в экспедициях ААНИИ.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 7, с. 97—103.

9. Борисенков Е. П., Федоров О. М. Автоматизированная система сбора и обработки научной информации для научно-исследовательских судов.— «Тр. ААНИИ», 1972, т. 301, с. 5—18.

10. Трифонов Г. Н., Пшонкин В. С., Плотников Г. А. Комплекс для автоматической обработки данных радиозондирования атмосферы.— «Метеорология и гидрология», 1972, № 1, с. 98—104.

*И. А. Дюбкин, М. В. Веремеенко,
Л. М. Колкова*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ВНЕДРЕНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ СБОРА
И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
И АКТИНОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
НА НИС И НИСП ГУГМС**

Изложенная в работе [1] методика расчета коэффициента степени автоматизации A_{ca} позволяет заблаговременно оценить ожидаемый эффект от внедрения в практику различных методов получения и обработки гидрометеорологической информации. Тем самым представляется возможность выбора на любом этапе автоматизации оптимальных стратегий работ.

В данной работе сделана попытка оценить эффективность труда наблюдателя метеоролога-актинометриста на НИС и НИСП при существующих, внедряемых и прогнозируемых технологических схемах получения, сбора и первичной обработки метеорологической и актинометрической информации.

Комплекс работ наблюдателя, связанный с выполнением метеорологических и актинометрических наблюдений на НИС и НИСП, согласно [1, 2], можно представить в виде элементарных операций a и b . Очевидно, что различные технологические схемы наряду с общими операциями характеризуются индивидуальным составом элементарных операций. Динамика изменения состава операций, необходимых при выполнении заданного объема работ, в зависимости от выбранной технологической схемы, наглядно иллюстрируется данными табл. 1 и 2. В этих таблицах, кроме того, представлены оценки затрат времени наблюдателя при выполнении тех или иных операций за период одни сутки для каждой из перечисленных технологических схем сбора и обработки гидрометеорологической информации, а также оценки коэффициента степени автоматизации A_{ca} , методика расчета которого дана в [1].

Из данных табл. 1 видно, что значительная часть труда наблюдателя-метеоролога в ближайшее время автоматизирована не будет, в результате время, затрачиваемое на выполнение операций a_1 ,

Таблица 1

Оценка затрат времени (мин) при восьмичасовых метеорологических наблюдениях при различной степени автоматизации труда наблюдателя

Номер операций	Перечень операций а	Визуальные подсчеты по приборам с обработкой данных		Дистанционная регистрация данных с обработкой		Автоматическая станция				Прогноз с помощью ЭКВМ "Искра-125"	
		ручной	на ЭВМ	ручной	на ЭВМ, ввод в ЭВМ "сырых" данных		наличие ЭВМ		ЭВМ на судне		
					канал связи метеолaborатория — ЭВМ — радиорубка	отсутствует	имеется	отсутствует	имеется	отсутствует	имеется
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Профилактика метеорологических приборов и уход за регистрирующей аппаратурой	80	80	90	90	90	120	120	120	105	105
2	Получение координат у штурмана	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
3	Наблюдения за облачностью, волнением, осадками, атмосферными явлениями, диском солнца, обледенением, состоянием моря, ледовой обстановкой	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
4	Получение данных о давлении воздуха, величине и форме барической тенденции	8	8	8	8	8	авт.	авт.	8	8	8
5	Обработка данных о давлении воздуха	8	8	8	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	8	Искра	Искра
6	Получение данных о направлении и скорости ветра	4	4	4	4	4	авт.	авт.	4	4	4
7	Обработка данных о направлении и ско-										

8	Получение данных о температуре воздуха	24	8	8	8	авт.	авт.	8	8	8
9	Обработка данных о температуре воздуха и расчет влажности	16	16	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	16	Искра	Искра
10	Получение данных о температуре воды	24	24	4	4	авт.	авт.	4	4	4
11	Обработка данных о температуре воды	4	4	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	4	Искра	Искра
12	Занесение на технический носитель данных визуальных наблюдений	—	20	—	20	20	20	—	20	20
13	Занесение на технический носитель данных инструментальных наблюдений	—	12	—	12	авт.	авт.	—	12	12
14	Подготовка технического носителя информации для ввода в ЭВМ (ЭКВМ)	—	12	—	12	8	8	—	8	8
15	Составление оперативной телеграммы	16	16	16	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	16	Искра	Искра
16	Передача информации на ЭВМ и в радиорубку	16	16	80	ЭВМ	80	ЭВМ	16	16	16
17	Занесение данных в книжку КГМ-15 А	20	20	20	—	—	—	20	20	—
18	Составление таблицы ТГМ-15 А	60	ЭВМ	60	ЭВМ	ЭВМ	ЭВМ	60	ЭВМ	ЭВМ
19	Первичный критический анализ данных таблицы ТГМ-15 А	8	4	8	4	4	4	8	8	4
20	Сравнительные наблюдения	—	—	10	10	10	10	10	10	10
	Сумма за один сутки, ч	6,1	5,8	5,8	5,3	3,9	5,0	3,7	5,8	4,4
	Сумма за 80 суток, ч	488	464	464	424	312	400	296	464	352
	Коэффициент A_{ca}	0,05	0,05	0,13	0,36	0,20	0,40	0,00	0,05	0,28

Примечание. ЭВМ означает, что операции выполняются на ЭВМ, Искра — операции выполняются на ЭКВМ „Искра-125“, авт. — операции выполняются автоматическими комплексами.

a_2, a_3, a_{12}, a_{19} , остается практически неизменным при различном технологическом оснащении метеорологического комплекса. Более того, по мере внедрения сложных измерительных устройств увеличивается время, необходимое на профилактику и ремонт аппаратуры (на выполнение операции a_1).

Анализ действующей в настоящее время технологической схемы ручного труда показывает, что наблюдателю на выполнение всех операций, связанных с производством восьмисрочных метеорологических наблюдений, требуется около 6—7 ч в сутки и около 500 ч за 80-суточный (стандартный) рейс (графа 3).

Вторая технологическая схема (графа 4) отличается от первой лишь тем, что ЭВМ распечатывает таблицу ТГМ-15 и проводит частичный критический ее анализ. Для этих целей в ЭВМ вводится составленная специалистом синоптической телеграмма [3]. В результате значение A_{ca} оказалось равным 0,05.

Если внедрить дистанционную регистрацию основных метеорологических элементов электронными потенциометрами и мостами, а обработку данных осуществлять вручную, не используя ЭВМ для составления таблиц, то значения A_{ca} также будут равняться приблизительно 0,05. Это говорит о том, что замена визуальных отсчетов температуры воды и воздуха дистанционной их регистрацией приводит к высвобождению времени, необходимого наблюдателю для работы с психрометром и для измерения температуры воды, но коэффициент A_{ca} при этом незначителен.

Если же при наличии дистанционной регистрации внедрить ЭВМ без линий связи с лабораторией для полной первичной обработки результатов измерений [4, 5, 6], то коэффициент A_{ca} увеличится до 0,13 (графа 6).

Установка в метеорологической лаборатории в качестве терминала телетайпа освобождает до 36% ручного труда наблюдателя ($A_{ca}=0,36$). Это объясняется тем, что при наличии в лабораториях терминала представляется возможным отказаться от составления вручную не только таблиц ТГМ-15, но и книжек КГМ-15А, т. е. исчезают операции a_{17} и a_{18} .

Рассмотрим три возможных варианта построения технологической схемы сбора, обработки и распространения метеорологической информации на НИС и НИСП при внедрении автоматических измерительных комплексов (графы 8—10).

Первый вариант (графа 8). Линии связи лаборатория — ЭВМ — радиорубка отсутствуют. В этом случае коэффициент степени автоматизации оказывается существенно меньше, чем при дистанционной регистрации некоторых метеорологических элементов и наличии при этом указанной линии связи (см. графы 7 и 8).

Второй вариант (графа 9). При наличии автоматической станции и указанных линий связи наблюдается увеличение коэффициента A_{ca} до 0,40, т. е. всего на 0,04 больше, чем при простой дистанционной регистрации и наличии терминала (графы 7 и 9).

Третий вариант (графа 10). На судне отсутствует ЭВМ.

В этом случае использование автоматической станции не приводит к высвобождению труда наблюдателя ($A_{ca}=0,00$).

Из сказанного, на первый взгляд, следует несколько неожиданный вывод: сложные автоматические комплексы в настоящее время дают практически такую же эффективность в плане повышения производительности труда наблюдателя, как и простая дистанционная регистрация. На самом деле полученный вывод довольно логичен. Действительно, в настоящее время независимо от применяемой технологической схемы сбора и обработки метеорологической информации на НИС и НИСП большинство метеорологических элементов из-за отсутствия соответствующих датчиков наблюдается визуально (см. операции a_3 и a_{12}).

Кроме того, применение сложных измерительных комплексов требует увеличения затрат времени на их обслуживание и профилактику, т. е. на выполнение операции a_1 . Отмена перфорации части информации (отмена операций a_{13}) практически не компенсирует увеличения времени, необходимого для обслуживания аппаратуры. На этапах внедрения и отработки автоматических комплексов значение A_{ca} может быть даже отрицательным.

Определенный интерес представляет анализ ожидаемой эффективности в случае построения технологических схем получения, обработки и распространения научной информации на базе электронной клавишной вычислительной машины (ЭКВМ) «Искра-125».

Рассмотрим два возможных варианта построения таких схем (графы 11 и 12).

Первый вариант — ЭКВМ «Искра-125» не сопряжена непосредственно с большой ЭВМ. В этом случае наблюдателю приходится вручную вводить результаты измерений в ЭКВМ, так же как и при наличии терминалов (графы 7 и 9), но при работе с ЭКВМ таблицы и книжки составляются вручную (a_{12} , a_{18} , a_{17} , a_{18}). В итоге коэффициент A_{ca} практически равен нулю ($A_{ca}=0,05$).

Второй вариант — ЭКВМ «Искра-125» непосредственно сопряжена с большой ЭВМ, как это предусматривалось в [5, 6] (графа 12).

При таком варианте ЭКВМ «Искра-125» играет роль буферного устройства между датчиками и большой ЭВМ, что дает возможность создать автоматизированную систему комплексного анализа научной информации [5, 6], освобождая при этом существенную долю труда наблюдателя (до 28%). Необходимо отметить, что в обоих случаях (графы 11 и 12) отсутствует сопряжение датчиков метеорологических элементов с ЭКВМ, операции a_6 , a_8 , a_{10} , a_{12} выполняются при участии специалиста. В случае сопряжения указанных датчиков коэффициент A_{ca} увеличивается примерно на 0,05—0,08.

Аналогичные выводы вытекают и из анализа данных табл. 2. Различие лишь в том, что в этом случае степень автоматизации процессов сбора, обработки собственно актинометрической информации может достигать более высокого уровня, чем в случае автоматизации этих процессов применительно к метеорологической информации.

Затраты времени наблюдателя-метеоролога на выполнение судовых актинометрических наблюдений при различной степени автоматизации его труда (мин. за сутки)

Номер операций	Перечень некоторых операций по разделу актинометрия	Дистанционная регистрация		Автоматическая станция		Прогноз для ЭКВМ "Искра-125"	
		ручная обработка	обработка на ЭВМ	ручная обработка	обработка на ЭВМ	без большой ЭВМ	в паре с большой ЭВМ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Профилактика актинометрических приборов и уход за регистрирующей аппаратурой	60	60	120	120	90	90
2	Производство срочных наблюдений (наведение актинометра в сроки, 8 сроков)	—	—	—	—	—	—
3	Получение метеорологических данных	40	5	—	—	40	—
4	Обработка данных срочных наблюдений в книжках КМ-12	80	—	—	—	—	—
5	Проверка книжек КМ-12	40	—	—	—	—	—
6	Составление таблиц ТМ-12	30	—	—	—	30	—
7	Подсчет и технический контроль таблиц ТМ-12	10	—	2	—	—	—
8	Считывание и копировка таблиц ТМ-12	20	—	—	—	20	—
9	Обработка лент самописца для таблиц ТМ-13	40	70(30)	—	—	—	—

11	Составление таблиц ТМ-13	50	—	—	—	—	—	—	—
12	Подсчет и технический контроль таблиц ТМ-13	10	—	—	—	—	—	—	—
13	Считывание и конировка таблиц ТМ-13	30	—	—	—	—	—	33	—
14	Критконтроль таблиц ТМ-12	10	—	—	—	—	—	10	—
15	Критконтроль таблиц ТМ-13	10	—	—	—	—	—	10	—
16	Критконтроль таблиц ТМ-12, 13 М	—	20	20	10	—	—	—	20
17	Подготовка и перфорация призначной информации	—	10	—	10	—	—	15	15
18	Перфорация данных измерений	—	30	—	—	—	—	—	—
19	Проверка перфолент (исправление начальных данных)	—	10	—	5	—	—	30	30
20	Счет на ЭВМ	—	7	—	7	—	—	25	20
21	Градуировка рабочих приборов	5	5	5	5	—	—	5	5
22	Обработка данных градуировок	5	5	5	5	—	—	5	5
23	Дополнительные расчеты	20	—	20	—	—	—	—	—
	Сумма за 1 сутки, ч	7,7	3,7(3,0)	4,2	2,7	—	—	6,0	3,1
	Сумма за 80 суток, ч	613,3	296,0(242,7)	333,3	216,0	—	—	480,0	247,0
	Коэффициент A_{ca}	0	0,51(0,61)	0,41	0,65	—	—	0,22	0,60

Примечание. Числа в скобках относятся к случаям обработки диаграммных лент с помощью полуавтомата.

Это объясняется тем, что процессы измерения практически всех составляющих радиационного баланса могут быть легко автоматизированы, и результаты автоматически заносятся на некоторый технический носитель информации.

Таким образом, при внедрении простых полуавтоматических и сложных автоматических метеорологических и актинометрических измерительных комплексов исключается часть ручного труда наблюдателя. Этот вывод справедлив при наличии линий связи метеорологической лаборатории с ЭВМ, а также при полном изменении существующей методики производства, наблюдений и обработки метеорологической информации. Если же серийно выпускаемые самописцы типа КСП и КСМ обеспечить приставками для занесения результатов измерений на магнитную или перфорационную ленту то имеющихся преимуществ у автоматических комплексов на данном этапе автоматизации не будет [5, 7, 8].

Заметим, что приведенные здесь рассуждения справедливы применительно лишь к стандартным программам наблюдений, предназначенным для выявления долгопериодных колебаний разных физических параметров, определяющих состояние атмосферы. Для научных экспериментов, когда необходимо иметь ряды, состоящие из большого числа измерений с малой дискретностью, безусловно требуется создавать различные автоматические измерительные комплексы, обеспечивающие более высокий уровень автоматизации, чем это необходимо для стандартных измерений.

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод, что для обеспечения наибольшей эффективности от внедрения автоматизированных систем получения и обработки гидрометеорологической информации на НИС и НИСП необходимо осуществлять сопряжение измерительных комплексов с ЭВМ. При этом функции измерительных комплексов должны сводиться лишь к измерению некоторой электрической величины и формированию соответствующего сигнала для входа в устройство сопряжения измерительного комплекса с ЭВМ. В этом случае существенно упрощаются измерительные комплексы, так как все логические и арифметические операции будут выполняться ЭВМ.

Может возникнуть вопрос о целесообразности сопряжения большой ЭВМ с измерительными комплексами. В условиях НИС и НИСП, безусловно, целесообразно, поскольку в настоящее время большие суда ГУГМС оснащаются ЭВМ, работающими в многопрограммном режиме, и их эффективность как вычислителя практически не снизится от включения их в автоматизированную систему.

Естественно, что для обеспечения работы ЭВМ в оперативном режиме необходимо создать соответствующее математическое обеспечение с управляющей системой, которое позволит осуществить приоритетный прием и обработку оперативной научной информации. Задачи научного анализа информации при этом должны выполняться как фоновые [9, 10].

Таким образом, на основании анализа результатов моделирования условий работы наблюдателя при различных методах изме-

ений, сбора и обработки научной информации можно сделать некоторые выводы.

Полуавтоматические относительно простые системы, моделирующие более сложные автоматические системы стандартных программ наблюдений, обеспечивают соизмеримый эффект в плане исключения доли ручного труда наблюдателя, с эффектом от внедрения сложных автоматических измерительных комплексов.

На данном этапе автоматизации целесообразно создавать оптимальные системы человек — ЭВМ, при этом в научных лабораториях должны стоять терминалы, например телетайпы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дюбкин И. А. Методика оценки эффективности автоматизированных методов получения и первичной обработки гидрометеорологической информации. См. наст. сборник, с. 61—72.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9, ч. 2. Л., Гидрометеоиздат, 1964. 215 с.
3. Временные методические указания по машинной обработке и контролю гидрометеорологических наблюдений. Вып. 9, ч. 2. Обнинск, Гидрометеоиздат, 1973. 25 с.
4. Автоматизированная гидрометеорологическая система. Л., Гидрометеоиздат, 1970. 216 с.
5. Борисенков Е. П., Федоров О. М. Автоматизированная система измерения, сбора и обработки гидрометеорологической информации на научно-исследовательских судах ГУГМС (СИГМА-с).— «Тр. ААНИИ», т. 301, 1972, с. 5—18.
6. Дюбкин И. А. О математическом обеспечении СИГМА-с.— «Тр. ААНИИ», т. 301, 1972, с. 19—30.
7. Дюбкин И. А. Автоматизация процессов получения и первичной обработки научной информации в экспедициях ААНИИ.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 7, с. 97—103.
8. Андреева Н. Н. и др. Автоматизация процессов получения актинометрической информации в экспедициях.— «Тр. ААНИИ», 1974, т. 315, с. 156—161.
9. Дюбкин И. А., Марченко Л. Г. Иерархическая структура вычислительного процесса в автоматизированной вычислительной информационно-поисковой управляющей системе (АВИПУС) на НИС и НИСП. См. наст. сборник, с. 16—24.
10. Месарович М., Мако Д., Гакахаха И. Теория нерархических многоуровневых систем. М., «Мир», 1973. 344 с.

В. Н. Аднашкин

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ НА НИСП «ПАССАТ» В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ АТЭП-74

В соответствии с подпрограммой радиационных исследований АТЭП на НИСП «Пассат» в период с 28 июня по 19 сентября 1974 г. объединенный отряд сотрудников ИНГ, ЛГУ и ГГО проводил оптико-аэрозольные исследования приподнятого слоя атмосферы в рабочей точке на экваторе на 10° з. д. Программой работ, кроме исследования микроструктуры аэрозоля и взятия проб аэрозоля на фильтры с целью проведения дисперсионного и химического анализов частиц, предусматривалось измерение горизонтальной прозрачности атмосферы и индикатрис рассеяния света.

Микроструктура аэрозоля измерялась поточными фотоэлектрическими приборами типа ФИЧА [1] и серийным измерителем аэрозольных частиц АЗ-5, который позволяет регистрировать частицы размером $0,63 \text{ мкм} \leq d \leq 10 \text{ мкм}$.

Измерение горизонтальной прозрачности атмосферы (метеорологической дальности видимости S_m) осуществлялось походным нефелометром ГГО [2]. Прибор представляет собой автоматический однолучевой логарифмический фотометр для непосредственного отсчета S_m с постоянным углом наблюдения 45° по измерению рассеянной части исходного светового потока. Измерения производятся в открытом объеме атмосферы, счетный объем составляет около 20 см^3 . Диапазон измеряемых значений S_m от 250 м до 250 км, постоянная времени прибора $\tau = 60 \text{ с}$. Градуировка и контроль шкалы прибора производятся по эталонному рассеивателю (шарик из молочного стекла), который вводится в исследуемый объем атмосферы, с использованием набора нейтральных светофильтров. Запись результатов измерений производится на самописец типа ЭПП-09, шкала которого проградуирована в километрах. Непрерывная запись со скоростью 45 мм/мин производилась в течение часа в основные синоптические сроки.

Индикатрисы рассеяния света в приводном слое атмосферы определялись с помощью визуального нефелометра ГОИ ИФ-14 переменным (от 16 до 164°) углом наблюдения [3]. Счетный объем прибора составляет 3 см³. Измерения индикатрис рассеяния света производились в 21 ч 00 мин и 24 ч 00 мин в безлунные ночи при потушенных корабельных огнях для уменьшения фоновой засветки. Интенсивность светорассеяния под углом 45° позволяет определить значение S_m в километрах, которое принимается за реперную точку при расчете шкалы нефелометра ГГО и служит контролем ее устойчивости.

Поскольку судно само является источником загрязнения окружающего воздуха, проведение оптико-аэрозольных исследований возможно лишь при соблюдении определенных условий, гарантирующих отсутствие загрязнений в исследуемом воздухе.

Загрязненный воздух с судна выбрасывается в основном через дымовую трубу и две вентиляционные шахты, расположенные вблизи правого борта центральной части палубы верхнего мостика. Аэрозольная съемка судна, проведенная с помощью переносного прибора АЗ-5, показала, что наибольшее увеличение концентрации частиц, связанное с выбросами с судна, наблюдается в области больших частиц ($d \geq 2$ мкм). Проведено пять серий измерений, из них три серии в период дрейфа судна и две на ходу.

