

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ А.И. ВОЕЙКОВА»**

на правах рукописи
УДК 551.521



Лукин Андрей Борисович

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЕДЕНИЯ РЕЖИМНО-
СПРАВОЧНОГО БАНКА ДАННЫХ «АКТИНОМЕТРИЯ» И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИИ**

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2006**

Диссертация выполнена в государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»

Научный руководитель: кандидат географических наук
Елена Львовна Махоткина

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Кобышева Нина Владимировна

кандидат географических наук
Шиловцева Ольга Александровна

Ведущая организация: Российский государственный гидрометеорологический университет.

Защита состоится «18» октябрь 2006 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 327.005.01 при государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» по адресу: 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова».

Автореферат разослан «16» сентябрь 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,
доктор географических наук



А.В. Мещерская

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы и состояние вопроса.

Как указывал один из основоположников российской актинометрии Н.Н.Калитин, основная задача актинометрии заключается в том, чтобы исследовать сколько и когда лучистой энергии качественно и количественно доходит до земной поверхности, как атмосфера влияет на эту энергию и какое количество лучистой энергии на земле и в атмосфере превращается в другие виды энергии. Источником актинометрической информации является сеть пунктов, выполняющих наблюдения за радиационным балансом и его составляющими. Для повышения информативности актинометрической сети на всех этапах ее развития требовалось расширение программы наблюдений и совершенствование форм представления и доведения до потребителя традиционно получаемых данных. В настоящее время работы по обеспечению потребителей актинометрической информацией связаны с переработкой значительного объема первичных данных.

Актинометрическая информация относится к категории режимной. Полный комплекс работ по сбору, контролю, архивации и хранению актинометрической информации, заключительным этапом которого является передача архивов, установленного образца, на федеральное хранение в Госфонд осуществляет Главная геофизическая обсерватория (ГГО). С 80-х годов XX в. в ГГО функционирует режимно-справочный банк данных (РСБД) «Актинометрия», информационную основу которого составляют три базовых архива: «Срочные наблюдения», «Регистрация» и «Интегрирование». Банк предназначен для хранения и распространения информации о радиационном балансе и его составляющих в целях обеспечения потребителей любого уровня режимно-справочной информацией, требуемой для выполнения различных практических, проектных и научно-исследовательских работ. Базовые архивы РСБД «Актинометрия» представляют собой архивы, сформированные автоматизированной системой первичной обработки информации, и подлежат долгосрочному хранению на цифровых носителях. Данные архивы нуждаются в своевременной проверке и нормализации. Нормализованные архивы получают из базовых путем упорядочивания хранящейся в них информации, ее верификации и устранения структурных дефектов и дублей. При этом нормализованные архивы полностью сохраняют содержание базовых архивов. Для решения конкретных исследовательских задач из нормализованных формируются специализированные архивы. Их структура, как правило, отличается от исходных нормализованных архивов.

Практика показала, что первоначально подготовленный пакет программ для работы с информационной базой РСБД «Актинометрия» нуждается в расширении и развитии. В частности, требуется создание программ,

обеспечивающих верификацию (исправление) базовых актинометрических архивов и их преобразование в специализированные базы данных, предназначенные для проведения прикладных и исследовательских работ. В свою очередь специализированные архивы должны сопровождаться комплексом программ для всестороннего анализа хранящейся в них информации.

Кроме того, в связи с произошедшей в последние годы повсеместной компьютеризацией и переводом хранения информации на электронные носители особое значение приобретает проблема актуализации принятых ранее технологий обработки, хранения и преобразования архивных данных. В настоящее время весьма активно развиваются работы по созданию информационно-вычислительных, информационно-справочных систем и баз данных о состоянии окружающей природной среды. Целый ряд таких разработок посвящен обобщению экспериментальных данных о состоянии атмосферы. Повсеместное развитие компьютерных сетей, а также сетей передачи данных, таких как Интернет, открывает возможности для широкого обмена информацией. Все это должно учитываться и при проведении актуализации РСБД «Актинометрия», направленной на создание технологий и программных средств для применения актинометрической информации, как в исследованиях текущих изменений климата, так и в прикладных целях.

Цель работы и задачи исследования.