Для проведения измерений были выбраны 22 точки, расположенные в передней части судна на его бортах. Измерения проводились при направлениях кажущегося ветра, не превышающих 90° по отношению к наветренному борту, т. е. при отсутствии задувания с кормы в места отбора проб воздуха. Измерения выполнены в периоды отсутствия резких изменений концентраций частиц в течение суток. Стабильность концентраций частиц в период проведения серии измерений (10—15 мин) контролировалась по воспроизводимости средней концентрации частиц, измеренной до и после проведения серии измерений на переднем планшире палубы верхнего мостика с наветренного борта. Полученные данные указывают на совпадение значений концентраций, измеренных как на полубаке, так и на наветренных бортах всех трех палуб. Следовательно, во всех этих точках при указанных выше условиях измеряются концентрации частиц атмосферного аэрозоля, не искаженные влиянием загрязнения с судна. Концентрации частиц, измеренные на подветренном борту, в 1,5—2,5 раза превышают концентрации частиц атмосферного аэрозоля.

При измерениях на ходу возникает дополнительный источник частиц, связанный с разбрызгиванием воды корпусом судна при скоростях ветра, превышающих 7 м/с. С увеличением высоты над уровнем моря количество разбрызгиваемых частиц резко уменьшается. Аэрозольная съемка судна показала, что

1) измерения атмосферного аэрозоля с судна могут проводиться приборами, установленными в передней части планшира палубы верхнего мостика только на наветренном ее борту;

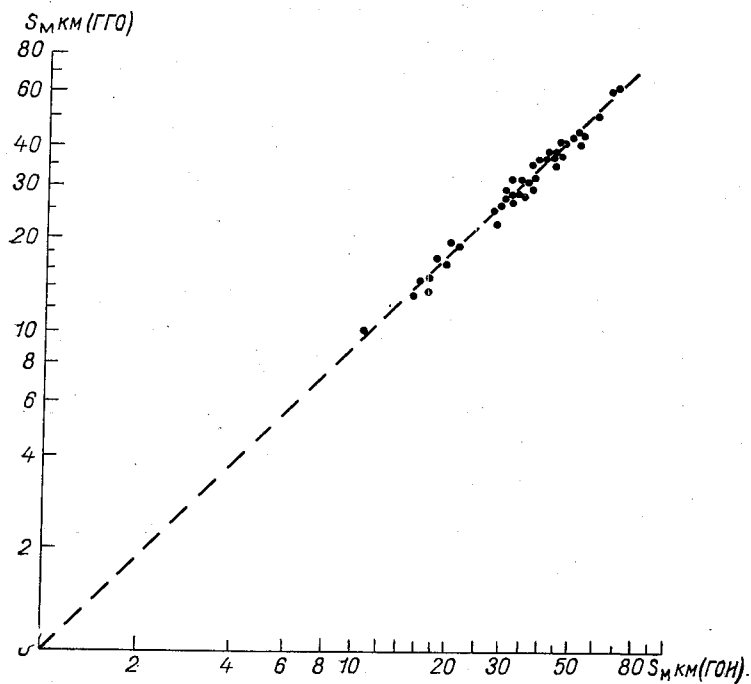


Рис. 1. Сопоставление результатов измерения S_m нефелометрами ГГО и ГОИ (ИФ-14).

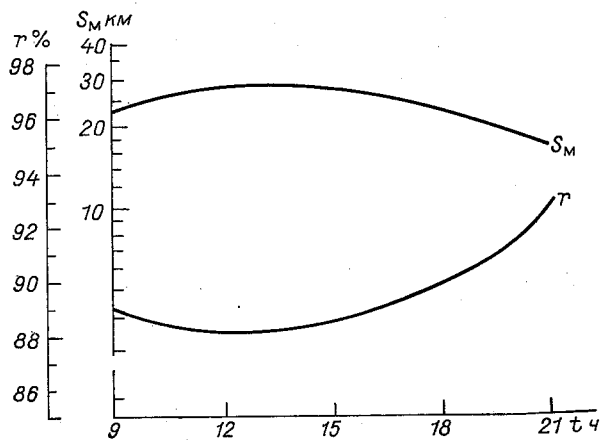


Рис. 2. Дневной ход влажности во II фазе АТЭП-74.

2) атмосферный аэрозоль может измеряться только при направлениях кажущегося ветра, не превышающих 90° по отношению наветренному борту;

3) на ходу судна измерения можно производить лишь при скорости ветра, не превышающей 7 м/с, когда брызги не достигают алубы верхнего мостика.

В соответствии с этими рекомендациями вся опτικο-аэрозольная аппаратура была размещена на передней части планшира

Таблица 1

Период	Давление, мбар	Температура воздуха, $^\circ\text{C}$	Влажность		Скорость ветра, м/с	Направление ветра	Интегральная прозрачность	Концентрация частиц с $d \geq 0,63$ мкм, см^{-3}
			относительная, %	абсолютная, мбар				
8 VI—18 VII	1014,8	23,4	86	24,4	5,8	128	0,71	8,1
7 VII—17 VIII	1014,5	22,3	89	24,7	4,5	142	0,65	11,9
9 VIII—19 IX	1013,9	22,6	88	24,0	5,5	156	0,68	5,5

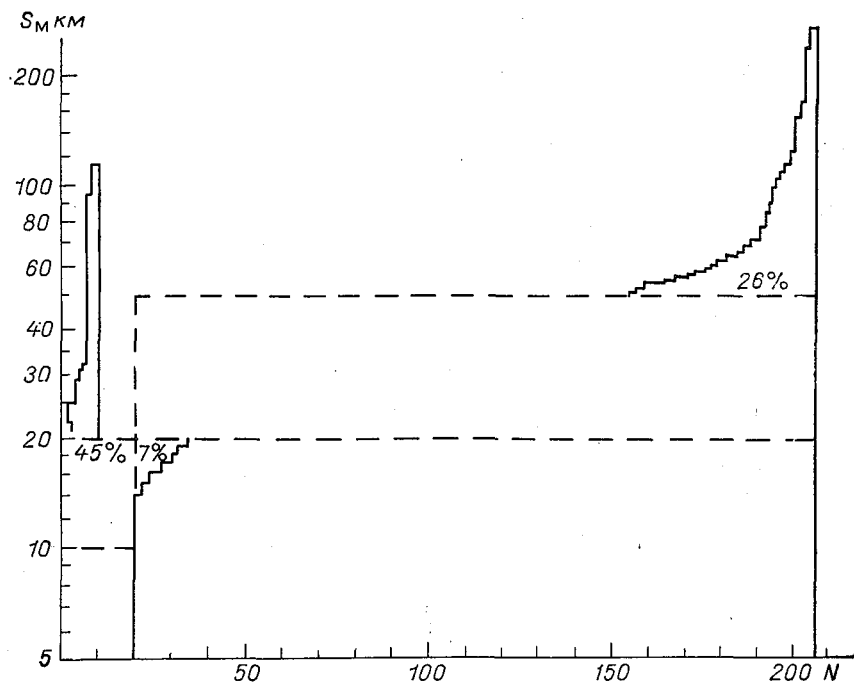


Рис. 3. Сопоставление данных инструментальных измерений (нефелометр ГГО) и визуальной оценки S_M .

N —число сроков.

палубы верхнего мостика. Визуальный нефелометр ГОИ на время измерений устанавливался на треноге в непосредственной близости от нефелометра ГГО. Блоки питания и регистрирующая аппаратура размещались в лаборатории, оборудованной установкой для кондиционирования воздуха.

Измерения проводились синхронно в период трех фаз АТЭГ в основные синоптические сроки (9 ч 00 мин, 12 ч 00 мин, 15 ч 00 мин, 18 ч 00 мин, 21 ч 00 мин и 24 ч 00 мин). Полученный экспериментальный материал содержит 600 спектров размеров частиц аэрозоля, 250 часовых записей горизонтальной прозрачности атмосферы и 240 индикатрис рассеяния света.

Измеренные значения S_m лежат в пределах 12—250 км. Сравнение значений S_m , полученных с помощью нефелометров ГГО и ГОИ показало практически полное их совпадение (рис. 1). Сопоставление оптических и аэрозольных параметров атмосферы показало наличие высокой корреляционной связи между S_m и концентрацией больших частиц аэрозоля (коэффициент корреляции $r=0,94$). Метеоданные для НИСП «Пассат», как видно из табл. 1, в течение всего эксперимента были достаточно устойчивыми. Изменение концентрации частиц $d \geq 0,63$ мкм во II фазе эксперимента было вызвано вторжением запыленных масс воздуха с Африканского континента (из района Сахары), что подтверждается данными судового радиозондирования. Именно в этот период был отмечен дневной ход влажности (рис. 2), который, как известно, в тропической зоне океана при обычных условиях не проявляется.

Результаты сопоставления данных инструментальных измерений (нефелометр ГГО) и визуальной оценки S_m (наблюдатель на судне) показаны на рис. 3. По визуальным оценкам, из 227 сроков совместных наблюдений в 20 (9%) наблюдалась видимость 7 баллов (10—20 км) и в 207 сроках (91%) — 8 баллов (20—50 км). Инструментальные измерения показали, что для диапазона 10—20 км в 45% случаев наблюдатели дали занижение (до 500%) значений S_m ; для диапазона 20—50 км в 7% случаев — завышение (до 30%) и в 26% случаев — занижение (до 500%) измеренных значений S_m .

Контроль устойчивости шкалы автоматического нефелометра производился с использованием эталонного рассеивателя и набора нейтральных светофильтров дважды в течение часового интервала измерений — в начале и в конце. Устойчивость шкалы визуального нефелометра ГОИ оценивалась по результатам измерений S_m , проведенных совместно с серийным регистратором прозрачности атмосферы РДВ-2 на ПЭБ в пос. Воейково до и после эксперимента (май и ноябрь 1974 г.). Расхождение результатов измерений не превышает 15%.

Сверка аэрозольных измерителей частиц АЗ-5, установленных на НИСП «Пассат» и НИС «Академик Королев», проводилась 22 и 23 июня 1974 г. в открытом океане. Расхождение результатов совместных измерений не превышает 20% и обусловлено наличием существенной неоднородности в распределении аэрозоля, вызванной осадками, прошедшими в районе сверки.

Выводы

1. По результатам аэрозольной съемки с судна выбраны места размещения оптико-аэрозольной аппаратуры — наветренный борт передней части планшира палубы верхнего мостика. При этом направление кажущегося ветра не должно превышать 90° по отношению к наветренному борту, скорость ветра не должна составлять более 7 м/с, чтобы брызги не достигали палубы верхнего мостика.

2. Подтверждена возможность использования автоматического нефелометра с фиксированным углом наблюдения 45° в качестве измерителя горизонтальной прозрачности атмосферы на судах.

3. Получен большой экспериментальный материал по горизонтальной прозрачности атмосферы и индикатрисам рассеяния света в приводном слое атмосферы восточной части экваториальной зоны Атлантики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конишев Ю. В., Лактионов А. Г. Самолетный фотоэлектрический измеритель облачных капель. — «Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1966, т. 2, № 7, с. 291—301.

2. Полевицкий К. К., Шадрина Е. Н., Аднашкин В. Н. Походный нефелометр для автоматической регистрации м.д.в. — «Тр. ГГО», 1972, вып. 292, с. 3—11.

3. Ритынь Н. Э., Лазарев В. П. Нефелометр для измерения индикатрис рассеяния света в воздухе. — «Оптико-механическая промышленность», 1959, № 2, с. 14—16.

Д. Ф. Тимановский

МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕРКИ НА СУДАХ СОХРАННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ СКОРОСТИ ВЕТРА

На НИС и НИСП в настоящее время скорость ветра измеряется анемометрами различных систем, как М-92, М-63, М-47 и др. Сверка приборов в экспедиции АТЭП-73 позволила выявить большие расхождения в показаниях ветровых датчиков (до 2 м/с) на судах, находящихся в дрейфе в непосредственной близости друг от друга [1]. Одной из причин таких расхождений является отсутствие возможности контрольной проверки ветровых датчиков в судовых условиях. Известно, что при эксплуатации в условиях моря ветроизмерительные датчики подвергаются коррозии, загрязняются солями, в результате чего нарушаются их аэродинамические характеристики.

Для устранения «морского загрязнения» проводятся профилактические чистки всех деталей анемометров, после которых датчики необходимо сверять с контрольными образцами. Предлагаемая в работе [2] методика проверки датчиков скорости ветра требует наличия контрольных анемометров (контрольных образцов), поверенных в береговых условиях, и к тому же очень трудоемкая: для проверки датчики должны быть сняты с мест установки, а после проверки вновь установлены на рабочие уровни. Естественно, при установке не исключены случайные механические повреждения. Кроме того, отсутствие возможности поверки самих контрольных образцов на судне в течение длительных рейсов, а также отсутствие на судне открытых мест с неискаженным потоком ставит под сомнение вообще такой вид проверки рабочих анемометров.

В течение нескольких лет автором в экспедиционных условиях применялась другая методика проверки ветроизмерительных приборов, надежно зарекомендовавшая себя в условиях суши [3, 4]. Апробирование этой методики в экспедиции АТЭП-74 показало, что ее успешно можно использовать для проверки датчиков скорости ветра в условиях моря, учитывая ее простоту и надежность по сравнению с методикой, рекомендованной в [2].

Целью настоящей работы и является описание аппаратуры методики проверки ветроизмерительных приборов в судовых условиях, разработанных автором, которые позволяют просто и надежно осуществлять проверку (контролировать сохранность метрологических характеристик анемометров), вовремя проводить профилактические работы и устранять технические неисправности анемометров.

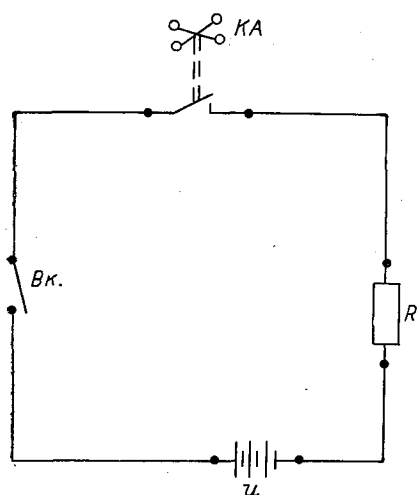


Рис. 1. Схема включения контактного анемометра.

Вк. — тумблер, КА — контактный анемометр, R — электромагнитный счетчик импульсов.

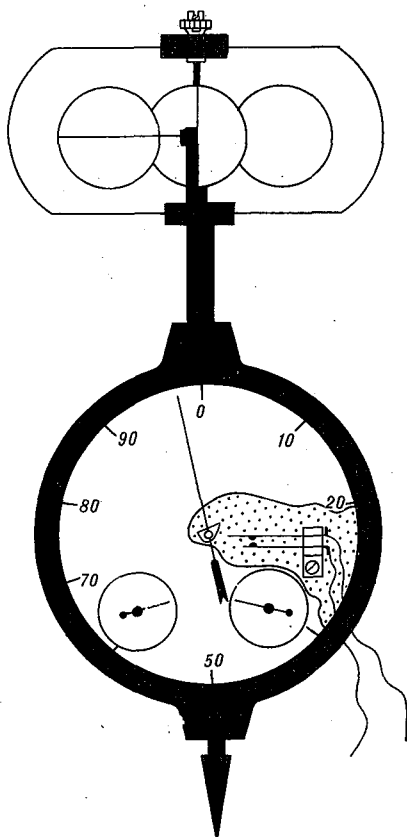


Рис. 2. Контактный анемометр на базе ручного анемометра МС-13 (крепление контактной пары).

Предлагаемый комплект проверочной аппаратуры состоит из установки для проверки ручных анемометров УПАР-01, двух контрольных контактных анемометров, изготовленных на базе ручного анемометра МС-13, электромагнитного счетчика импульсов и батареи сухих гальванических элементов или другого источника постоянного напряжения 9—12 В. Малый размер и вес анемометра МС-13

позволяет устанавливать его вблизи рабочих анемометров, не демонтируя последние.

Методика проверки состоит в следующем.

Один из контрольных анемометров проверяется в УПАРе и затем устанавливается вблизи (60—70 см) рабочего экземпляра (на

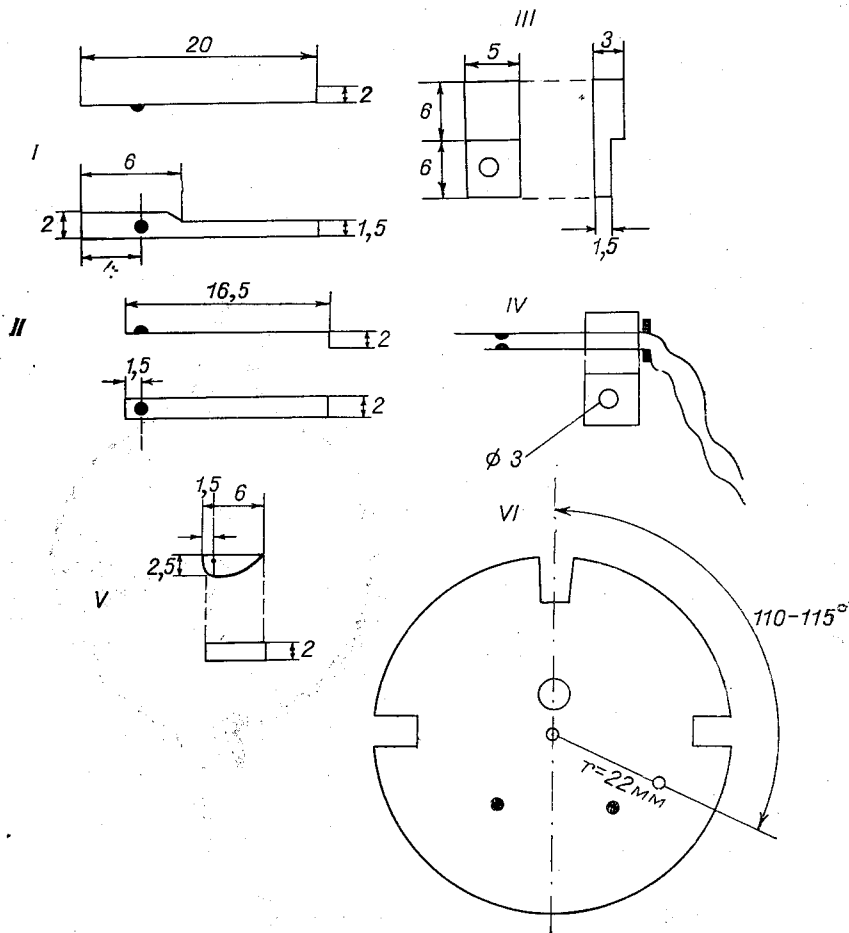


Рис. 3. Детали для изготовления контактного анемометра.

I — верхний контакт, *II* — нижний контакт, *III* — тело контактной пары, *IV* — общий вид контактной пары, *V* — эксцентрик, *VI* — верхний диск механизма МС-13 с отверстием для крепления контактной пары.

мачте или грузовой колонке) на одном уровне с ним таким образом, чтобы поток воздуха был перпендикулярен линии установки обоих датчиков. Проводятся 3—4 серии синхронных измерений скорости ветра. Опыт работы показал, что при использовании датчиков с различной инерцией и пороговой чувствительностью период осреднения должен быть не менее 30 мин. Схема подключения контак-

ого анемометра МС-13 представлена на рис. 1. Как было указано выше, изложенная методика проверки была неоднократно использована автором при проведении градиентных измерений скорости ветра над сушей, а также на НИСП «Эрнст Кренкель» во время экспедиции АТЭП-74.

Как известно, контактные анемометры на базе МС-13 промышленностью не выпускаются. Описанная ниже разработанная автором технология переделки анемометров МС-13 позволяет довольно просто сделать их контактными специалисту средней квалификации с минимальными затратами времени. На рис. 2 представлен контактный анемометр на базе ручного анемометра МС-13. Для того чтобы изготовить контактный анемометр, необходимо сделать следующее.

1. Изготовить контактную пару и эксцентрик (рис. 3). Контакты для контактной пары изготавливаются из фольги толщиной 0,1 мм (фосфористая бронза) и серебряных контактов от реле типа РСМ-1, РСМ-2, РСМ-3 и т. п., тело контактной пары изготавливается из трехмиллиметрового листового оргстекла длиной 12 мм, шириной 5 мм. Затем готовые контакты впрессовываются (вдавливается) в оргстекло с помощью разогретого паяльника таким образом, чтобы серебряные контакты были друг против друга. К концам контактов подпаиваются выводы из мягкого монтажного провода длиной 200—250 мм. После подпайки выводов верх контактной пары заливается клеем из оргстекла, растворенного в дихлорэтане. Эксцентрик изготавливается из фторопласта согласно рис. 3.

2. С анемометра МС-13 снимаются защитное стекло, стрелки и циферблат. В верхнем диске механизма МС-13 сверлится отверстие под резьбу М-3 и нарезается резьба. Затем с помощью винта М-3 с головкой впотай прикрепляется контактная пара, а на ось стрелки единиц и десятков насаживается эксцентрик (рис. 3).

Регулировка контактной пары относительно эксцентрика осуществляется путем поворота самой контактной пары вокруг крепежного винта. Подпаянный монтажный провод выводится через прорезь для арретира.

3. После установки и регулировки контактной пары снятые циферблат, стрелки и защитное стекло ставятся на свои места. Работает изготовленный таким образом контактный анемометр следующим образом.

При наличии воздушного потока вращение чашек через червячную пару передается на ось единиц и десятков, а следовательно, и на эксцентрик, который периодически будет замыкать контактную пару и давать импульсы на электромагнитный счетчик. Счетчик будет регистрировать число контактов n за период времени t . Для того чтобы пользоваться таким анемометром, необходимо иметь тарифовочный график не числа делений в секунду, а числа контактов за определенный период времени. В данном случае наиболее удобно пользоваться графиком, по одной оси которого откладывается число контактов за 10 мин, а по другой — скорость в м/с.