Основная цель работы заключается в совершенствовании и развитии технологии ведения РСБД «Актинометрия» для обеспечения возможности включения актинометрической информации в климатические исследования.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- выполнить анализ состояния информационной базы и программного обеспечения РСБД «Актинометрия» и определить направления его совершенствования на ближайшие годы;
- разработать и реализовать технологию формирования и пополнения верифицированной информационной базы РСБД и подготовить на ее основе специализированные архивы, предназначенные для мониторинга радиационных факторов климата;
- создать программные средства доступа, контроля и преобразования базовых актинометрических архивов;
- продемонстрировать на примере создания конкретной специализированной информационно-справочной системы «Прозрачность атмосферы» возможности использования РСБД «Актинометрия» для оценки текущих климатических изменений;
- исследовать пространственно-временные изменения мутности атмосферы на территории России за последнее тридцатилетие.

Научная новизна работы.

Разработана и реализована усовершенствованная технология формирования нормализованных (скорректированных) и специализированных архивов РСБД «Актинометрия» и создана информационно-справочная система «Прозрачность атмосферы», на примере которой продемонстрированы возможности использования актинометрической информации для исследований текущих климатических изменений. Получены новые результаты о режиме мутности атмосферы на территории России в период 1976 – 2003 гг.

Автором решены следующие задачи:

- разработан комплекс программ для контроля базовых архивов РСБД «Актинометрия», их последующей обработки и преобразования в специализированные архивы различного назначения;
- сформированы верифицированные нормализованные архивы «Срочные наблюдения» и «Регистрация»;
- разработан программный комплекс, обеспечивающий доступ к базовым актинометрическим архивам и их преобразование в специализированные базы данных, предназначенные для проведения прикладных и исследовательских работ;
- создана усовершенствованная информационно-справочная система «Прозрачность атмосферы»;
- с использованием информационно-справочной системы «Прозрачность атмосферы» и впервые сформированных специализированных архивов выполнены оценки изменения мутности атмосферы на территории России за последние 30 лет.

Практическая значимость работы.

Научная и практическая ценность работы состоит в создании верифицированных базовых и специализированных актинометрических архивов, а также средств доступа к ним, что обеспечивает возможности для широкого использования информации о радиационном балансе и его составляющих в различного рода исследованиях, в том числе в исследованиях текущих изменений климата.

Полученные результаты реализованы в ГУ «ГГО» и используются при проведении всего комплекса работ по формированию и совершенствованию информационной базы РСБД «Актинометрия». Сформированные в процессе работы специализированные архивы существенно расширяют возможности

использования актинометрической информации в научных и прикладных исследованиях.

Усовершенствованная информационно-справочная система «Прозрачность атмосферы» позволила выполнить исследования изменений режима прозрачности атмосферы на территории России, поддержанные грантом РФФИ №03-05-64441.

На защиту выносятся:

- технология и комплекс программ верификации, пополнения и обработки базовых актинометрических архивов;
- комплекс специализированных актинометрических архивов для мониторинга радиационных факторов климата;
- усовершенствованная информационно-справочная система «Прозрачность атмосферы»;
- результаты исследований изменений прозрачности атмосферы за последние 30 лет.

Личный вклад автора:

- разработаны алгоритмы и программный комплекс для верификации входящих в состав РСБД «Актинометрия» базовых архивов «Срочные наблюдения», «Регистрация»;
- разработан программный комплекс и сформированы специализированные актинометрические архивы, предназначенные для исследования пространственно-временных изменений составляющих радиационного баланса;
- разработаны средства доступа к базовым и специализированным архивам данных о солнечной радиации;
- создана специализированная информационная база для мониторинга прозрачности атмосферы и комплекс программ для анализа и графического представления материалов;
- проанализированы и обобщены изменения мутности атмосферы на территории России за последние 30 лет;
- подготовлены предложения по развитию РСБД «Актинометрия» на ближайшие годы.

Апробация работы и публикации.

Полученные в ходе выполнения работы результаты докладывались и обсуждались на Международном симпозиуме стран СНГ «Атмосферная радиация» (Санкт-Петербург, 2004 г., Санкт-Петербург, 2006 г.), Шестом Сибирском совещании по климато-экологическому мониторингу (Томск, 2005 г.), ученом совете ГУ «ГГО» (2004 г.).

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 112 наименований и приложения, содержит 144 страницы основного текста, включая 17 рисунков и 21 таблицу.

Работа выполнена при поддержке Росгидромета (тема 1.2.5.16 плана НИОКР на 2003 -2005 гг.) и грантов РФФИ № 03-05-64441 и № 02-05-64757.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении дается обоснование актуальности выбранной темы и проведенного исследования. Определены цели и задачи диссертационной работы, изложены основные результаты, полученные автором, и обозначен его личный вклад в исследования по данной теме, отражена научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе дана оценка современного состояния подсистемы наземных наблюдений за составляющими радиационного баланса и РСБД «Актинометрия». Обобщены направления использования актинометрической информации в прикладных целях и в задачах мониторинга климата на основе исследований различных авторов.