Для тарифовки контактных анемометров (КА-МС-13) необхо-

димо иметь установку УПАР-01, электромагнитный счетчик импульсов, источник постоянного напряжения 9—12 В и секундомер.

Контактный анемометр устанавливается в УПАР-01 согласно методики, предложенной в [5], по поверке ручных анемометров. Собирается схема согласно рис. 1. После подачи минимального напряжения на электродвигатель УПАРа (напряжения, при котором начинают вращаться чашки анемометра) выдерживается время установления потока (5—7 мин), затем синхронно включаются счетчик числа оборотов УПАРа, питание схемы анемометра и секундомер. Через 30 мин синхронно выключаются счетчик УПАРа и анемометр. По разности показания счетчика УПАРа рассчитывается число делений в секунду и определяется средняя скорость потока за 30 мин. По разности показаний счетчика числа контактов рассчитывается число контактов за 10 мин. Таким образом, получается значение скорости потока в м/с по числу контактов за 10 мин для данного контактного анемометра. Для построения тарифовочного графика в диапазоне скоростей от 1 до 20 м/с должно быть не менее 6—7 значений, полученных для разных скоростей потока. При построении графика точки должны ложиться на одну прямую, если какая-либо точка отклоняется более чем на 0,1 м/с от прямой, необходимо для данной скорости повторить тарифовку. При поверке рабочих ветроизмерительных датчиков по контактному анемометру необходимо пользоваться его тарифовочным графиком, предварительно проверив его тарифовки по УПАРу. Предлагаемая методика поверки датчиков скорости ветра предназначена только для контроля сохранности их метрологических характеристик и не заменяет периодические, согласно требованиям наставлений, поверки в соответствующих учреждениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалов Д. П., Тимановская Р. Г. Результаты сравнения стандартной метеорологической аппаратуры в период экспедиции АТЭП-73.— «Метеорология и гидрология», 1975, № 6, с. 101—106.
2. Методические указания научно-исследовательским судам и судам погоды. Л., Изд. ГГО, 1971. 14 с.
3. Калистратова М. А., Тимановский Д. Ф. Распределение структурной характеристики флуктуаций показателя преломления в приземном слое атмосферы.— «Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1971, т. 7, № 1, с. 73—75.
4. Тимановский Д. Ф. Опыт дистанционного измерения влажности воздуха.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 297, с. 198—202.
5. Фатеев Н. П. Поверка метеорологических приборов. Л., Гидрометеоздат, 1975. 311 с.

Т. В. Кириллова, Р. Г. Тимановская, А. В. Гудименко

СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ, ПРИХОДЯЩЕЙ К ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА, В УСЛОВИЯХ КУЧЕВОЙ ОБЛАЧНОСТИ

В последнее время появилось много работ, посвященных исследованию статистической структуры потоков излучения, приходящего из полусферы к поверхности земли в облачных условиях [1—3]. Наибольшее количество этих работ посвящено исследованию статистической структуры коротковолновой радиации (суммарной и прямой) в условиях кучевой облачности. Что же касается условий океана, то имеется лишь одна работа [4], в которой предпринята попытка получения статистической структуры суммарной радиации, приходящей к поверхности океана, по данным непрерывной регистрации ее потоков в рейсах НИС «Академик Курчатов» и «Дмитрий Менделеев».

Целью настоящей работы является исследование статистической структуры суммарной радиации в условиях кучевой облачности для района Тропической Атлантики (φ — от 5° ю. ш. до 30° с. ш.; λ — от 0° до 8° з. д.) по данным НИСП «Муссон» и сопоставление с данными работы [2], в которой выполнен анализ подобных исследований для территории умеренных широт СССР.

Аппаратура, методика измерений и обработка

Как и в работе [4], на НИСП «Муссон» осуществлена непрерывная регистрация суммарной радиации. Приемником радиации являлась головка сетевого пиранометра М-80, помещенная в герметизированный кожух [5]. Эта головка на кардановом подвесе устанавливалась на актинометрической стреле судна на расстоянии около 10 м от форштевня, равном высоте борта судна.

В качестве регистратора использовался многоканальный потенциометр ЭПП-09 со временем пробега каретки 8 с. Регистратор помещался в метеолaborатории. Скорость регистрации 720 мм в час.

На рис. 1 представлен пример регистрации показаний пиранометра на диаграммной ленте ЭПП-09 в условиях кучевой облачности и умеренном волнении (2—3 балла). Из рис. 1 видно, что применяемый карданный подвес довольно надежно обеспечивает сохранение приемной поверхности головки пиранометра в горизонтальном положении: в условиях отсутствия на диске Солнца облаков показания пиранометра практически стабильны. Следовательно можно полагать, что применяемый карданный подвес практически устранил влияние качки судна на показания пиранометра.



Рис. 1. Пример регистрации показаний пиранометра при кучевой облачности, установленного на актинометрической стреле в кардановом подвесе.

Для расчета статистических характеристик, согласно работе [6], обрабатывались регистрограммы длительностью $T=2\div 2,5$ ч, дискретность отсчетов — 10—15 с, т. е. для каждой такой реализации в зависимости от ее длительности T снималось от 800 до 1000 отсчетов. Для анализа отбирались «чистые» случаи, когда наблюдались только кучевые облака. Облачность в период регистрации суммарной радиации определялась каждые 30 мин. Анализировались не абсолютные, а относительные потоки $Q^*(t_i)$, т. е. измеренные потоки $Q(t_i)$, нормированные на радиацию безоблачного неба $Q_0(t_i)$.

Нормирование осуществлялось по формуле

$$Q^*(t_i) = \frac{Q(t_i)}{Q_0(t_i)}. \quad (1)$$

Значения $Q_0(t_i)$ рассчитывались по формуле М. Е. Берлянд — К. Я. Кондратьева для условий безоблачной атмосферы. Цель нормирования — исключение влияния дневного хода высоты Солнца на величины потоков, т. е. приведение их к согласованному виду независимо от пункта (координат) наблюдений.

По каждой реализации, которая рассматривалась как один «случай» наблюдений, рассчитывались средние значения потоков Q^* , их дисперсии $\sigma_{Q^*}^2$ и плотность распределения $P(Q^*)$.

Анализ результатов

В табл. 1 представлены рассчитанные по отдельным реализациям и сгруппированные по семи градациям количества облаков (по n) значения статистических характеристик. Рассматриваются статистические параметры как для отдельных выборочных совокупностей, так и осредненные по указанным градациям. Количество облаков для каждой выборки определялось как среднее из 4—5 визуальных определений в зависимости от длительности анализируемой реализации T . Из таблицы видно, что в период рейса НИСП «Муссон» преобладали кучевые облака от 4 до 9 баллов. Наблюдается закономерное уменьшение среднего потока Q^* с увеличением степени покрытия небосвода кучевыми облаками, максимум дисперсии $\sigma_{Q^*}^2$ приходится на $n \simeq 4$ —6 баллов.

На рис. 2 и 3 представлена корреляционная зависимость параметров Q^* и $\sigma_{Q^*}^2$ от количества облаков по данным НИСП «Муссон», а также по данным работы [2], полученным для умеренных широт территории СССР.

Из сопоставления данных, полученных над океаном и сушей, видно, что существенных различий между ними не наблюдается. Зависимость величин $Q^*(n)$ в условиях океана также линейная, разброс средних величин Q^* не выходит за рамки разброса данных, полученных для условий суши; связь величин $\sigma_{Q^*}^2$ с n также нелинейная, но разброс данных несколько больший по сравнению с разбросом над сушей.

Рассмотрим плотности распределения $P(Q^*)$. Эмпирические распределения, рассчитанные по отдельным реализациям, как и рассмотренные выше статистические характеристики, были сгруппированы по градациям n , и в табл. 1 для каждой градации приведены их количественные характеристики (повторяемости). Для сопоставления в табл. 2 представлены основные параметры распределений $P(Q^*)$, полученные для указанного района океана и суши. Для океана сведения об основных параметрах мы взяли из табл. 1 и, учитывая небольшое количество данных, в табл. 2 представили наблюдаемые границы изменчивости этих характеристик; для суши средние параметры заимствованы из табл. 3 работы [2].

Из анализа рис. 2, 3 и данных табл. 2 видно, что средние значения Q^* , $\sigma_{Q^*}^2$ и плотности распределения $P(Q^*)$, полученные в усло-

Средние плотности распределения относ

п баллы	Дата	Q*	$\sigma^2 Q^*$	Q											
				0,00 0,05	0,05 0,10	0,10 0,15	0,15 0,20	0,20 0,25	0,25 0,30	0,30 0,35	0,35 0,40	0,40 0,45	0,45 0,50		
4 Си	25 XII 1972 г.	0,70	0,029	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,02	0,05	0,04		
	1 I 1973 г.	0,63	0,028	0	0	0	0	0,08	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01		
	Среднее	0,66	0,028	0	0	0	0	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02		
5 Си	24 XII 1972 г.	0,73		0	0	0	0,04	0,03	0,06	0,08	0,06	0,03	0,06		
	29	0,63	0,021	0	0	0	0	0	0	0,04	0,02	0,04	0,13		
	24	0,43	0,042	0,01	0,01	0,07	0,06	0,09	0,10	0,04	0,07	0,10	0,09		
	Среднее	0,60	0,32	0	0	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,09		
6 Си	19 XII 1972 г.	0,55	0,024	0	0	0	0	0	0,01	0,07	0,13	0,11	0,10		
	22	0,55	0,026	0	0	0	0	0	0,01	0,06	0,06	0,15	0,20		
	Среднее	0,55	0,025	0	0	0	0	0	0,01	0,06	0,10	0,13	0,15		
7 Си	21 XII 1972 г.	0,49	0,066	0	0,02	0,06	0,07	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06	0,06		
	25	0,44	0,043	0	0,01	0,06	0,05	0,08	0,12	0,10	0,07	0,06	0,07		
	Среднее	0,46	0,054	0	0,02	0,06	0,06	0,07	0,10	0,07	0,06	0,06	0,06		
8 Си	26 XII 1972 г.	0,40	0,026	0	0	0,02	0,04	0,02	0,04	0,33	0,28	0,10	0,02		
	4 I 1973 г.	0,33	0,027	0	0	0,13	0,12	0,17	0,07	0,07	0,11	0,06	0,09		
	Среднее	0,36	0,026	0	0	0,08	0,08	0,10	0,06	0,20	0,20	0,08	0,06		
9 Си	27 XII 1972 г.	0,32	0,019	0	0	0	0,17	0,21	0,13	0,16	0,12	0,04	0,04		
	22	0,46	0,056	0	0	0,02	0,16	0,08	0,04	0,04	0,10	0,11	0,06		
	27	0,36	0,044	0	0	0,03	0,12	0,17	0,10	0,10	0,13	0,14	0,06		
	29	0,43	0,025	0	0	0	0,02	0,10	0,04	0,13	0,16	0,16	0,14		
	Среднее	0,39	0,036	0	0	0,01	0,12	0,14	0,08	0,11	0,13	0,11	0,08		
[10] Си	31 XII 1972 г.	0,32	0,007	0	0	0,04	0,05	0,07	0,28	0,14	0,16	0,25	0,01		
	26	0,40	0,026	0	0	0,02	0,04	0,02	0,04	0,33	0,28	0,10	0,02		
	26	0,35	0,015	0	0	0	0,04	0,17	0,12	0,31	0,15	0,06	0,03		
	Среднее	0,36	0,016	0	0	0,02	0,04	0,09	0,15	0,26	0,20	0,14	0,02		
9 Сб	22 XII 1972 г.	0,18	0,010	0,06	0,14	0,23	0,14	0,14	0,21	0,04	0,02	0	0		
	21	0,21	0,010	0	0,08	0,28	0,19	0,13	0,08	0,12	0,07	0,05	0		
	Среднее	0,20	0,010	0,03	0,11	0,26	0,16	0,14	0,14	0,08	0,04	0,02	0		

виях кучевой облачности для суши и океана, близки между собой как по форме кривых, так и по количественным характеристикам.

Из табл. 1 видно, что в нашем распоряжении имелись практически отдельные выборочные совокупности, по которым рассчитывались статистические характеристики суммарной радиации, прихо-

Таблица 8

ельных потоков суммарной радиации Q^*

от — до)													
0,50 0,55	0,55 0,60	0,60 0,65	0,65 0,70	0,70 0,75	0,75 0,80	0,80 0,85	0,85 0,90	0,90 0,95	0,95 1,00	1,00 1,05	1,05 1,10	1,10 1,15	1,15 1,20
0,05	0,05	0,07	0,09	0,08	0,12	0,24	0,07	0,04	0,02	0	0	0	0
0,01	0,01	0,02	0,37	0,29	0,08	0,02	0	0	0	0	0	0	0
0,03	0,03	0,04	0,23	0,18	0,10	0,13	0,04	0,02	0,01	0	0	0	0
0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,13.
0,09	0,10	0,10	0,08	0,16	0,12	0,09	0,03	0	0	0	0	0	0
0,03	0,11	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0	0	0	0	0	0	0
0,06	0,09	0,07	0,05	0,07	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05.
0,10	0,11	0,10	0,08	0,04	0,06	0,03	0,03	0,01	0	0	0	0,04	0,03.
0,07	0,09	0,09	0,05	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0
0,08	0,10	0,10	0,06	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0	0	0	0
0,11	0,09	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0	0,01	0
0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,01	0	0	0	0	0	0	0
0,08	0,08	0,06	0,04	0,04	0,06	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0	0	0
0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0
0,08	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0	0	0	0	0	0
0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0	0	0	0	0
0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0,03	0,05	0,06	0,07	0,04	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0
0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0
0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0
0,02	0,03	0,04	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0
0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

дящей к поверхности океана в условиях кучевой облачности. Однако анализ этих данных и сопоставление их с аналогичными величинами, полученными для территории умеренных широт СССР, дает основание утверждать, что влияние подстилающей поверхности, альbedo которой меняется от 5% (океан) до 20% (суша), на стати-

стические характеристики суммарной радиации практически отсутствуют и кучевые облака в районе Тропической Атлантики по своим оптическим свойствам (по характеру «ослабления» коротковолновой радиации) практически не отличаются от кучевых облаков

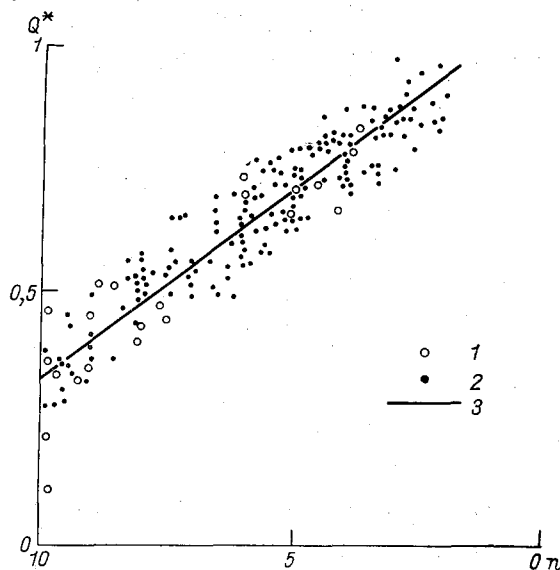


Рис. 2. Зависимость средних относительных потоков Q^* от количества кучевых облаков n .

1 — по данным НИСП «Муссон», 2 — по данным работы [2], 3 — аппроксимация данных работы [2].

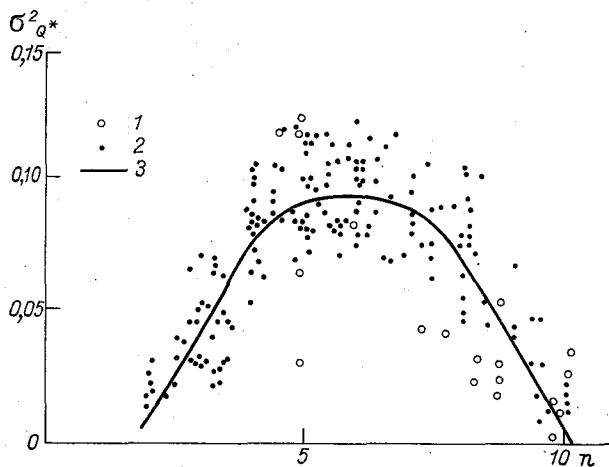


Рис. 3. Зависимость $\sigma_{Q^*}^2$ от количества кучевых облаков n .

Усл. обозначения см. рис. 2.

Основные параметры распределений $P(Q^*)$ тропического района Атлантики (океан) и умеренных широт СССР (суша)

Количество облачности, баллы	Пункт наблюдений	Q^*_{min}	Q^*_{max}	Мода		Вероятность моды		Медиана
				1	2	1	2	
4	Океан	0,25—0,30	1,00	0,35—0,45	0,70—0,85	0,03—0,04	0,23—0,37	0,70—0,75
	Суша	0,12	1,20	0,36	0,90	0,05	0,18	0,96
5	Океан	0,05—0,35	1,20	0,30—0,50	0,60—0,75	0,35—0,50	0,10—0,12	0,45—0,65
	Суша	0,12	1,20	0,36	0,96	0,10	0,16	0,78
6	Океан	0,25	1,20	0,40—0,50	0,80	0,13—0,15	0,06	0,55
	Суша	0,12	1,20	0,30	0,90	0,10	0,13	0,42
7	Океан	0,10	1,20	0,30	0,80—0,90	0,08—0,12	0,04—0,08	0,40—0,45
	Суша	0,12	1,05	0,30	0,96	0,10	0,11	0,24
8	Океан	0,15	0,95	0,25—0,35	0,70—0,90	0,17—0,33	0,02	0,30—0,40
	Суша	0,12	1,20	0,30	0,96	0,14	0,06	0,12
9	Океан	0,15	1,05	0,20—0,25	0,80	0,17—0,21	0,04—0,06	0,20—0,35
	Суша	0,06	1,14	0,24	0,96	0,14	0,03	0,06

умеренных широт территории СССР. Поэтому для описания пол суммарной радиации тропических районов Атлантики могут быть использованы приведенные в работе [2] оценки взаимосвязей величин Q^* , $\sigma^2 Q^*$ и $P(Q^*)$ с количеством кучевых облаков n , полученные для умеренных широт территории СССР. Полученная линейная зависимость между относительной суммарной радиацией и баллом кучевых облаков справедлива для $2 \leq n \leq 9$.

Обработка стандартных актинометрических наблюдений, производившихся как в рейсах научно-исследовательских судов [7], так и на постоянных полигонах в экспедиции АТЭП [8], показала, что если рассматривать все виды облаков вместе, то линейная зависимость $Q^*(n)$ является лишь первым приближением, а более точно описывает процесс многочлен второй или даже третьей степени. К этому же выводу в настоящее время пришли и другие авторы [9, 4]. Возможно, что для отдельных форм облаков, как и показано выше для кучевых, имеют место свои характерные зависимости $Q^*(n)$ и их определение является одним из вопросов будущих исследований. Более принципиальным является вопрос о сравнительной количественной оценке ослабления суммарной радиации облаками над сушей и над океаном. Обобщение стандартных актинометрических наблюдений опять же по всем видам облаков показало [7], что ослабление радиации облаками над океаном по сравнению с ослаблением над континентом значительно меньше, что может быть объяснено либо другими оптическими свойствами облаков над океанами, либо существенно иной повторяемостью отдельных облачных форм при одном и том же балле общей облачности. С этой точки зрения полученный выше вывод о том, что кучевые облака над океаном одинаково с облаками под континентом ослабляют суммарную радиацию, явился для нас несколько неожиданным. Чтобы подтвердить это, необходимо продолжить исследования об оценке влияния как отдельных форм облаков, так и отдельных характерных их сочетаний на ослабление суммарной радиации над океаном и над сушей. Кроме того, для анализа следует шире привлечь всю имеющуюся информацию об оптических свойствах облаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимановская Р. Г., Фейгельсон Е. М. Потоки солнечного излучения у поверхности земли при кучевой облачности.— В кн.: Теплообмен в атмосфере. М., «Наука», 1972, с. 112—121.
2. Тимановская Р. Г. Статистическая структура потоков прямой и суммарной солнечной радиации у поверхности земли при кучевых облаках.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 297, с. 142—155.
3. Стохастическая структура полей облачности и радиации. Отв. ред. Ю.-А. Р. Мулламаа. Тарту, изд. Ин-та физ. и астр. АН ЭССР, 1972. 281 с.
4. Войтова К. В., Романов Ю. А., Самойленко В. С.— «Вестник МГУ. География», 1972, № 1, с. 49—57.
5. Методические указания по производству метеорологических и актинометрических наблюдений на судах и перфорации результатов в период проведения Атлантического Тропического эксперимента (АТЭП). Л., Изд. ГГО, 1974, с. 37—38.

6. Тимановская Р. Г., Фейгельсон Е. М. К методике изучения статистической структуры наземных потоков солнечной радиации в облачных условиях.— В кн.: Теплообмен в атмосфере. М., «Наука», 1972, с. 97—101.

7. Гирдюк Г. В. Влияние облачности на суммарную радиацию, поступающую на поверхность океана.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 297, с. 109—117.

8. Егоров Б. Н., Кириллова Т. В. К вопросу учета влияния облачности на суммарную радиацию в тропических районах Атлантики. См. наст. сборник, с. 102—105.

9. Тимофеев Н. А., Шахова М. В., Шутова Е. Н. Метод расчета режимных значений составляющих радиационного баланса морей и океанов.— В кн.: Морские гидрофизические исследования. Киев, «Наукова думка», 1969, с. 88—112.

Б. Н. Егоров, Т. В. Кириллова

К ВОПРОСУ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА СУММАРНУЮ РАДИАЦИЮ В ТРОПИЧЕСКИХ РАЙОНАХ АТЛАНТИКИ

Проведенный в рамках ПИГАП Международный Атлантический эксперимент АТЭП-74, исследовательские полигоны которого охватывали экваториальные и тропические районы Атлантического океана, позволил собрать значительную информацию о суммарной радиации и уточнить методику расчета этой важнейшей составляющей радиационного баланса.

Известно, что расчеты суммарной радиации, поступающей к подстилающей поверхности, проводят обычно по формуле

$$Q = Q_0 f(N), \quad (1)$$

где Q_0 — суммарная радиация при безоблачном небе, $f(N)$ — функция, учитывающая влияние облачности.

Вид функции $f(n)$ является определяющим фактором в различного рода расчетных схемах. В эмпирических формулах, учитывающих влияние облачности на суммарную радиацию, опубликованных за последние десятилетия в работах ряда авторов, предлагаются различные виды зависимостей $Q(n)$. Многие авторы рекомендуют линейное отношение между радиацией и количеством облаков. Однако в последнее десятилетие большее признание приобретают более сложные зависимости, точнее описывающие влияние существующих над океанами облачных систем на суммарную радиацию. В работах [1, 2, 3, 4] получена квадратичная форма связи между Q и N . Лэвасту [5] связывает инсоляцию с третьей степенью количества облаков. Методика учета влияния облачности на суммарную радиацию в условиях океана, разработанная нами [6], исходит из графических зависимостей между Q и N . Аналитическим выражением этих зависимостей удовлетворяет многочлен третьей степени.

Имевшиеся в нашем распоряжении данные 13 советских научно-исследовательских судов, участвовавших в АТЭП, позволили оценить характер зависимости между радиацией и облачностью в тропических районах океана. Исходными материалами, использовав-

имися для решения указанной выше задачи, явились дневные суммы суммарной радиации, полученные на судах в течение трех фаз работы на полигонах (28 июня — 15 июля, 28 июля — 16 августа, 10 августа — 19 сентября 1974 г.), и соответствующие им среднедневные значения облачности, рассчитанные по данным ежечасных наблюдений. Таким образом, в данной статье использовано всего 67 дневных сумм суммарной радиации и среднедневных значений облачности.

По этим данным с помощью ЭВМ были рассчитаны коэффициенты корреляции, связывающие дневные суммы радиации со среднедневной облачностью (N), а также с квадратом (N^2) и кубом этой величины (N^3).

Результаты расчета представлены в табл. 1. Согласно табл. 1, для тропических районов океана наиболее тесной является связь между радиацией и третьей степенью количества облаков. Наиболее высокий из полученных коэффициентов корреляции r_{Q, N^3} послужил основанием для использования его в уравнении регрессии, связывающем дневную сумму суммарной радиации (кал/(см²·день)) с кубом среднедневной облачности (баллы),

$$Q = 597,0 - 0,280 N^3. \quad (2)$$

Стандартная ошибка уравнения регрессии, рассчитанная по формуле

$$\sigma_{Q, N^3} = \sigma_Q \sqrt{1 - r_{Q, N^3}^2}, \quad (3)$$

равна 86,8 кал.

Из уравнения (2) следует, что для безоблачного неба дневная сумма радиации составляет 597,0 кал/(см²·день). Уравнение (2) может быть представлено и в следующем виде:

$$\frac{Q}{Q_0} = 1 - 0,00047 N^3. \quad (4)$$

Произведенная нами оценка влияния астрономического фактора «полуденная высота солнца» на значение суммарной радиации показала, что коэффициент корреляции $r_{Q, h_{\text{пл}}}$ получился равным 0,044; это указывает на то, что в районе АТЭП отсутствует значимая связь между этими элементами. Это объясняется незначитель-

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (r) между дневными суммами суммарной радиации и среднедневной облачностью (N), ее квадратом (N^2) и кубом (N^3), а также стандартные ошибки σ_r коэффициента корреляции

Облачность	r	σ_r
N	—0,648	0,040
N^2	—0,661	0,039
N^3	—0,690	0,039

ными пределами изменений полуденных высот солнца. Действительно для 12 судов, участвовавших в АТЭП, различия в полуденных высотах солнца в среднем не превышают 7°.

Проведем сопоставление значений возможной радиации Q_0 и отношения Q/Q_0 , полученных по данным АТЭП-74, с рассчитанными по нашей методике для аналогичных широт океана и периода времени, когда проводилась экспедиция АТЭП. Полагая, что для полигонов АТЭП характерны следующие средние: $t=26^\circ\text{C}$, $h_{\text{пд}}=75^\circ$, $\varphi=5^\circ$ с. ш., по таблицам [7] получим среднее значение возможной

радиации за период работ $Q \approx 610$ кал/(см²·день), которое удовлетворительно согласуется с рассчитанным по уравнению регрессии (2). Данные табл. 2, в которой для сопоставления представлены значения отношения Q/Q_0 , свидетельствуют о высокой согласованности этих значений, полученных по данным АТЭП и рассчитанных по методике, рекомендуемой Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова. Следует признать, что несколько неожиданным является полученное по формуле (4) значение Q/Q_0 при десятибалльной облачности, которое превосходит все известные ана-

логичные оценки. Это может быть объяснено двумя факторами: либо слабой статистической обеспеченностью полученного уравнения регрессии данными о сплошной облачности, либо значительной повторяемостью в данном районе океана облаков среднего и верхнего ярусов при условии сплошной облачности.

Таблица 2

Значения отношения Q/Q_0 , рассчитанные по методике [6] и полученные в АТЭП-74

n	Q/Q_0	
	рассчитанные по [6]	полученные в АТЭП
1	0,97	1,00
2	0,97	1,00
3	0,96	0,99
4	0,95	0,97
5	0,93	0,94
6	0,90	0,90
7	0,85	0,84
8	0,77	0,76
9	0,65	0,66
10	0,47	0,53

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев Н. А., Шаханова Т. В., Шутова Е. Н. Метод расчета режимных значений составляющих радиационного баланса морей и океанов.— В кн.: Морские гидрофизические исследования. Т. 42. Киев, «Наукова Думка», 1969, с. 88—112.
2. Красюк В. С., Шереметевская О. И. Приток солнечного тепла на поверхность океана.— «Метеорология и гидрология», 1963, № 7, с. 18—24.
3. Mateer C. Relationship between global radiation and cloudiness at Ocean Station „P”. Archiv für Meteorologic, Geophysik und Bioklimatologic. Ser. B., Band 12, Heft 3—4, Ween, 1963, p. 482—490.
4. Wirtki K. The average annual heat balance of the North Pacific Ocean and its relation to oceans circulation.—„J. of Geoph. Res.”, 1965, vol. 70, N 18, Sept., c. 4547—4561.

5. Leuvastu T. Factors affecting the temperature of the surface layer of the sea. Scientiarum Fennica, Commentationes Physico-matematicae, 1960, 25 (1), p. 3—136.

6. Гирдюк Г. В. и др. Влияние облачности на суммарную радиацию, поступающую на поверхность океана.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 297, с. 109—117.

7. Океанографические таблицы. Л., Гидрометеиздат, 1975, с. 304—339.

*И. А. Дюбкин, Р. Г. Тимановская, Д. Ф. Тимановский,
А. В. Морачевский*

КОЭФФИЦИЕНТ ПРОЗРАЧНОСТИ ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

Из многочисленных интегральных характеристик прозрачности атмосферы наиболее часто в геофизических исследованиях применяется интегральный коэффициент ее прозрачности p_m , рассчитываемый по формуле Буге по данным измерений прямой солнечной радиации при массе атмосферы m ,

$$p_m = \left(\frac{S_m}{S_0} \right)^{1/m}, \quad (1)$$

где S_0 — солнечная постоянная, принимаемая при расчетах равной 1,98 кал/(см²·мин).

Исследование коэффициента p_m интересно тем, что по его значениям можно получить информацию об атмосферных процессах, например об ослаблении радиации, о характере замутненности атмосферы и пр. Именно поэтому наряду с другими метеорологическими параметрами состояния атмосферы на широкой сети сухопутных станций и научно-исследовательских судах ГУГМС организована служба наблюдений за прямой солнечной радиацией [1]. В настоящее время, когда большое внимание уделяется вопросам охраны окружающей среды, значимость наблюдений за прямой солнечной радиацией еще больше возрастает, так как коэффициент интегральной прозрачности атмосферы в этом случае является неким показателем «фонового» загрязнения атмосферы [2].

Как следует из работы [1], наблюдения за прямой солнечной радиацией для расчета коэффициента p_m рекомендуется проводить в условиях малооблачной погоды, когда диск Солнца и область небосвода вокруг него в радиусе 5° не экранированы облаками. Это обусловлено отсутствием достаточного количества гелиостатов для массовой сети сухопутных станций, а на научно-исследовательских судах — отсутствием до настоящего времени принципиальной возможности регистрации прямой солнечной радиации. В результате

того наведение актиометра на Солнце осуществляется вручную. Естественно, в этих условиях надежность измерений прямой солнечной радиации, а также количества отсчетов малы. По-видимому, по этой причине работы, связанные с исследованием пространственной и временной изменчивости коэффициента p_m , выполнены для безоблачной и малооблачной атмосферы [3—5].

В настоящей работе впервые предпринята попытка оценки интегрального коэффициента прозрачности облачной атмосферы, т. е. самих облаков и подоблачного слоя атмосферы, вместе взятых. Постановка такой задачи интересна тем, что при положительном ее решении представится возможность, во-первых, разработки методики определения коэффициента прозрачности атмосферы в облачных условиях (в условиях быстро меняющегося состояния диска Солнца), что существенно повысит ценность такой информации и, во-вторых, получения количественных характеристик ослабления солнечной радиации облаками разных форм, что имеет большое значение для решения проблемы переноса коротковолновой радиации в облачных условиях.

Для оценки коэффициента прозрачности облачной атмосферы использовались данные непрерывной регистрации прямой солнечной радиации, осуществленной в период АТЭП-74 на НИСП «Эрнст Кренкель» [6], а также в пос. Воейково. В первом случае регистрация осуществлялась с помощью актиометра, смонтированного на системе автоматического слежения за Солнцем. В качестве регистратора использовался автоматический потенциометр КСП-4 со скоростью пробега каретки 2 с и скоростью протяжки диаграммной ленты 600 мм в час. Дискретность отсчетов составляла 15 с.

В пос. Воейково наведение актиометра на Солнце осуществляется с помощью механического гелиостата [7], в качестве регистратора использовался самописец МСЩ Пр-0618 [8]. Скорость протяжки ленты составляла 20 мм/ч, дискретность отсчетов 1 мин.

Из имеющихся записей для расчета коэффициента p_m отобраны случаи, когда наблюдалась полупрозрачная (по отношению к прямой солнечной радиации) облачность. Очевидно, этим свойством обладают прежде всего облака верхнего и среднего ярусов (перистые — Сі, Сс, Cs, высоко-слоистые и высоко-кучевые — As, Ac) и, как показано в работах [9—10], кучевые облака. Исследовались «чистые» случаи, т. е. такие, когда наблюдалась одна из указанных форм облаков при наличии других в количестве не более 2 баллов. Последнее обусловлено тем, что в природе чистые облачные образования встречаются очень редко.

В связи с существенной временной изменчивостью коротковолновой солнечной радиации в облачных условиях [9, 11, 12] для описания изменчивости интегрального коэффициента прозрачности в облачной атмосфере применен аппарат математической статистики. Согласно вышеуказанным работам, за одну реализацию рекомендуется брать результаты регистрации значений прямой солнечной радиации длительностью T не менее 1,5 ч. В нашем случае длина используемых реализаций составляла от 1,5 до 4 ч. Для каждой

такой выборки по N отсчетам рассчитывались средние значения коэффициента прозрачности $\bar{p}_m$, его дисперсии, коэффициенты изменчивости (вариации), плотности и функции распределения. С целью исключения влияния высоты Солнца на значения указанных характеристик они рассчитывались по значениям p_2 , т. е. по коэффициентам p_m , приведенным к массе атмосферы $m=2$. Приведение осуществлялось по методике С. И. Сивкова [13].

Таблица 1

Статистические параметры интегрального коэффициента прозрачности облачной атмосферы p_2

Облачность (балл, форма)	Чис- ло слу- чаев	Наблюдаемые пределы		
		$\bar{p}_2$	$\sigma_{p_2}^2$	V_{p_2}
Атлантический океан $\varphi = 6,5^\circ$ с. ш., $\lambda = 20^\circ$ з. д.				
10 Ci	1	0,587	0,002	0,07
7—8 Ci	4	0,516—0,603	0,006—0,012	0,13—0,21
8—9 Ac	4	0,364—0,422	0,030—0,046	0,47—0,52
2—3 Cu	6	0,596—0,686	0,022—0,042	0,22—0,35
6—7 Cu	3	0,509—0,534	0,045—0,050	0,042—0,050
7—8 Cb	1	0,160	0,013	0,70
Ленинград (Воейково)				
10 Ci, Cs	5	0,634—0,647	0,001—0,013	0,05—0,18
$\overline{10}$ Cc	2	0,510—0,518	0,022—0,028	0,29—0,31
8—9 Ci	3	0,590—0,600	0,002—0,011	0,07—0,18
4—5 Ac	2	0,573—0,653	0,030—0,034	0,26—0,27
6—7 Ac	1	0,481	0,041	0,42
3 Cu	1	0,659	0,027	0,24
6—7 Cu	3	0,438—0,445	0,050—0,063	0,50—0,52
8—9 Cu	2	0,293—0,386	0,030—0,033	0,27—0,44

Средние значения $\bar{p}_2$, дисперсии $\sigma_{p_2}^2$, коэффициенты V_{p_2} рассчитывались по известным из математической статистики формулам:

$$\bar{p}_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n p_{2i}; \quad (2)$$

$$\sigma_{p_2}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (p_{2i} - \bar{p}_2)^2; \quad (3)$$

$$V_{p_2} = \frac{\sqrt{\sigma_{p_2}^2}}{\bar{p}_2}; \quad (4)$$

$$p(p_2) = \frac{\Delta P(p_2)}{\Delta p_2}; \quad (5)$$

$$P(p_2) = P(p_{2i} \leq p_{2i+k}). \quad (6)$$

Все расчеты выполнены на ЭВМ.

Из табл. 1, в которой даны оценки пределов изменения некоторых статистических характеристик, полученных для разных облачных образований, можно сделать следующие заключения.

1. По значениям коэффициента p_2 рассматриваемые облачные системы над сушей и океаном практически не отличаются друг от друга, за исключением перистых облаков, для которых характерно то, что они несколько плотнее над океаном, чем над сушей. Более отчетливо это видно на рис. 1.

2. Хотя от случая к случаю как для суши, так и для океана наблюдается существенная изменчивость значений p_2 при одной и той же облачности (рис. 2), все же можно отметить, что в случае перистых облаков (Ci, Cs, Cs) средние значения p_2 , по-видимому, должны быть не менее 0,5, а коэффициенты изменчивости V_{p_2} — не более 0,2. Можно ожидать, что при количестве перистых облаков менее 6 баллов значения p_2 , $\sigma_{p_2}^2$ и V_{p_2} должны быть не меньше представленных в табл. 1 для указанных форм облаков. Отмечается интересная закономерность: прозрачность атмосферы при сплошной перистой облачности выше, чем при частичном покрытии ею

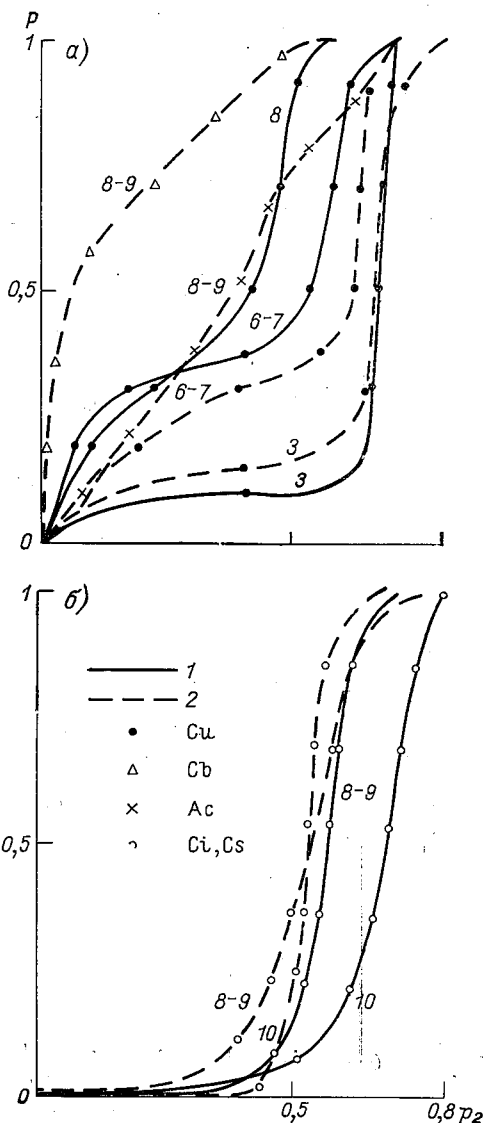


Рис. 1. Экспериментальные функции распределения $P(p_2)$ для условий кучевообразной (а) и перистой (б) облачности.

1 — данные над сушей, 2 — данные над океаном. Цифры у кривых — количество облачности в баллах.

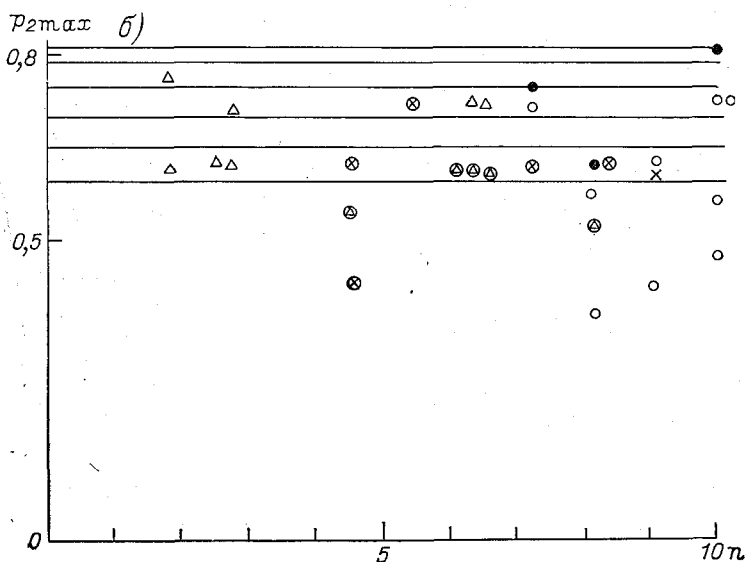
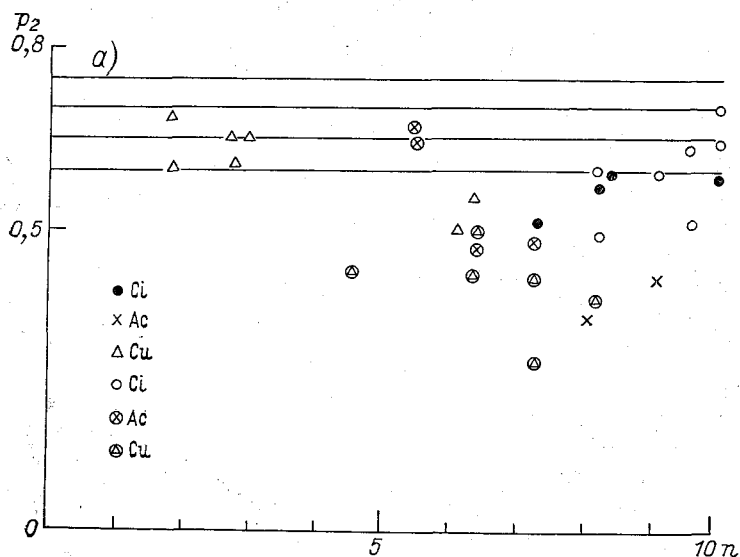


Рис. 2. Зависимость средних (а) и максимальных значений (б) коэффициентов прозрачности $\bar{p}_2$ от количества облачности.

Первые три формы облачности даны над океаном, остальные — над сушей. Горизонтальные линии проведены по данным С. И. Сивкова [13] и соответствуют прозрачности безоблачной атмосферы при разной степени ее замутненности.

небосвода. По-видимому, в ряде случаев это закономерное явление, так как согласно фотографиям, приведенным в атласе облаков [14], перистые облака, когда их количество менее 10 баллов, по сравнению со сплошным покрытием чаще имеют более уплотненную структуру (нити, полосы, ячейки и пр.), что и проявляется в значениях коэффициента p_2 .