Во второй главе систематизированы результаты работ по совершенствованию и развитию РСБД «Актинометрия». Проанализировано состояние базовых архивов и выявлены имеющиеся в архивных записях несоответствия, возникшие в программах обработки и архивации актинометрической информации при смене класса вычислительных средств (от ЭВМ М-222 до ПЭВМ). Определена методология верификации и унификации информационной базы РСБД «Актинометрия», включающая:

- сохранение базовых архивов, как источника информации,

- соблюдение требований действующего Наставления по выполнению актинометрических наблюдений на станциях,
- использование современных сред разработки программного обеспечения для обработки баз данных.

Специально разработанный алгоритм верификации и унификации базовых архивов (файлов с данными результатов срочных наблюдений и регистрации составляющих радиационного баланса) включал операции по:

- проверке и исправлению призначной информации (в частности координатных номеров станций);
- проверке и корректировке формата архивных записей;
- перекодировке отдельных видов сопутствующей метеорологической информации;
- перекодировке результатов, полученных в ночное время суток, что позволило разделить забракованные и объективно отсутствующие данные;
- введению единого алгоритма расчета сумм радиации за различные интервалы времени.

При разработке алгоритма верификации учитывался опыт проведения контроля актинометрической информации в Мировом центре радиационных данных (МЦРД) и ААНИИ.

В результате проверки и преобразования базовых архивов «Срочные наблюдения» (файлы с именами srok.MGG) и «Регистрация» (файлы с именами RegmMMGG и RegMMGG) по разработанному алгоритму были сформированы нормализованные (исправленные) архивные файлы с именами SRNNNNNNN, RegmMMGGNew и RegMMGGNew, структура которых полностью соответствует структуре исходных файлов. Анализ показал, что в результате проведенного преобразования исправления были внесены в 30% общего количества записей. Классификация выявленных в исходных файлах ошибок представлена на рис.1.

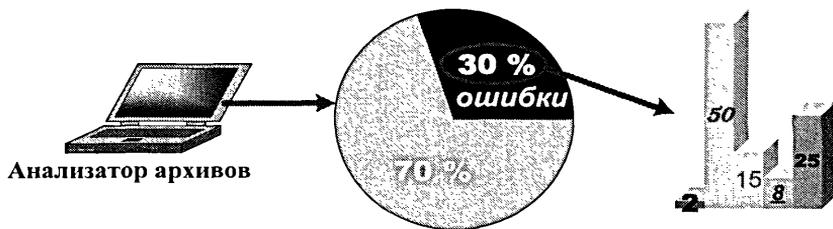


Рис. 1. Распределение (%) ошибочных данных в исходных архивных файлах

- Ошибки в координатных номерах
- ▣ Ошибки в часовых суммах
- ▤ Ошибки в суточных суммах
- ▥ Ошибки в месячных суммах
- ▧ Ошибки в кодировке

Дальнейшее преобразование нормализованных файлов RegmMMGGNew и RegMMGGNew (архив «Регистрация») позволило сформировать постанционные файлы NNNNNNNN и mNNNNNNNNN, которые наряду с файлами SRNNNNNNNN (архив «Срочные наблюдения»), образовали систему постанционных архивов климатологического типа.

Верификация и преобразование базовых архивов осуществлялась с помощью специально созданного пакета программ РСБД «Актинометрия». Пакет программ РСБД «Актинометрия» использует объектно-ориентированный язык программирования Delphi 6.0. Выходные и входные данные представляются в виде текстовых файлов, информация из которых может быть считана посредством простейшего текстового редактора WordPad или аналогичного ему.

Пакет программ РСБД «Актинометрия», структурная схема которого приведена на рис. 2, состоит из трех блоков. В первом блоке с использованием программных модулей «Проверка и корректировка файлов» осуществляется верификация исходных архивных файлов и формируются нормализованные архивы SRNNNNNNNN, NNNNNNNN и mNNNNNNNNN.