Т а б л и ц а 2

Параметры плотностей распределений $P(p_2)$
(случаи те же, что и в табл. 1)

Облачность (балл, форма)	Наблюдаемые пределы				
	$p_2 \min$	$p_2 \max$	мода	вероятности моды	медiana
Атлантический океан $\varphi = 6,5^\circ$ с. ш., $\lambda = 20^\circ$ з. д.					
10 Ci	0,450	0,650	0,600	0,39	0,550
7—8 Ci	0,250—0,350	0,650—0,700	0,450—0,650	0,23—0,26	0,502—0,600
8—9 Ac	0—0,050	0,550—0,700	0,150—0,650	0,14—0,18	0,200—0,300
2—3 Cu	0,010—0,075	0,700—0,850	0,700—0,800	0,28—0,84	0,700—0,750
6—7 Cu	0	0,650—0,700	0,640—0,650	0,42—0,53	0,680—0,650
7—8 Cb	0	0,550	0	0,55	0
Ленинград (Воейково)					
10 Ci, Cs	0,200—0,500	0,750	0,700	0,28—0,29	0,650—0,700
<u>10</u> Cc	0,050	0,600	0,600	0,48	0,550
8—9 Ci	0,100—0,350	0,650—0,700	0,600—0,650	0,27—0,53	0,600
4—5 Ac	0,100—0,450	0,550—0,750	0,550—0,700	0,45—0,92	0,550—0,700
7 Ac	0,150	0,650	0,600	0,40	0,600
3 Cu	0,05	0,700	0,700	0,82	0,700
6—7 Cu	0—0,100	0,700	0,600—0,650	0,33—0,40	0,500—0,650
8—9 Cu	0	0,550	0,100—0,500	0,30—0,33	0,150—0,300

Что же касается кучевообразной облачности (высоко-кучевой — Ac и кучевой — Cu), то при ее наличии значения p_2 , σ_{p_2} и V_{p_2} зависят от количества ее на небосводе: у p_2 отмечается тенденция к возрастанию, что вполне логично, а у V_{p_2} — к уменьшению при уменьшении степени покрытия неба облаками.

3. Если принять во внимание классификацию оптического состояния атмосферы по значениям коэффициента p_m , предложенную С. И. Сивковым [13], можно отметить, что, когда кучевые и высококучевые облака наблюдаются в количестве до 3 баллов, а перистые — около 10 баллов, такая атмосфера ослабляет коротковолновую солнечную радиацию примерно так же, как безоблачная, но с повышенной мутностью (рис. 2 а).

Рассмотрим плотности распределения $P(p_2)$. Как видно из табл. 2, в которой представлены основные параметры указанных

распределений, наблюдается большая изменчивость значений p_2 в пределах даже одного случая (одной реализации) измерений. Очевидно, что минимальные значения p_2 для всех облачных ситуаций характерны для условий, когда на диске Солнца наблюдались наиболее плотные участки облачных неоднородностей. Из табл. 1 и 2, а также рис. 1 следует, что даже такие тонкие облачные образования, как перистые облака (Ci, Cs, Cc), имеют довольно неоднородную структуру: при средних значениях p_2 около 0,500—0,600

Таблица 3
Повторяемость (%) прозрачности безоблачной
атмосферы в облачных условиях (в просветах между
облаками) над разными подстилающими
поверхностями

Подстилающая поверхность	Прозрачность атмосферы p_2 , по Сивкову [13]		
	нормаль- ная, $p_2 \approx 0,750$	понижен- ная, $p_2 \approx 0,700$	низкая, $p_2 \approx 0,650$
Ленинград (Воейково)	25	50	25
Атлантический океан $\varphi = 6,5^\circ$ с. ш., $\lambda = 20^\circ$ з. д.	33	53	14

наблюдаются отдельные участки, для которых p_2 очень мало (см. табл. 2), нередко такое же, как у кучевых (Cu) и высоко-кучевых (Ac) облаков, когда их мало на небосводе. Максимальные значения p_2 наблюдаются в пределах 0,600—0,750 и, по-видимому, при облачности на небосводе менее 10 баллов характеризуют прозрачность безоблачной атмосферы в облачных условиях, т. е. когда диск Солнца находится между облаками. Другими словами, максимальные значения p_2 в облачных условиях при количестве облаков менее 10 баллов характеризуют прозрачность безоблачной атмосферы.

На рис. 2 б представлены для всех случаев измерений максимальные значения p_2 . Из рисунка следует, что как над сушей, так и над океаном в облачных условиях нормальная прозрачность атмосферы, для которой по классификации С. И. Сивкова [13] $p_2 \approx 0,750$, наблюдается редко, а чаще в облачных условиях преобладает атмосфера с пониженной прозрачностью, $p_2 \approx 0,700$ (табл. 3).

Заметим, что употребляемые в работе термины «суша» и «океан» все же соответствуют пока строго двум пунктам наблюдений — пос. Воейково и точке Атлантического океана с координатами $\varphi = 6,5^\circ$ с. ш. и $\lambda = 20^\circ$ з. д.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. По непрерывным регистрациям прямой солнечной радиации

в облачных условиях можно получить информацию о прозрачности атмосферы, когда количество облаков менее 10 баллов.

2. Как в умеренных широтах ЕТС, так и в районе Тропической Атлантики в облачных условиях преобладает атмосфера с пониженной прозрачностью, для которой $p_2 \leq 0,700$.

3. Перистые облака (Ci, Cs) умеренных широт суши менее плотные, чем в Тропической Атлантике.

4. Характерной особенностью перистых облаков над указанными районами является то, что, когда эти облака наблюдаются в количестве более 6 баллов, но менее 10 баллов, они оптически более плотные, чем сплошной облачный покров из перистых облаков.

5. Для различного количества кучевообразной облачности на небосводе (Cu, Ac) получены пределы изменчивости коэффициента p_2 . Однако по имеющимся данным не представляется возможным высказать определенные суждения о различиях их оптических толщин над сушей и океаном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по определению характеристик прозрачности атмосферы для актинометрических отделов ГУГМС. Л., Гидрометеиздат, 1965, с. 1—36.
2. Русина Е. Н. Оценка мутности атмосферы по актинометрическим данным.— «Тр. ГГО», 1971, вып. 254, с. 190—197.
3. Абакумова Г. М., Евневич Т. В., Семенова З. П. Изменчивость коэффициента прозрачности атмосферы.— «Метеорология и гидрология», 1975, № 1, с. 36—41.
4. Дмитриев А. А., Абакумова Г. М. Коэффициент прозрачности атмосферы по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ.— В кн.: Осадки и радиационный режим Москвы. М., изд. МГУ, 1967, с. 12—32.
5. Пивоварова З. И. Распределение коэффициента прозрачности атмосферы (для интегрального потока) по территории СССР.— «Тр. ГГО», 1968, вып. 213, с. 105—120.
6. Гудименко А. В. и др. Линейные размеры кучевых облаков по данным наземных измерений потоков излучения.— См. наст. сборник. с. 114—122.
7. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. Л., Гидрометеиздат, 1968, с. 115.
8. Справочник по гидрометеорологическим приборам и установкам. Л., Гидрометеиздат, 1971. 47 с.
9. Тимановская Р. Г. Статистическая структура потоков прямой и суммарной радиации у поверхности земли при кучевых облаках.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 297, с. 142—154.
10. Тимановская Р. Г., Фейгельсон Е. М. Некоторые параметры кучевых облаков, полученные по фотографиям небесного свода и из наземных актинометрических измерений.— В кн.: Теплообмен в атмосфере. М., «Наука», 1972, с. 107—112.
11. 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, с. 457—463.
12. Тимановская Р. Г., Фейгельсон Е. М. К методике изучения статистической структуры наземных потоков солнечной радиации в облачных условиях.— В кн.: Теплообмен в атмосфере. М., «Наука», 1972, с. 97—100.
13. Сивков С. И. Методы расчета характеристик прозрачности солнечной радиации. Л., Гидрометеиздат, 1968, с. 171—199.
14. Атлас облаков. Л., Гидрометеиздат, 1957. 120 с.

*А. В. Гудименко, Л. Б. Руднева, Р. Г. Тимановская,
Д. Ф. Тимановский*

ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ КУЧЕВЫХ ОБЛАКОВ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Исследование пространственной структуры поля облачности привлекает внимание широкого круга специалистов в связи с развитием работ по параметризации переноса радиации в облачных условиях, изучением энергетического баланса атмосферы, а также при решении ряда задач практического характера, как, например, определение вероятности чистоты линии визирования небосвода с земной поверхности или из атмосферы на объекты, находящиеся на земле, и т. д. При решении перечисленных задач необходимы сведения о характерных размерах облачных образований, о закономерностях их изменения в течение суток, времени года, в зависимости от географического положения.

Известно лишь несколько публикаций [1—5], относящихся к изучению пространственной структуры кучевых облаков. Наиболее полные сведения об изменчивости пространственных характеристик кучевых облаков представлены в работе В. Планка [1], который с борта высотного самолета провел фотографирование наиболее типичных облачных образований над п-вом Флорида. По результатам статистического анализа материалов аэрофотосъемки были выявлены закономерности изменения плотности количества облаков (числа облаков на единицу площади) в течение суток. Показано, что в распределении облаков по линейным размерам можно выделить некий модальный диапазон изменения размеров облаков, который вносит основной вклад в облачный покров неба и соответственно в облачный объем. В работе отмечается также появление групповой структуры в облачных образованиях, формирующихся около полудня. Исследование Планка представляет собой попытку количественного описания найденных закономерностей развития кучевых облаков, и с этой точки зрения полученные результаты впервые обосновывают расчеты переноса излучения в условиях кучевых облаков [6].

Результаты Планка относятся лишь к условиям развития кучевых облаков над п-вом Флорида, поэтому несомненный интерес представляет сравнение характеристик кучевых облаков для других географических районов земного шара, что позволяет оценить степень универсальности выявленных Планком закономерностей.

В работе [7] было показано, что, располагая результатами непрерывной регистрации прямой и суммарной радиации в облачных условиях, а также длинноволновой радиации в спектральном интервале 8—12 мкм с помощью сканирующего ИК радиометра, мож-

Таблица 1

Характеристика объема выборок, используемых при обобщении в данной работе

Приемник радиации	Платформа наблюдений	Объем выборки		
		количество облачных неоднородно- стей	суммарное время измерений, ч	суммарное линейное пространство, км
ИК радиометр	пос. Воейково	790	104	4160
Актинометр	пос. Воейково	300	29	1080
	НИСП „Эрнст Кренкель“ ($\varphi=7^\circ$ с. ш., $\lambda=20^\circ$ з. д.)	1020	63	1200
Пиранометр	НИСП „Муссон“ ($\varphi=12\div 17^\circ$ с. ш., $\lambda=30\div 50^\circ$ з. д.)	584	40	1200

но получить сведения о количестве облаков в дни измерений, частоту появления облаков в поле зрения оптических приборов в заданном направлении, количественные оценки линейных масштабов облаков. Кроме того, непрерывные записи потоков радиации в течение нескольких часов позволяют проследить за закономерностями изменения этих характеристик облачности в процессе ее развития.

Цель настоящей работы состоит в обобщении данных о распределении числа облаков по линейным размерам на основе измерений потоков радиации в облачных условиях и сопоставлении полученных данных с результатами исследований пространственной структуры кучевых облаков, выполненных другими авторами.

В качестве исходного материала для получения распределения числа облаков по линейным размерам были использованы (табл. 1) результаты регистрации длинноволновой радиации в участке спектра 8—12 мкм ИК радиометром в летние периоды 1969—1974 гг. в пос. Воейково, регистрации потоков прямой радиации в летний период 1975 г. в пос. Воейково и на НИСП «Эрнст Кренкель» в экспедиции ТРОПЭКС-74 с помощью актинометра, смонтированного на системе автоматического наведения на солнце, и регистрации пото-

ков суммарной радиации стандартными пиранометрами М-80 в двух рейсах НИСП «Муссон» в тропическую зону Атлантики.

Известно, что появление облачности в поле зрения ИК радиометра вызывает увеличение измеряемой радиации, а в случае измерения потоков коротковолновой радиации экранирование облаками солнечного диска приводит к уменьшению измеряемых потоков. Наиболее заметное изменение коротковолновой и длинноволновой радиации в участке спектра 8—12 мкм вызывает кучевые облака. Регистрограммы сигналов в этом случае представляют собой чередующийся ряд максимумов (соответствующих облаку в поле зрения ИК радиометра) и минимумов (соответствующих безоблачному небу в просветах между облаками или уменьшению их плотности), для регистрограмм сигналов актинометра и пиранометра максимумы соответствуют открытому диску солнца, а минимумы — экранированию солнечного диска облаками [7, 8].

Очертания облаков непрерывно меняются во времени, что особенно заметно в начальной стадии облакообразования, поэтому форма записи сигнала, соответствующего кучевому облаку, в значительной мере может отличаться от формы гест-сигнала, с помощью которого в работе [2] проведено теоретическое описание структуры поля кучевых облаков. Границы облачных образований часто «изрезаны» и представляют собой отдельные «выбросы», и, таким образом, форма сигнала края облака представляет собой дополнительные максимумы с уменьшающейся амплитудой.

Если учесть, что при измерении потоков радиации в облачных условиях в поле зрения приборов попадает случайное сечение облака, то естественно, что, применяя термин «линейный размер облачного образования», мы условно подразумеваем некий средний его размер в пределах тех градаций линейных размеров, которые выбраны для описания распределения числа облаков по размерам. Очевидно, что при построении таких распределений для отдельных дней измерений мы получаем некоторые преимущественные сечения облаков за счет ориентации кучевых облаков по отношению к направлению ветра. Как показывают результаты расчетов [4], отклонение случайных сечений облаков от их условного диаметра не превышает 10—15%.

В табл. 1 приведены сведения о выборке измерений, по данным которой были определены распределения облаков по размерам. Угловое разрешение ИК радиометра позволяет выделить наименьший диаметр кучевого облака приблизительно 30 м при высоте его основания около 1 км.

Методика определения временных размеров кучевых облаков по данным измерений коротковолновой и длинноволновой радиации заключалась в определении интервала времени, в течение которого в поле зрения приемника проплывало облако.

Полупрозрачные края кучевых облаков, инерционность измерительной аппаратуры, частичное осреднение яркости границы облака в поле зрения радиометра не позволяют точно выделить тот уровень яркости длинноволновой радиации, который соответствует

границе облака. За условный уровень, по которому определялись временные размеры облаков, было выбрано максимальное значение яркости безоблачного неба (в длительных просветах между облаками) в день измерения. За пороговый уровень относительного потока прямой и суммарной радиации было выбрано значение, равное 0,9 от максимальной разности потоков, соответствующих условиям безоблачного неба и экранированию солнечного диска кучевыми облаками.

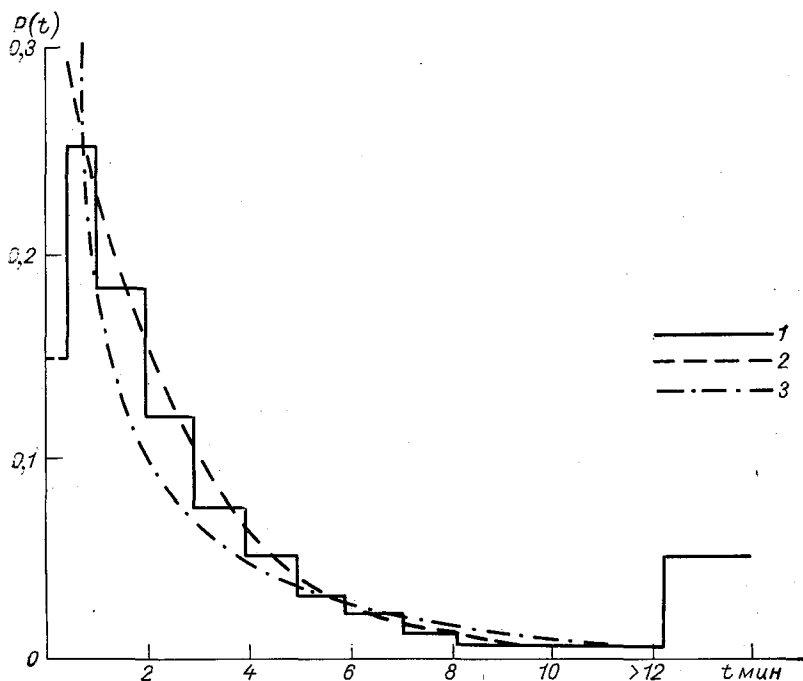


Рис. 1. Дифференциальные функции распределения числа облаков по временным размерам.

1 — по данным ИК радиометра, 2 — аппроксимация данных ИК радиометра кривой $p(t) = 0,37 e^{-0,45t}$, 3 — по данным работы [2].

На рис. 1 представлено распределение числа облаков по временным размерам, полученное по данным измерений ИК радиометром яркости околосенитной зоны небосвода при количестве облаков 3—8 баллов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в окрестностях Ленинграда наблюдаются кучевые облака с временными размерами от десятков секунд до 10 мин и больше. Наиболее часто встречаются облака с временными размерами 30—60 с.

В интервале временных размеров 1—8 мин форма распределения приближается к экспоненциальной:

$$P(t) = ae^{-bt},$$

где a и b равны соответственно 0,37 и 0,45 мин⁻¹.

Сравнение полученного и приведенного в работе [2] распределения числа облаков по временным размерам показывает, что повто-

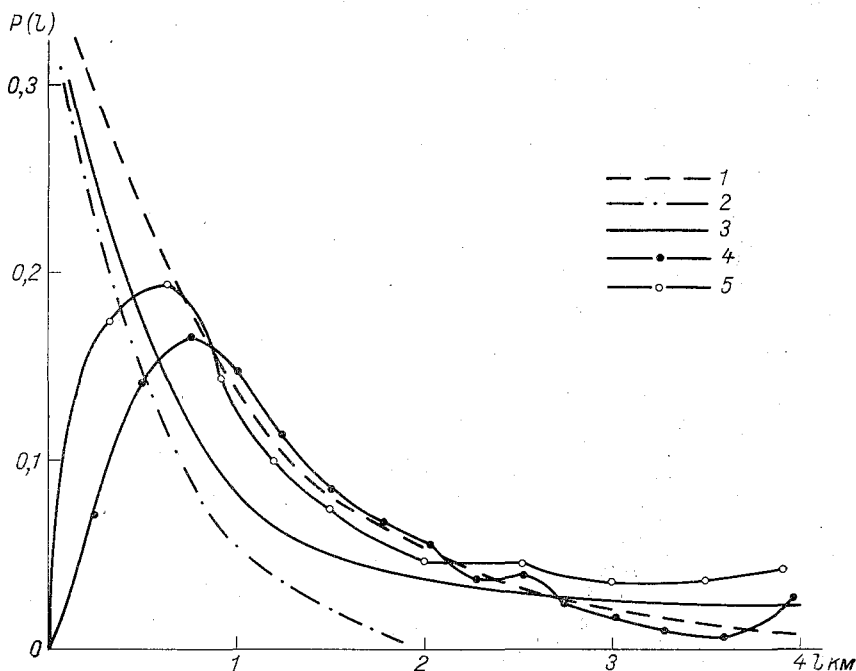


Рис. 2. Дифференциальные функции распределения числа облаков по линейным размерам.

1, 2 — распределения, описываемые формулами; $p(l) = 0,38 e^{-l}$, $p(l) = 0,38 e^{-2l}$, 3 — по данным работы [2], 4 — по данным работы [4], 5 — по данным ИК радиометра.

ряемость облаков с временными размерами 1,5—4 мин по данным ИК радиометра в окрестностях Ленинграда выше, чем по данным работы [2] над территорией Прибалтики.

Однако корректное сопоставление полученных распределений возможно лишь в линейных масштабах, так как преобладание разных скоростей ветра в том или ином географическом районе может затушевывать действительные расхождения в форме сравниваемых распределений. Распределение числа облаков по временным размерам было перестроено относительно линейных масштабов с уче-

ом скорости ветра на уровне облаков, которая определялась по данным аэрозондирования в дни измерения (рис. 2).

Заметим, что в действительности скорость перемещения облаков может не совпадать со скоростью ветра на уровне основания облаков. Как правило, на всех высотах скорость ветра (если она больше 4 м/с) превышает скорость движения облаков и в среднем

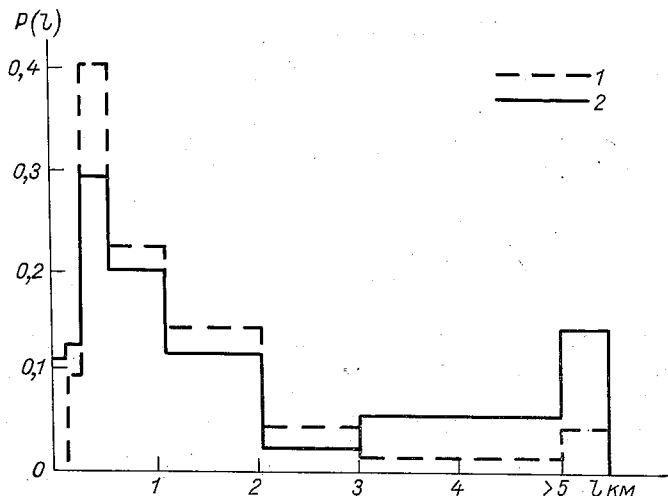


Рис. 3. Дифференциальные функции распределения числа облаков по линейным размерам, полученные по данным измерений суммарной радиации под Ленинградом при количестве облаков менее 3 баллов (1), более 6 баллов (2).

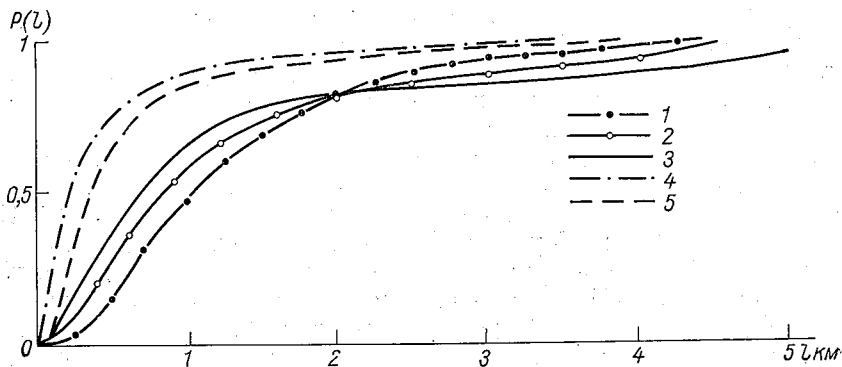


Рис. 4. Интегральные функции распределения числа облаков по линейным размерам.

1 — по данным работы [2], 2 — по данным измерений длинноволновой радиации в участке спектра 8—12 мкм, 3 — по данным измерений суммарной радиации под Ленинградом, 4 — по данным измерений прямой радиации на НИСП «Эрнст Кренкель» в тропической зоне Атлантики, 5 — по данным измерений суммарной радиации на НИСП «Муссон» в тропической зоне Атлантики.

скорость движения облаков составляет 80—90% скорости ветр [9]. Таким образом, оценка линейных размеров облаков по данным аэрозондирования несколько завышена. Как следует из рис. 2 в окрестностях Ленинграда наблюдаются кучевые облака размерами от 200—300 м до 4 км и более. Максимальная повторяемость приходится на линейные размеры облаков около 1 км.

Представляется интересным сравнить полученные по ИК радиометру дифференциальные и интегральные распределения числа облаков по линейным размерам с соответствующими распределениями, приведенными в работах [2, 4]. Эти распределения также представлены на рис. 2. Анализ сопоставления распределений показывает, что в диапазоне измерения линейных размеров 0,75—2,5 км форма распределений по данным ИК радиометра и по данным А. И. Фурмана [4] приближается к экспоненциальной (кривая на рис. 2) с показателем экспоненты, равным единице. По данным Планка, распределение кучевых облаков по размерам также описывается экспонентой, но показатель экспоненты в околополуденные часы развития кучевых облаков лежит в пределах 1,30—2,7 и в среднем приблизительно равен 2 (кривая 2 на рис. 2). Указанное различие в форме распределения свидетельствует о преобладании более мелких облаков над п-вом Флорида по сравнению с территорией Украины и северо-западной части ЕТС (Ленинград). Необходимо отметить, что сравниваемые распределения кучевых облаков по линейным размерам получены в условиях с разной степенью покрытости неба кучевой облачностью.

Логично полагать, что небольшие линейные размеры кучевых облаков характерны для начальной стадии развития кучевых облаков при небольшом количестве облаков на небосводе и при увеличении количества облаков размеры их увеличиваются. Как показали данные (рис. 3), полученные в пос. Воейково по актинометру при разном количестве облаков, форма распределения числа облаков по линейным размерам практически не зависит от количества облаков на небосводе, однако вероятность появления облаков, линейные размеры которых превышают 3,5 км, возрастает при увеличении количества облаков на небосводе.

Проанализируем данные о распределении кучевых облаков по линейным размерам, полученные для тропической зоны Атлантики по результатам измерений коротковолновой радиации на НИСП «Эрнст Кренкель» и «Муссон» (рис. 4). Исходный материал был получен на НИСП «Эрнст Кренкель» в период июнь—август 1974 г. на НИСП «Муссон» — за декабрь—январь 1972-73 гг.

Приведенные на рис. 4 результаты показывают, что диапазон изменения линейных размеров кучевых облаков в тропической зоне Атлантики в течение круглого года составляет от нескольких десятков метров до 3—4 км. На рисунке представлены также интегральные функции распределения числа облаков по линейным размерам, полученные над сушей.

Дополнением к рис. 4 могут быть данные табл. 2, в которой приведена повторяемость количества кучевых облаков. Обращает на

на себя внимание тот факт, что 80% облаков над сушей имеют линейные размеры до 2 км, а над океаном — до 800—900 м.

При сопоставлении распределений числа облаков по линейным размерам необходимо иметь в виду, что исходные данные, полученные разными авторами, относятся в основном к условиям наблюдений при количестве облачности на небосводе от 2 до 6 баллов, и, таким образом, приведенные на рис. 3 и 4 распределения, по-видимому, не отражают истинного диапазона возможных размеров кучевых облаков. В дальнейшем по мере накопления данных о размерах кучевых облаков при количестве их на небосводе более 7 баллов, будет проведено уточнение форм распределения в диапазоне изменения линейных размеров более 4 км.

Таким образом, имеющиеся экспериментальные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Диапазон изменения линейных размеров кучевых облаков при их количестве до 6 баллов в основном простирается от десятков метров до 4 км.

Для уточнения полученных распределений необходимо накопить данные о повторяемости кучевых облаков с линейными размерами более 4 км и продолжить измерения в других географических районах.

2. Над тропической зоной Атлантики по сравнению с Европейской территорией СССР преобладают более мелкие размеры кучевых облаков.

3. Форма распределения числа облаков по линейным размерам практически не зависит от количества облаков, однако наблюдается тенденция к увеличению линейных размеров облачных неоднородностей с увеличением их количества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plank V. G. The Size Distribution of Cumulus Clouds in Representative Florida Populations—„J. Appl. Met.”, 1969, vol. 8, N 1, p. 46—67.
2. Стохастическая структура полей облачности и радиации. Отв. ред. Ю.-А. Р. Мулламаа. Тарту, изд. Ин-та физ. астр. АН ЭССР, 1972. 281 с.
3. Облачность и радиация. Тарту, изд. Ин-та физ. и астр. АН ЭССР. 1975, 251 с.
4. Фурман А. И. Некоторые пространственные характеристики полей кучевых облаков и надежность их определения с земли.—«Метеорология и гидрология», 1974, № 7, с. 28—33.
5. Малкевич М. С. Оптические исследования атмосферы со спутников. М., «Наука», 1973. 302 с.

Таблица 2
Повторяемость (%) количества кучевых облаков, соответствующая кривым 3 и 4 на рис. 4

Платформа наблюдений	Количество облаков, балл		
	0—3	3—6	6
НИСП „Эрнст Кренкель”	35	35	30
НИСП „Муссон”	50	25	25
Ст. Колтуши	50	25	25

6. Бусыгин В. П., Евстратов Н. А., Фейгельсон Б. М. Описание свойств кучевых облаков и лучистые потоки при кучевой облачности.— «Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана», 1973, т. 9, № 11, с. 1142—1151.

7. Тимановская Р. Г., Руднева Л. Б. Описание состояния облачного неба по данным регистраций потоков излучения.— «Тр. ГГО», 1975, вып. 345, с. 13—21.

8. Тимановская Р. Г., Тимановский Д. Ф. Определение количества облаков по непрерывным регистрациям прямой радиации.— «Тр. ГГО», 1975, вып. 345, с. 8—13.

9. Воронов Г. С. Некоторые результаты радиолокационных исследований эволюции конвективных облаков.— «Метеорология и гидрология», 1973, № 6, с. 46—55.

В. В. Белевич

О СВЯЗИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВНЕШНЕГО ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ АТЛАНТИКИ И ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ЕЕ ВОД

Поступающая от Солнца на Землю радиация является единственным источником прихода лучистой энергии, определяющей тепловой и динамический режим нашей планеты. Значительная часть солнечной радиации поглощается океанами. Главными аккумуляторами тепла в океанах являются тропические зоны, откуда оно переносится в другие районы воздушными и океаническими течениями.

Данные о тепловом балансе позволяют выяснить первопричину тепловых процессов, происходящих в океане. Известно [6], что теплосодержание отдельных районов океана определяется его полным тепловым балансом, который складывается из теплового баланса поверхности океана (внешнего теплового баланса), адвекции тепла течениями, потоков тепла между поверхностью океана и нижележащими слоями и теплоты осадков. Поэтому весьма важно оценить вклад каждого из них и в особенности связь внешнего теплового баланса с теплосодержанием океана.

Из литературных источников [5] известно, что зависимость между макромасштабными изменениями температуры поверхности воды и воздуха, обусловливаемыми приходом солнечной радиации, и теплосодержанием океана довольно тесная. Что же касается мезомасштабной зависимости этих характеристик, то она изучена еще недостаточно, особенно для тропических районов океана.

В работе [3] по данным ЭОС, полученным на разрезах экваториальной Атлантики в период АТЭП (июль — сентябрь 1974 г.), показано наличие линейной корреляционной зависимости между теплосодержанием 50-метрового слоя океана и среднесуточной температурой приводного слоя воздуха, колебания которой определяются величиной прихода солнечной радиации. Выполненные авторами расчеты в соответствии с теорией наименьших квадратов,

сокращенным методом [4], показали, что существует довольно тесная связь количества тепла в деятельном слое океана со среднесуточной температурой воздуха (табл. 1). Из этого можно заключить, что теплосодержание 50-метрового слоя океана в рассматриваемых районах зависит в основном от количества тепла, поступающего на его поверхность. Установлено, что зависимость между анализируемыми элементами имеет временной ход. Наиболее тесная связь была отмечена в июле, менее четкая — в сентябре. Во внутритропической зоне конвергенции связь ухудшалась.

Таблица 1
Значения коэффициентов корреляции между теплосодержанием в слое 0—50 м и среднесуточной температурой воздуха по данным ЭОС

Разрез	Период наблюдений	
	27 VI—16 VII	28 VII—15 VIII
25°30' з. д. . . .	0,91	0,57
23°30' з. д. . . .	0,82	0,52

Изложим некоторые результаты анализа тесноты связи внешнего теплового баланса с теплосодержанием деятельного слоя океана в отдельных районах тропической зоны Атлантики по материалам экспедиции ТРОПЭКС-72 и последующих рейсов судов погоды ГОИНА.

Располагая данными метеорологических наблюдений НИСП «Муссон» и «Пассат», собранными на полигонах ТРОПЭКС-72, и в точке 5° с. ш., 30° з. д., полученными во время последующих экспедиций в тропическую зону Атлантики (в 1972—1973 гг.), оценим корреляционную зависимость между срочными (с трехчасовой дискретностью) значениями внешнего теплового баланса и колебаниями теплосодержания деятельного слоя океана. При этом в качестве показателя изменения теплосодержания соответствующих слоев была принята разность средней температуры воды между слоями 0—10 и 10—20 м, 10—20 и 20—30 м и т. д. до глубины 100 м. Используя такие разности, преследовали цель сохранить в колебаниях температуры воды лишь ту ее часть, которая обусловлена теплообменом между океаном и атмосферой и исключить влияние возмущений, вызванных внутренними и приливными волнами, одинаково влияющими на всю толщу вод деятельного слоя. Коэффициент корреляции между указанными характеристиками вычислялся при сдвигах во времени разностей температуры воды по отношению к тепловому балансу на 0, 3, 6, ..., 24 ч. Расчеты были выполнены на ЭВМ БЭСМ-4.

Анализ полученных результатов показал, что тесная корреляционная зависимость между рассматриваемыми характеристиками прослеживается лишь по отдельным районам тропической зоны Атлантики. Так, в точке 0° ш., 26° з. д. на втором синоптическом полигоне (НИСП «Муссон», 23—27 августа 1972 г.) наилучшая корреляционная связь наблюдалась при сдвиге 6 ч разности температуры воды слоев 0—10 и 10—20 м относительно внешнего теплового баланса. Коэффициент корреляции в этом случае оказался равным

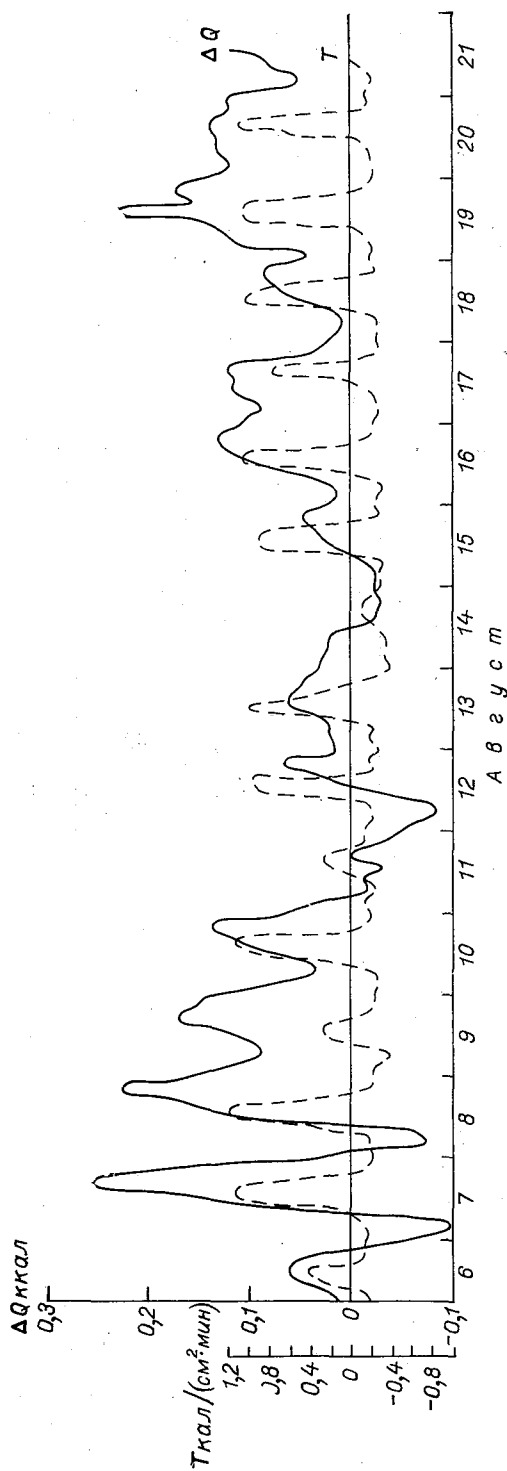


Рис. 1. Ход разности теплосодержания слоев 0—10 и 10—20 м (ΔQ) и внешнего теплового баланса на первом синоптическом полигоне НИСП «Муссон» (T).

0,70. При сдвиге на 3 ч коэффициент корреляции внешнего теплового баланса с разностью температуры воды для тех же слоев составил 0,48. С глубиной связь убывала, и для разности между температурами слоев 10—20 и 20—30 м при сдвиге 6 ч коэффициент корреляции был всего 0,34, а при сдвиге 3 ч он составлял 0,25. На больших глубинах, как и следовало ожидать, значимой связи [4] рассматриваемых величин не обнаружено. Для других полигонов экспедиции ТРОПЭКС-72 (точки 7,5° с. ш., 18,5° з. д.; 2,5° с. ш.,

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции накопления
суточных сумм внешнего теплового баланса
и теплосодержания океана в слое 0—10 м по данным
ТРОПЭКС-72

Полигон наблюдений	НИСП	При сдвиге	
		нулевым	на одни сутки (теп- лосодер- жание за- паздывает)
Мезометеорологический (11—25 VII)	„Пассат“	0,87	0,80
	„Муссон“	0,37	0,41
Первый синоптический	„Пассат“ (6—21 VIII)	0,57	0,78
	„Муссон“ (8—20 VIII)	0,49	0,27

22,0° з. д.) и экспедиций 1972—1973 гг. (точка 5° с. ш., 30° з. д.) коэффициенты корреляции между этими же характеристиками для разности слоев 0—10 и 10—20 м оказался меньше 0,50. По-видимому, причина столь низкой связи заключается в большом влиянии на искомую зависимость других факторов, а именно: адвекции тепла течениями, теплоты осадков и др.

Хотя полученные коэффициенты корреляции внешнего теплового баланса океана и изменений теплосодержания его верхнего слоя довольно низкие, поиск такой связи представляется физически обоснованным. За отдельные периоды эта связь хорошо подтверждается графически. Для примера на рис. 1 приведен ход разности теплосодержания в слоях 0—10 и 10—20 м и теплового баланса на первом синоптическом полигоне по данным НИСП «Муссон». Из анализа рисунка хорошо виден согласованный ход изучаемых характеристик 6—8, 10, 13, 19—21 августа и легко установить, что среднее время наступления максимума внешнего теплового баланса

13,6 ч, а разности температуры воды вышеуказанных слоев 17,1 ч; время наступления минимума соответственно 3,6 и 5,1 ч. Запоздывание времени наступления максимума разности теплосодержания верхних слоев по сравнению с наступлением максимума теплового баланса поверхности океана составляет в среднем 3—5 ч, а минимума 1,5 ч. Вероятно, разное время наступления экстремумов в сочетании с весьма сложной динамикой вод этого района, отличающейся большой изменчивостью [1], присутствие ВЗК с интенсивными ливневыми осадками могут служить объяснением низких коэффициентов корреляции в области мезомасштабных колебаний, хотя в некоторых районах и за отдельные периоды связь вполне удовлетворительная.

При дальнейшем анализе материалов с целью исключения внутрисуточных флуктуаций были прокоррелированы суммы последовательного накопления суточных значений внешнего теплового баланса за каждый рассматриваемый период и соответствующие им средние за сутки значения теплосодержания в слое 0—10 м. Результаты такого анализа приведены в табл. 2.

Из таблицы следует, что в точках НИСП «Пассат» получены довольно высокие значения взаимных корреляционных функций рассматриваемых характеристик. Можно предположить, что достаточно тесная связь этих функций по данным НИСП «Муссон» на мезометеорологическом полигоне (точка 7,5° с. ш., 23,5° з. д.) объясняется существенным влиянием адвекции на теплосодержание 10-метрового слоя воды.

На первом синоптическом полигоне НИСП «Муссон» (2,5° с. ш., 22° з. д.) рассчитанные значения дополнения накопления сумм внешнего теплового баланса оказались в течение всего периода отрицательными, а значения взаимной корреляционной функции анализируемых характеристик низкими (табл. 2). При обратной зависимости (сдвиг суммы теплового баланса поверхности по отношению к теплосодержанию верхнего слоя океана) получены более высокие значения корреляционных функций: 0,49 при нулевом сдвиге и 0,58 при сдвиге на одни сутки. Следовательно, в этом случае первостепенная роль во взаимодействии океана и атмосферы принадлежит теплосодержанию океана. Отрицательный тепловой баланс на первом синоптическом полигоне по данным НИСП «Муссон», как следует из анализа, обусловлен повышенным испарением. Высокие значения затрат тепла на испарение в свою очередь можно объяснить активной ветровой деятельностью (до 8—10 м/с), адвекцией тепла течениями. Однако не исключена возможность появления ошибок при расчете затрат тепла на испарение, связанных с их завышением за счет брызгообразования [2].

Полученные зависимости нуждаются в дополнительной проверке на более длинных рядах наблюдений и материалах, собранных в других районах тропической зоны Атлантики. Тем не менее, как нам представляется, они могут быть полезны при разработке методов прогноза температуры воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белевич Р. Р. О циркуляции и зонах дивергенций и конвергенций вод в тропосфере экваториальной Атлантики.— «Океанология», 1974, т. 14, вып. 1, с. 60—63.
2. Борисенков Е. П., Дружинин Е. И., Мушкин И. Г. Об измерениях составляющих теплового баланса моря.— «Тр. ААНИИ», 1974, т. 312, с. 67—78.
3. Олефиренко В. А., Бледных И. Е., Белевич Р. Р. Некоторые особенности теплосодержания деятельного слоя экваториальной зоны Атлантики.— В кн.: ТРОПЭКС-74. Т. 2. Л., Гидрометеониздат, 1976, с. 54—62.
4. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Л., Гидрометеониздат, 1967. 241 с.
5. Строкина Л. А., Смирнова А. И. Связь изменения теплосодержания деятельного слоя Северной Атлантики и изменение температуры воды на поверхности.— «Океанология», 1969, т. 9, вып. 3, с. 398—403.
6. Тимофеев В. Т., Панов В. В. Косвенные методы выделения и анализа водных масс. Л., Гидрометеониздат, 1962. 352 с.

Д. П. Беспалов, Т. П. Светлова

ОБ ОДНОМ ПРИНЦИПЕ ВАЛИДАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В АТЭП-74

Особенности приборов, применяемых для метеорологических измерений, различия в степени влияния мест установки приборов на их показания и в методике производства измерений при групповом плавании судов могут приводить к систематическим различиям данных, измеренных на судах разной национальной принадлежности.

По этой причине одной из основных задач валидации следует считать оценку согласованности между результатами всех судов, а также оценку физической правдоподобности полученных величин.

С помощью только предусмотренных программой наблюдений в АТЭП-74 международных сравнений измерительных комплексов в силу ряда обстоятельств решить эту задачу нельзя. Между тем известно, что в течение каждой фазы наблюдений (20 дней) все суда, участвующие в экспедиции, образовывали постоянно действующую сеть с закрепленными за каждым судном координатами. Расстояние между судами масштаба В и С не превышали 150—200 км. Эти обстоятельства позволили производить оперативную оценку согласованности между данными различных судов на основе осредненных значений метеорологических элементов за каждую фазу наблюдения.

Срочные значения метеорологических параметров выбирались из синоптических телеграмм, регулярно поступающих на НИС «Профессор Зубов». Кроме большой трудоемкости, такой способ получения осредненных значений может приводить к искажению наблюденных величин при передаче по каналам связи, поэтому приведенные ниже данные следует рассматривать как предварительные.

В качестве объективного метода оценки согласованности результатов наблюдений советских судов в период АТЭП-74 использовался анализ различий между пространственным полем осредненного за фазу значения элемента и измеренными значениями на каждом судне, осредненными за тот же интервал времени. Построение

участка пространственного поля для каждого судна производилось методом линейной аппроксимации этого участка по измеренным значениям рассматриваемого элемента на 4—6 окружающих судах. Коэффициенты аппроксимирующего полинома определялись из решения системы соответственно 4—6 уравнений методом наименьших квадратов:

$$\sum_{i=1}^n [P(x_i, y_i) - f(x_i, y_i)]^2 = \min; \quad (1)$$

где $P(x_i, y_i)$ — значения полинома в пунктах измерения (судах) с координатами (x_i, y_i) ; $f(x_i, y_i)$ — фактически измеренное значение рассматриваемого элемента на данном судне; x_i, y_i — декартовы координаты пункта наблюдения (условные в километрах).

Разность (невязка) между значением полинома $P(x_0, y_0)$ в данной точке поля и измеренным значением на корабле $f(x_0, y_0)$ может служить мерой соответствия измеренного значения фактическому. Проверка предлагаемой методики проводилась по окончании каждой фазы наблюдений в АТЭП-74 на ЭВМ НИС «Профессор Зубов» с помощью программы контроля режимной информации, успешно применяемой в региональных вычислительных центрах (РВЦ) для метеорологической сети станций СССР.

Поскольку заранее было неизвестно, с какой степенью точности допустима линейная аппроксимация в условиях тропической зоны океана, все различия по каждой фазе наблюдения систематизировались и подвергались анализу. В табл. 1 приведены указанные расхождения для всех советских кораблей по основным метеорологическим параметрам. Они показывают, что рассматриваемые поля можно достаточно точно аппроксимировать полиномом вида (1) для участков поля, где изменчивость рассматриваемого элемента по территории не отличается резко от изменчивости на соседних участках поля.

Вместе с тем обращает на себя внимание резкое снижение точности аппроксимации по мере приближения к экватору («Академик Курчатов», «Михаил Ломоносов»), где наблюдались более значительные градиенты, чем в северной части полигона АТЭП-74.

Рассмотренные результаты получены при аппроксимации непосредственно измеренных значений на судах. Существенным является то, что даже при таком несовершенном способе получения средних и отсутствии норм предложенная методика обеспечивает четкое выявление систематических ошибок, превышающих 0,5 мбар в атмосферном давлении, 0,5°C в температуре воздуха, 0,5°C в значении точки росы, 1 м/с в скорости ветра и 0,5°C в температуре поверхности воды (табл. 2).

Для существенного повышения точности аппроксимации желательно ввести в расчеты значения норм, особенно для таких элементов, как скорость ветра и температура воды, характеризующихся в рассматриваемом районе заметным зональным распределением.

Невязки интерполяции средних за фазу (I, II, III) значений метеозаментов

Судно	Скорость ветра, м/с			Давление, мбар			Температура поверхности воды, °C			Точка росы, °C			Температура воздуха, °C		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
"Академик Королев"	0,00	0,26	-0,55	1,04	0,32	0,46	1,37	0,70	0,35	0,41	0,60	0,04	0,92	0,01	0,42
"Прибой"	0,00	0,36	0,18	0,16	0,38	0,42	0,52	0,38	0,07	0,00	0,01	0,11	0,00	0,01	0,39
"Порыв"	0,34	0,12	0,85	0,55	0,21	0,38	1,37	0,35	-0,52	0,39	0,77	0,11	1,03	0,00	0,08
"Профессор Визе"	0,00	1,24	0,33	0,54	0,23	0,45	0,13	0,00	0,18	0,11	0,00	0,15	0,12	0,00	0,03
"Океан"	0,12	0,12	0,16	0,13	0,10	-0,30	0,52	0,48	0,05	0,79	0,17	0,00	0,22	0,40	-0,49
"Эрнст Кренкель"	0,20	0,00	0,26	0,71	0,10	-0,30	0,68	0,25	-0,22	0,20	0,27	0,22	0,79	0,23	-0,07
"Профессор Зубов"	1,02	0,72	-1,18	0,25	0,16	0,00	0,15	0,00	0,28	0,00	0,20	0,04	0,26	0,00	-0,02
"Муссон"	0,21	0,17	-0,18	0,46	0,33	0,10	0,75	0,36	0,09	0,03	0,24	0,35	0,42	0,22	0,43
"Пассат"	1,68	0,32	-1,29	0,57	1,81	-1,80	1,89	0,58	0,83	1,10	1,57	0,79	0,40	0,10	-0,83
"Академик Курчатов"	2,46	1,41	0,15	0,40	0,57	1,23	1,17	1,32	-0,10	0,46	0,12	0,32	0,78	0,83	0,29
"Михаил Ломоносов"	2,36	1,20	0,31	0,71	1,11	-1,33	0,78	1,20	-0,01	0,51	0,00	-0,13	0,48	0,73	-0,05
"Волна"	2,94	2,22	-0,32	0,02	0,16	0,24	1,76	0,32	-0,18	1,45	0,20	-0,16	0,00	0,60	-0,16

Тот факт, что при аппроксимации полей из-за нерегулярного поступления радиogramм с иностранных судов использовались только данные, полученные на советских судах, также привел к снижению точности аппроксимации.

Тем не менее приведенные данные позволяют сделать вывод, что рассмотренный метод можно использовать для валидации метеорологических данных, полученных в АТЭП-74.

Однако практическое использование его имеет смысл только после получения норм метеорологических элементов для рассматриваемого района, а также получения материалов наблюдений со всех судов, участвовавших в АТЭП-74, независимо от их национальной принадлежности.

Таблица 2

Невязки интерполяции, различной обеспеченности

Элемент	Обеспеченность, %					σ
	25	50	75	90	95	
Скорость ветра, м/с	0,18	0,39	1,10	1,75	2,33	0,77
Давление, мбар	0,18	0,36	0,66	1,18	1,50	0,46
Точка росы, °С	0,10	0,20	0,47	0,93	1,25	0,38
Температура воздуха, °С	0,12	0,25	0,49	0,86	0,97	0,30
Температура воды, °С	0,15	0,38	0,76	1,33	1,40	0,50

Можно сделать определенные выводы о достоверности полученных величин, анализируя изменения невязок интерполяции от одной фазы наблюдений к другой для каждого судна.

В первую очередь это относится к материалам наблюдений судов «Академик Курчатов», «Михаил Ломоносов», «Пассат» и «Волна», располагавшихся на значительном удалении от остальных советских судов, так как в указанном случае мы сталкиваемся, по сути дела, с экстраполяцией участка поля. Естественно, что невязки интерполяции для этих судов при оперативном счете в период АТЭП-74, как показывает табл. 1, оказались значительно больше (в ряде случаев в 10—20 раз!), особенно для элементов, имеющих четкое зональное распределение.

Реализация предложенного метода занимает на ЭВМ «Минск-22» для 60 судов по одному элементу 3—5 мин машинного времени. Точные значения допустимых отклонений от линейного хода разностей целесообразней установить в процессе анализа расчетов по всей совокупности данных, так как валидация проводится применительно к данным, не подлежащим оперативной обработке в период АТЭП-74.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические основы автоматизированной системы метеорологических наблюдений. Под ред. Д. П. Беспалова. Л., Гидрометеоздат, 1971, с. 34—44.

Б. А. Нелепо, О. С. Зудин, И. Е. Тимченко

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО АНАЛИЗА НАБЛЮДЕНИЙ В ОКЕАНОЛОГИИ

В связи с успешным использованием четырехмерного анализа в ряде задач обработки метеорологических наблюдений [1—3] представляет интерес применить этот метод для построения карт полей океана по данным наблюдений. Постановка подобной задачи обсуждалась в статье [5], где был использован подход, базирующийся на теории адаптивной фильтрации Калмана [4] и, в частности, на работах Питерсена [6—7]. В настоящей статье мы рассмотрим пример реализации метода Калмана—Питерсена на модели случайного поля океана, динамика которого может быть выражена с помощью оператора диффузионного типа.

Применение уравнений динамики при обработке данных с целью построения карт полей океана открывает перспективы для решения одной из наиболее трудных проблем океанографии — учета фактической несинхронности съемок полей океана. В отличие от метеорологических исследований в области четырехмерного усвоения данных, поступающих в синоптические сроки, океанологи вынуждены использовать редкую сеть наблюдений, существенно разнесенных по времени. В существующих работах по объективному анализу полей океана [9] несинхронность наблюдений до сих пор игнорируется ввиду отсутствия разработанных методик учета несинхронности. Между тем на основе теоретической модели поля принципиально существует возможность последовательного усвоения данных с учетом моментов времени их поступления.

Рассмотрим пространственно-временное поле океана $\alpha(\mathbf{x}, t)$, где $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)$ — координаты поля. Будем считать, что поле измерено в системе точек $\{(\mathbf{x}_k = t_j)\}: k=1, 2, \dots, N; j=0, 1, \dots, v$. Поставим задачу построения карты поля для момента времени t_v .

Если измерений достаточно много и все они относятся к моменту времени t_v , расчет карты поля на этот момент времени может быть выполнен методом оптимальной интерполяции, изложенным в [10]. Критерием качества карты в этом случае является средняя квадра-

тическая ошибка интерполяции, принимающая минимальные значения для коэффициентов интерполяции, которые удовлетворяют системе уравнений Колмогорова.

Однако подавляющее большинство измерений в океане выполняется в разные сроки. Кроме того, наибольший интерес представляют карты будущих, т. е. прогностических значений поля. Следовательно, необходима экстраполяция текущих значений поля на будущий момент времени t_{i+1} .

Метод объективного анализа наблюдений формально может быть использован для статистической экстраполяции. Для этого первоначально по наблюдениям должна быть определена корреляционная функция пространственно-временного поля $\alpha(x, t)$. Затем определяются коэффициенты экстраполирования и восстанавливается поле прогностических значений.

Однако на практике этот метод оказывается неудовлетворительным по нескольким причинам. Прежде всего в практических ситуациях данных наблюдений явно недостаточно для надежной оценки пространственно-временной корреляционной функции. По этой же причине в интервал корреляции поля попадают лишь одиночные измерения, что снижает точность прогноза.

Поскольку информация, содержащаяся в измерениях, используется при объективном анализе наиболее полно, очевидно, что улучшить качество прогноза можно только за счет привлечения дополнительной информации о состоянии поля, т. е. об его изменчивости в пространстве и во времени. Такая информация в обобщенном виде содержится в детерминированных уравнениях гидродинамики, применяемых для моделирования сложных физических процессов, развивающихся в океане.

Моделирование океанических процессов на основе теоретического аппарата гидромеханики связано с рядом трудностей иного характера. Модель поля представляет собой систему уравнений в частных производных, удовлетворяющих соответствующим начальным и граничным условиям. Для определения коэффициентов уравнений, как правило, необходимы специальные измерения. Чем выше необходимая точность расчета и прогноза поля, тем сложнее система уравнений, представляющая его, и тем труднее анализ и расчет по ней поля на ЭВМ. Кроме того, адекватность выбранной модели реальным физическим процессам в исследуемом районе океана может быть установлена лишь после проведения большого количества экспериментов по сравнению предвычисленных и наблюдаемых величин процессов и полей.

Изложенные выше особенности статистической и детерминированной моделей полей океана приводят к мысли о создании комбинированного способа описания и анализа пространственно-временных полей океана, в котором могли бы сочетаться преимущества каждого из этих двух подходов. Алгоритм адаптивного фильтра Калмана по существу также занимает промежуточное положение между детерминированными способами линейной экстраполяции и теорией оптимальной фильтрации стационарных случайных функ-

дий. Преимущества фильтра Калмана состоят в том, что он не требует большого объема исходных данных и последовательно усваивает новую информацию по мере ее поступления. Таким образом, распространение калмановского алгоритма фильтрации на пространственно-временные поля, обладающие определенными свойствами, должно дать некоторый комбинированный способ анализа и прогноза этих полей.

Обобщение алгоритма фильтра Калмана на случайные поля (применительно к метеорологическим полям) выполнено в работах Питерсена [6, 7]. Питерсен назвал его методом последовательного анализа наблюдений, по-видимому, желая подчеркнуть положенный в основу метода способ последовательного уточнения прогноза, что характерно для адаптивного фильтра Калмана.

Основным предположением, лежащим в основе метода последовательного анализа наблюдений, является существование линейного закона, которому подчинена динамика исследуемого физического поля океана (или совокупности связанных между собой полей). Поскольку реальные поля океана описываются нелинейными уравнениями гидродинамики, речь идет об упрощенной, линеаризованной гидродинамической модели поля, которая может быть использована, например, для отклонений от осредненных значений реальных полей и в течение малых (в сравнении с временными масштабами осреднения) интервалов времени.

Представим уравнение динамики линеаризованной модели поля в виде

$$\frac{\partial \alpha(\mathbf{x}, t)}{\partial t} + \int_{(\mathbf{x})} h(\mathbf{x}, t; \mathbf{y}, t) \alpha(\mathbf{y}, t) d\mathbf{y} = f(\mathbf{x}, t). \quad (1)$$

Здесь $\alpha(\mathbf{x}, t)$ — скалярная (или векторная) функция, представляющая величины пространственно-временного поля океана; $h(\mathbf{x}, t; \mathbf{y}, S)$, где $t > S$ — функция Грина; $f(\mathbf{x}, t)$ — функция возбуждения, представляющая внешнее энергетическое воздействие на поле.

Уравнение (1) является аналогом уравнения состояния одномерного фильтра Калмана в том смысле, что оно описывает поведение некоторой линейной динамической системы с распределенными параметрами. Исследуемое поле $\alpha(\mathbf{x}, t)$ является выходом этой системы, возбуждаемой полем $f(\mathbf{x}, t)$ со стороны входа. Функция Грина $h(\mathbf{x}, t; \mathbf{y}, S)$ характеризует реакцию системы на возбуждение и по существу может рассматриваться как эквивалент переходной функции фильтра Калмана.

Решение уравнения (1) можно записать в виде

$$\begin{aligned} \alpha(\mathbf{x}, t) = & \int_{(\mathbf{x})} h(\mathbf{x}, t; \mathbf{y}, t_0) \alpha(\mathbf{y}, t_0) d\mathbf{y} + \\ & + \int_{(\mathbf{x})} \int_{t_0}^t h(\mathbf{x}, t; \mathbf{y}, \tau) f(\mathbf{y}, \tau) d\mathbf{y} d\tau. \end{aligned} \quad (2)$$

Как и в одномерном случае, для нахождения алгоритма оптимального фильтра необходимо потребовать, чтобы функция возбуждения системы $\alpha(x, t)$ имела свойства белого шума по времени и не была коррелирована со значениями поля:

$$\begin{aligned} E\{f(x, t) \alpha(y, \tau)\} &= 0; \\ E\{f(x, t) f(y, \tau)\} &= F(x, y, t) \delta(t - \tau); \\ E\{f(x, t)\} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Оптимальной (с точки зрения средней квадратической ошибки) оценкой поля в будущий момент времени t является поле условных средних значений $\hat{\alpha}(x, t)$, индуцированное всеми доступными измерениями значениями $\alpha(x, t_0)$ при $t > t_0$. Находя условное среднее значение выражения (2) с учетом (3), имеем

$$\hat{\alpha}_0(x, t) = E_0\{\alpha_0(x, t)\} = \int_{(x)} h(x, t; y, t_0) E\{\alpha(y, t_0)\} dy, \quad (4)$$

где через $E_0\{\alpha_0(x, t)\}$ обозначено условное математическое ожидание поля по отношению ко всем наблюдениям, поступившим до момента времени t_0 включительно.

В пределах корректности модели поля уравнение (4) позволяет прогнозировать его значения. Для этого, как следует из (4), необходимо решить уравнение динамики (1) с начальными условиями $E_0\{\cdot\}$, которые представляют собой не что иное, как карту пространственных распределений поля в начальный момент времени t_0 .

Карты пространственных полей океана целесообразно строить, используя метод объективного анализа [10]. Таким образом, оптимальный прогноз поля ищется путем применения уравнения (4) к карте поля, рассчитанной с помощью оптимальной интерполяции измеренных значений поля в узлы сетки. Оптимальная интерполяция по пространству и оптимальный прогноз по времени последовательно выполняются для каждого интервала времени $[t_0, t]$.

Однако как интерполяция, так и прогноз поля выполняются с неизбежными погрешностями, которые возникают за счет недостаточного объема наблюдений (по пространству) и упрощенной динамической модели поля (по времени). Поэтому на каждом шаге экстраполяции поля необходима последовательная корреляция оценок его значений. Исправление погрешностей в методе фильтрации Калмана — Питерсена происходит благодаря использованию информации, содержащейся в текущих измерениях поля. Процедура исправления погрешностей составляет основу метода последовательного анализа наблюдений.

Представим наблюдения поля $\alpha(x, t)$ в виде линейной операции, примененной к мгновенному пространственному распределению значений поля

$$\beta_k(t) = \int_{(x)} \alpha(y, t) g_k(y, t) dy + n_k(t). \quad (5)$$

Будем предполагать, что функция $n_k(t)$, учитывающая ошибки измерений, белый шум. Функция $g_k(\mathbf{y}, t)$ учитывает одновременно пространственное осреднение и инерционные свойства прибора или метода измерения поля. По аналогии с уравнением (4) выпишем выражение для прогнозируемой на момент времени t величины измерения поля в точке $\mathbf{x}_k$

$$\hat{\beta}_k(t) = \int_{(x)} \hat{\alpha}(\mathbf{y}, t) g_k(\mathbf{y}, t) d\mathbf{y}. \quad (6)$$

Обозначим через t_{-1} — момент времени, в который поступили наиболее поздние измерения перед текущим моментом времени t_0 . Если все эти измерения были использованы для построения карты поля на момент времени t_{-1} , то значения карты мы будем обозначать через $\hat{\alpha}_{-1}(\mathbf{x}, t_{-1})$. Прогностическая карта, построенная на момент времени t_0 при использовании тех же наблюдений, будет обозначена $\hat{\alpha}_{-1}(\mathbf{x}, t_0)$.

Введем в рассмотрение ошибки в предсказании измерений на момент времени

$$\tilde{\beta}_k(t_0) = \beta_k(t_0) - \hat{\beta}_{k,-1}(t_0). \quad (7)$$

Нетрудно показать (например, с использованием геометрической интерполяции метода наименьших квадратов [11]), что значения $\tilde{\beta}_k(t_0)$ ортогональны множеству данных наблюдений, полученных на момент времени t_{-1} , и, следовательно, содержат всю новую информацию о поле на момент времени t_0 . Это означает, что оптимальная оценка поля в момент времени t_0 должна состоять из прогностической карты $\hat{\alpha}_{-1}(\mathbf{x}, t_0)$, к которой оптимальным способом добавлены значения поля невязок прогноза

$$\hat{\alpha}_0(\mathbf{x}, t_0) = \hat{\alpha}_{-1}(\mathbf{x}, t_0) + \sum_{k=1}^{N_0} \Delta_k(\mathbf{x}, t_0) \tilde{\beta}_k(t_0). \quad (8)$$

Весовые коэффициенты $\Delta_k(\mathbf{x}, t_0)$ должны выбираться из условия минимума ошибки

$$\varepsilon_0(\mathbf{x}, t_0) = E\left\{\left[\alpha(\mathbf{x}, t_0) - \hat{\alpha}_0(\mathbf{x}, t_0)\right]^2\right\}. \quad (9)$$

Для нахождения весовых коэффициентов напомним условие ортогональности линейной средней квадратической оценки [11]

$$E\left\{\left[\alpha(\mathbf{x}, t_0) - \hat{\alpha}(\mathbf{x}, t_0)\right] \beta_k(t_m)\right\} = 0, \quad (10)$$

$$k = 1, 2, \dots, N_m; \quad m = 0, -1, -2, \dots$$

Подставляя (8) в (10), получим

$$E\left\{\left[\alpha(\mathbf{x}, t_0) - \hat{\alpha}_{-1}(\mathbf{x}, t_0) - \sum_{l=1}^{N_0} \Delta_l(\mathbf{x}, t_0) \tilde{\beta}_l(t_0)\right] \beta_k(t_m)\right\} = 0, \quad (11)$$

$$k = 1, 2, \dots, N_m, \quad m = 0, -1, -2, \dots$$

Для момента времени t_0 уравнение (1) имеет вид

$$E\left\{\left[\alpha(x, t_0) - \hat{\alpha}_{-1}(x, t_0) - \sum_{l=1}^{N_0} \Delta_l(x, t_0) \tilde{\beta}_l(t_0)\right] \tilde{\beta}_k(t_0)\right\} = 0, \\ k = 1, 2, \dots, N_0. \quad (12)$$

Определим корреляционную функцию ошибок прогноза

$$P_0(x, y) = E\left\{\left[\alpha(x, t_0) - \hat{\alpha}_{-1}(x, t_0)\right]\left[\alpha(y, t_0) - \hat{\alpha}_{-1}(y, t_0)\right]\right\}. \quad (13)$$

Будем считать, что ошибки измерений $n_k(t)$ не коррелированы со значениями поля. Тогда, подставляя (5) — (7) в (12), получим

$$\int_{(x)} g_k(y, t_0) P_0(x, y) dy = \sum_{l=1}^{N_0} \Delta_l(x, t_0) \times \\ \times \left[\int_{(x)} \int_{(x)} g_k(z, t_0) g_l(y, t_0) P_0(y, z) dy dz + R_{kl}(t_0) \right], \\ R_{kl} \equiv E\{n_k(t_0) \cdot n_l(t_0)\}. \quad (14)$$

Обозначим в равенстве (14) выражение в квадратных скобках через $K_{kl}(t_0)$.

Тогда имеем

$$K_{kl}(t_0) = \int_{(x)} \int_{(x)} g_k(z, t_0) g_l(w, t_0) \cdot P_0(z, w) dz dw + R_{kl}(t_0) = \\ = E\left\{\left[\beta_k(t_0) - \hat{\beta}_{k, -1}(t_0)\right]\left[\beta_l(t_0) - \hat{\beta}_{l, -1}(t_0)\right]\right\} = E\{\tilde{\beta}_k(t_0) \tilde{\beta}_l(t_0)\}. \quad (15)$$

Аналогичным образом находим

$$\int_{(x)} g_k(y, t_0) P_0(x, y) dy = \int_{(x)} g_k(y, t_0) \times \\ \times E\left\{\left[\alpha(x, t_0) - \hat{\alpha}_{-1}(x, t_0)\right]\left[\alpha(y, t_0) - \hat{\alpha}_{-1}(y, t_0)\right]\right\} dy = \\ = E\{\tilde{\beta}_k(t_0) [\alpha(x, t_0) - \hat{\alpha}_{-1}(x, t_0)]\} = E\{\tilde{\beta}_k(t_0) \tilde{\alpha}_{-1}(x, t_0)\}. \quad (16)$$

Выражение (15) представляет собой коэффициент корреляции в поле ошибок прогноза между двумя точками x_k и x_l , в которых были выполнены измерения. Формула (16) дает выражение для взаимной корреляционной функции поля ошибок прогноза. Между точкой измерений поля x и произвольной точкой.

С учетом этих двух формул уравнение (14) может быть разрешено относительно весовых коэффициентов

$$\Delta_k(x, t_0) = \sum_{l=1}^{N_0} [K^{-1}(t_0)]_{lk} \int_{(x)} g_l(z, t_0) P_0(x, z) dz =$$

$$= \sum_{l=1}^{N_0} [K^{-1}(t_0)]_{lk} E\{\tilde{\beta}_l(t_0) \tilde{\alpha}_{-1}(x, t_0)\}. \quad (17)$$

Как следует из последнего уравнения, весовые коэффициенты интерполяции в поле ошибок прогноза пропорциональны величине корреляции между аномалиями измерений $\tilde{\beta}_l(t_0)$ и невязками прогноза $\tilde{\alpha}_{-1}(x, t_0)$. Качественные измерения, выполненные вблизи точки x , в которой происходит уточнение прогноза по формуле (8), будут учтены с большим весом, чем измерения, слабо коррелированные с полем $\alpha(x, t)$.

На практике для вычисления величин $\Delta_h(x, t_0)$ необходимо знать функцию корреляции $P_0(x, z)$ на момент времени t_0 . Эта функция связана рекурсионным соотношением с функцией $P_{-1}(x, z)$ и, таким образом, может быть найдена из анализа статистики поля ошибок прогноза на предыдущем этапе расчетов, т. е. в момент времени t_{-1} .

Для двух последовательных моментов времени t_0 и t_1 [6]

$$\begin{aligned} P_1(x, y) = & \int_{(x)} \int_{(x)} h(x, t_1; z, t_0) h(y, t_1; w, t_0) \times \\ & \times P'_0(z, w) dz dw + \int_{(x)} \int_{(x)} \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_1} h(x, t_1; z, \tau) h(y, t_1; w, \sigma) \times \\ & \times E\{f(z, \tau) f(w, \sigma)\} dz dw d\tau d\sigma. \end{aligned} \quad (18)$$

Это соотношение является аналогом уравнения Риккати в одномерном фильтре Калмана. С его помощью проводится прогнозирование статистики ошибок метода на момент времени t_1 .

Таким образом, корреляционный алгоритм последовательного анализа для пространственно-временных полей океана включает в себя в качестве основных уравнений формулы (14), (17) и (18).

При анализе на ЭВМ реальных полей океана формулы последовательного анализа заменяются эквивалентными им конечно-разностными соотношениями. Поэтому на практике вместо функции Грина может быть использована некоторая подпрограмма, дающая решение уравнения динамики поля.

Рассмотрим теперь применение метода четырехмерного анализа Калмана — Питерсена к модели пространственно-временного поля океана. Поскольку физические поля океана формируются в основном под влиянием случайных динамических факторов, будем предполагать, что изменения поля в пространстве и во времени подчинены оператору диффузионного типа. Как известно [12], с помощью уравнения диффузии приближенно можно моделировать процессы распространения тепла и различных примесей в тех районах океана, где поле скоростей течений следует считать случайным.

Двухмерное уравнение турбулентной диффузии для однородной среды имеет вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{u}{\tau} + f(x, y), \quad (19)$$

где u — изучаемое поле, D — коэффициент турбулентной диффузии, τ — параметр утечки, $f(x, y)$ — случайная функция типа белого шума.

Член u/τ в уравнении (19) учитывает поток вещества или тепла в глубь океана. Последовательность решений уравнения (19) для различных моментов времени будем рассматривать как модель «истинного» поля.

Для численного решения уравнения (19) нами было произведено расщепление уравнения на два одномерных [8], которые в свою очередь аппроксимировались разностной схемой:

$$\begin{aligned} & \frac{0,5 \Delta t D}{\Delta^2} u_{i_1-1, i_2}^{j+1/2} - u_{i_1, i_2}^{j+1/2} \left(1 + \frac{\Delta t D}{\Delta^2} \right) + \frac{0,5 \Delta t D}{\Delta^2} u_{i_1+1, i_2}^{j+1/2} = \\ & = - \frac{0,5 \Delta t D}{\Delta^2} (u_{i_1, i_2-1}^j + u_{i_2+1, i_1}^j) - u_{i_1, i_2}^j \left(1 - \frac{0,5 \Delta t}{\tau} - \frac{\Delta t D}{\Delta^2} \right); \quad (20) \\ & \frac{0,5 \Delta t D}{\Delta^2} u_{i_2-1, i_1}^{j+1} - u_{i_2, i_1}^{j+1} \left(1 + \frac{\Delta t D}{\Delta^2} \right) + \frac{0,5 \Delta t D}{\Delta^2} u_{i_2+1, i_1}^{j+1} = \\ & = - \frac{0,5 \Delta t D}{\Delta^2} (u_{i_1-1, i_2}^{j+1/2} + u_{i_1+1, i_2}^{j+1/2}) - u_{i_2, i_1}^{j+1/2} \left(1 - \frac{0,5 \Delta t}{\tau} - \frac{\Delta t D}{\Delta^2} \right), \end{aligned}$$

где Δ — шаг по пространству, Δt — шаг по времени.

Система разностных уравнений (20) решалась по схеме переменных направлений [1], которая является устойчивой при любых шагах по времени и по пространству и имеет точность $O(\Delta t^2 + \Delta)$.

Для имитации случайного воздействия $f(x, y)$ на каждом промежуточном временном шаге к расчетным значениям добавлялись некоррелированные случайные числа, распределенные по нормальному закону с дисперсией d . Конкретные расчеты выполнялись на квадратной сетке в области 50×50 . Для упрощения программы граничные условия считались нулевыми.

В качестве начального условия была использована модель пространственного случайного поля с корреляционной функцией

$$K(\rho) = \exp(-\beta \rho); \quad \rho = (x^2 + y^2)^{1/2}. \quad (21)$$

Целью проведения численных экспериментов на модели явилось получение оценок точности прогноза поля от различных параметров численной схемы. В экспериментах использовалось то обстоятельство, что имелась возможность сравнить результаты прогноза с «истинным» полем, известным из модели в любой момент времени. Прогноз осуществлялся по уравнению (19).

В первом эксперименте находилась ошибка прогноза в зависимости от временного интервала предсказания. В качестве единицы измерения времени была использована величина t^* , связанная с коэффициентом диффузии выражением

$$t^* = \frac{\Delta^2}{2D}.$$

Интервал упреждения при прогнозировании выбирался от $5t^*$ до $15t^*$.

Измерения имитировались выборкой значений «истинного» поля. Были рассмотрены три варианта густоты сети станций, содержащей 13×13 , 9×9 и 7×7 «станций», которые располагались в узлах квадратной сетки с интервалами 4, 6, 8 шагов сетки соответственно. Для удобства в качестве единицы измерения расстояний будем использовать шаг сетки.

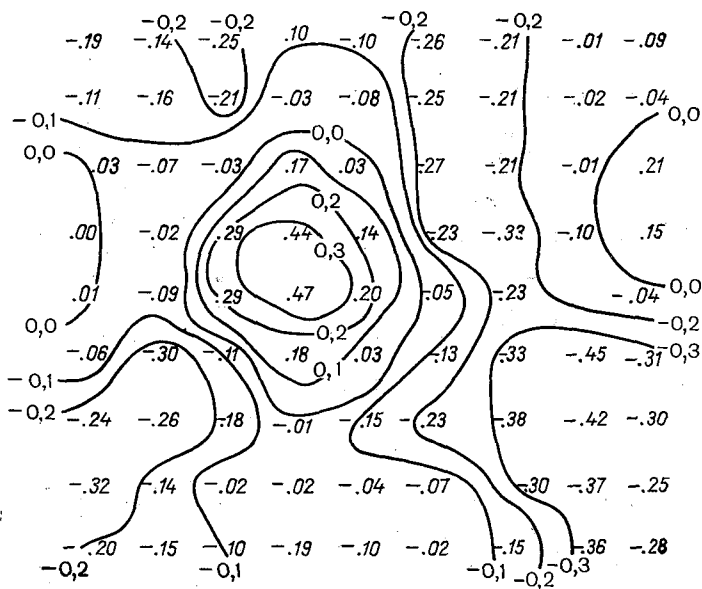


Рис. 1.

Прогноз и исправление ошибок прогноза производились в соответствии с алгоритмом последовательного анализа наблюдений (8), (17), (18). Расчеты были выполнены на ЭВМ М-220.

На рис. 1 приведена карта поля ошибок прогноза, построенная для центральной области модели, содержащей 18×18 значений ошибок предсказания «истинного» поля при шаге сетки станций. Ошибки нормированы на величину дисперсии поля. Интервал упреждения для этого случая был равен $15t^*$, а прогнозирование осуществлялось в узлы сетки, имевшей шаг Δ .

Приведенные на рис. 1 изолинии поля ошибок прогноза свидетельствуют о том, что значения последних в основном заключены в интервале $(-0,3 \ 0,3)$. Поле ошибок представляется случайным без явно выраженных неоднородностей. Это подтверждается анализом корреляционных функций поля ошибок, построенных в продольном (кривая 1) и поперечном (кривая 2) направлениях на рис. 2.

Обе функции практически совпадают при значениях аргументов, меньших интервала корреляции. Поэтому поле можно принять изотропным. Средняя дисперсия ошибок прогноза составила 0,05.

На рис. 3 приведена исправленная за счет использования инфор-

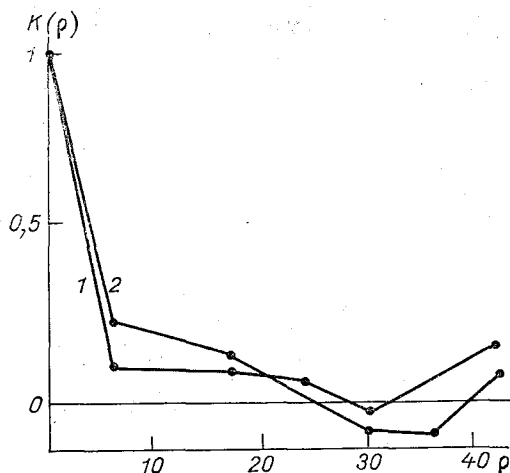


Рис. 2.

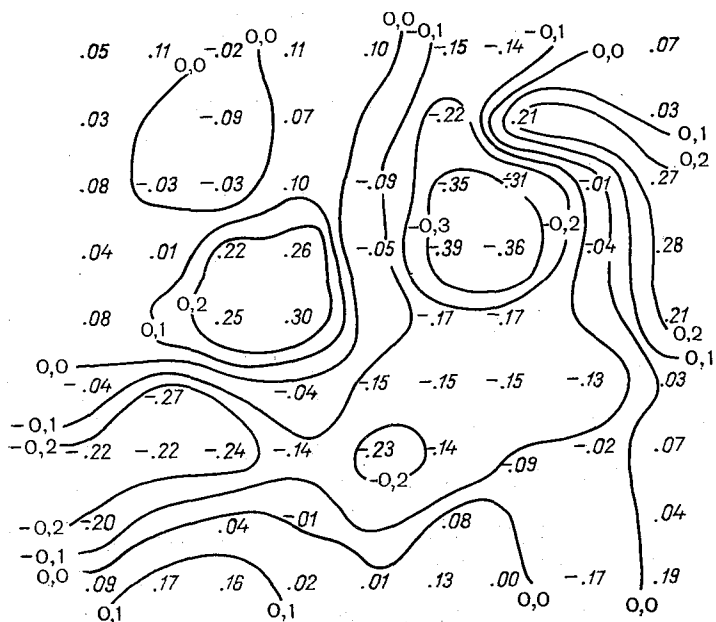


Рис. 3.

мации на «станциях» карта ошибок прогноза. Как следует из этого рисунка, интервал значений ошибок уменьшился до величин $-0,1; 0,1$. Среднее значение дисперсии ошибки последовательного анализа для этой карты уменьшилось до $0,03$.

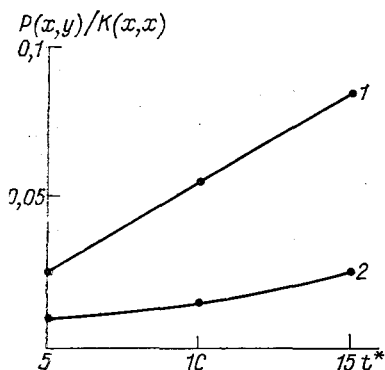


Рис. 4.

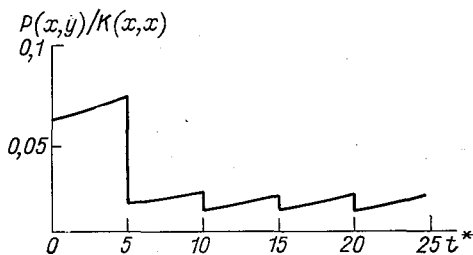


Рис. 5.

Зависимость дисперсии ошибок прогноза при количестве станций, равном 169, показана на рис. 4, кривая 1. Из рисунка следует, что ошибки прогноза растут пропорционально интервалу упреждения. Ошибка анализа оставалась практически неизменной для всех использованных интервалов упреждения (кривая 2).

Во второй серии экспериментов исследовалась сходимость алгоритма последовательного анализа к устойчивому состоянию. Оно определялось по установлению поля ошибок прогноза и анализа оптимальной интерполяции на определенных уровнях, зависевших от интервала упреждения и густоты сети «станций». Сходимость оказалась весьма быстрой и достигалась, как правило, уже на третьем-четвертом шаге последовательных итераций.

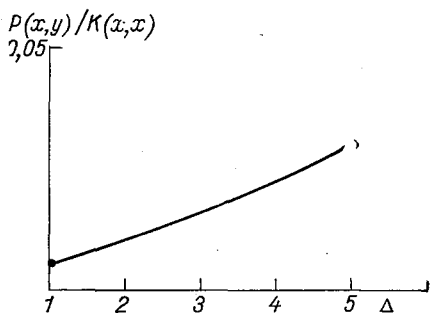


Рис. 6.

На рис. 5 показано поведение дисперсии ошибки прогноза с течением времени при интервале упреждения, равном 5, и числе станций, равном 169. Скачкообразное падение дисперсии соответствует времени поступления новых измерений и усвоения их численной схемой. Периодический характер кривой свидетельствует об установлении алгоритма.

Была исследована также чувствительность динамико-стохастической модели прогноза к количеству использованных «станций» наблюдений. На рис. 6 приведен график этой зависимости для времени упреждения, равного $5t^*$. По горизонтальной оси отложено расстояние между «станциями», выраженное в единицах Δ . Как и следовало ожидать, ошибка растет с увеличением расстояния.

Проведенные численные эксперименты по использованию метода последовательного анализа наблюдений показали высокую точность метода и довольно быструю сходимость его алгоритма. Подобные эксперименты, выполненные на моделях реальных полей океана, как показывают расчеты, дают ценную информацию, касающуюся организации измерений и выбора параметров модели поля. Развитие методов четырехмерного усвоения данных океанологических наблюдений позволит в ближайшие годы поднять на более высокий уровень обработку и анализ океанологической информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенков Е. П. Физико-статистические методы анализа и предвычисления метеорологических полей.— «Тр. ААНИИ», 1963, т. 263.
2. Машкович С. А., Вейль И. Г. Численные эксперименты по четырехмерному объективному анализу на основе спектральной прогностической модели.— «Метеорология и гидрология», 1972, № 3.
3. Вейль И. Г. и др. Численные эксперименты по четырехмерному анализу на основе динамико-статистического подхода.— «Метеорология и гидрология», 1975, № 7.
4. Kalman R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems. Trans. ASME.— „J. of Basic Eng.“, 1960, vol. 82.
5. Беляев В. И., Тимченко И. Е. О применении объективного и четырехмерного анализа в океанографии.— В кн.: Морские гидрофизические исследования, № 2(58), Севастополь, 1972.
6. Petersen D. P. Static and dynamic constraints on the estimation of space-time and wave-number-frequency spectral fields.— „J. Atm. Sci.“, 1973, vol. 30.
7. Petersen D. P. On the concept and implementation of sequential analysis for linear random fields.— „Tellus“, 1968, vol. 20.
8. Timchenko J. E. Optimal filtering and prediction of observations in oceanography on the basis of Kalman filters. Proc. of I EEE Int. Conf. Canada. 1974.
9. Беляев В. И. Обработка и теоретический анализ океанографических наблюдений. Киев, «Наукова думка», 1973.
10. Гандин Л. С. Объективный анализ метеорологических полей. Л., Гидрометеиздат, 1963.
11. Яглом А. М. Введение в теорию стационарных случайных функций.— «Успехи математических наук», т. 7, № 5 (51), 1952.
12. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Ч. 1—2. М., «Наука», 1963.
13. Неллепо Б. А., Зудин О. С. Статистический анализ информации о радиоактивном загрязнении океана. Л., Гидрометеиздат, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

И. А. Дюбкин, О. С. Зудин. Автоматизированная вычислительная информационно-поисковая управляющая система на НИС и НИСП ГУГМС	3
И. А. Дюбкин, Л. Г. Марченко. Иерархическая структура вычислительного процесса в автоматизированной вычислительной информационно-поисковой управляющей системе (АВИПУС) на НИС и НИСП	16
И. А. Дюбкин, Л. Г. Марченко. Алгоритм управления вычислительным процессом в автоматизированной гидрометеорологической системе на НИС и НИСП	25
Т. П. Светлова. Состояние и проблемы метеорологических наблюдений на судах	33
Л. М. Колкова, В. В. Савенков. Анализ работы морской автоматической станции в период ее опытной эксплуатации	41
Л. Б. Руднева, Р. Г. Тимановская. К проблеме автоматизации наблюдений за облачностью	47
И. А. Дюбкин. Методика оценки эффективности автоматизированных методов получения и первичной обработки гидрометеорологической информации	61
И. А. Дюбкин, М. В. Веремеенко, Л. М. Колкова. Оценка эффективности от внедрения различных методов сбора и первичной обработки метеорологической и актинометрической информации на НИС и НИСП ГУГМС	73
В. Н. Аднашкин. Измерение горизонтальной прозрачности атмосферы на НИСП «Пассат» в период проведения АТЭП-74	82
Д. Ф. Тимановский. Методика и аппаратура для проверки на судах сохранности метеорологических характеристик датчиков скорости ветра	88
Т. В. Кириллова, Р. Г. Тимановская, А. В. Гудименко. Статистическая структура суммарной радиации, приходящей к поверхности океана, в условиях кучевой облачности	93
Б. Н. Егоров, Т. В. Кириллова. К вопросу учета влияния облачности на суммарную радиацию в тропических районах Атлантики	102
И. А. Дюбкин, Р. Г. Тимановская, Д. Ф. Тимановский, А. В. Морачевский. Коэффициент прозрачности облачной атмосферы	106
А. В. Гудименко, Л. Б. Руднева, Р. Г. Тимановская, Д. Ф. Тимановский. Линейные размеры кучевых облаков по данным наземных измерений потоков излучения	114
В. В. Белевич. О связи мезомасштабных колебаний внешнего теплового баланса тропической зоны Атлантики и теплосодержания деятельного слоя ее вод	123
Д. П. Беспалов, Т. П. Светлова. Об одном принципе валидации результатов метеорологических наблюдений в АТЭП-74	129
Б. А. Нелепо, О. С. Зудин, И. Е. Тимченко. Перспективы использования четырехмерного анализа наблюдений в океанологии	133

Труды ГГО, вып. 388
МОРСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Редактор Л. В. Царькова. Техн. редактор Г. В. Ивкова. Корректор И. А. Крайнева

ИБ № 561

Сдано в набор 16/XI 1976 г. Подписано к печати 23/II 1977 г. М-24860. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 1. Печ. л. 9,5. Уч.-изд. л. 10,09. Тираж 520 экз. Индекс МЛ-129. Заказ № 946. Цена 76 коп. Гидрометеиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Сортавальская книжная типография Управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Совета Министров Карельской АССР. Сортавала, Карельская, 42.