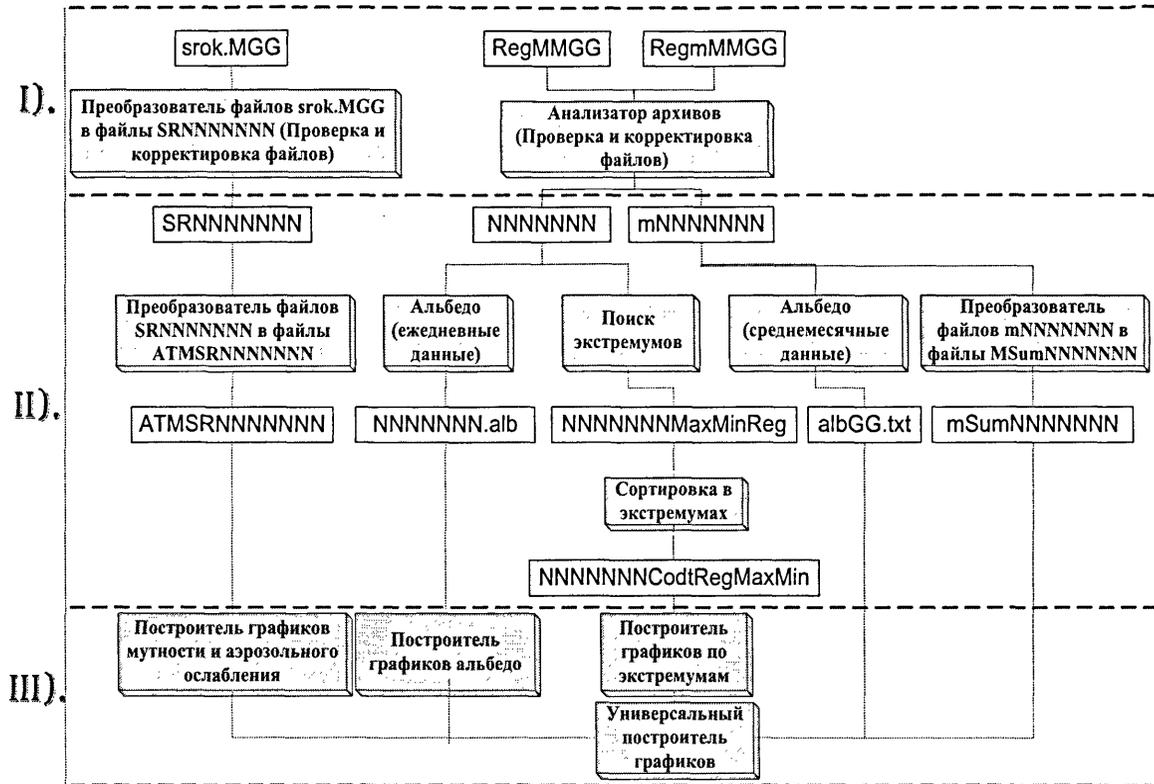


Рис. 2 Структурная схема пакета программ РСБД “Актинометрия”

Во втором блоке нормализованные архивы SRNNNNNNNN, NNNNNNNN и mNNNNNNNN преобразуются в специализированные архивы ATMSRNNNNNN, mSumNNNNNNNN, NNNNNNNCodeRegMaxMin, NNNNNNNRegMaxMin, NNNNNNN.alb, albGG.txt, предназначенные для информационного обеспечения конкретных исследований. Краткая характеристика сформированных специализированных архивов РСБД «Актинометрия» приведена в табл. 1.

Таблица 1

Общая характеристика специализированных архивов РСБД «Актинометрия»	
Имя архива	Содержание архива
ATMSRNNNNNN	Архив ATMSRNNNNNN содержит информацию о мгновенных значениях коротковолновой солнечной радиации (прямой, прямой на горизонтальной поверхности, рассеянной, суммарной) при ясном небе, альбедо, сопутствующей наблюдению метеорологической информации и характеристиках прозрачности атмосферы (коэффициенте прозрачности P_2 , факторе мутности T_2 , индексе мутности N , аэрозольной оптической толщине атмосферы τ_a) для станций бывшего СССР за период 1976 - 1993 гг., для станций России за период 1976 – 2004 гг.
mSumNNNNNNNN	Архив mSumNNNNNNNN содержит информацию о месячных суммах радиационного баланса и его составляющих, месячной продолжительности солнечного сияния, а также некоторых расчетных характеристиках.
NNNNNNNCodeRegMaxMin	Архивы NNNNNNNCodeRegMaxMin содержат информацию об экстремальных часовых суммах радиации и радиационного баланса, отсортированную по видам радиации, для конкретного месяца и года по станциям бывшего СССР за период с 1976 по 1993 г. и по станциям России за период 1976 – 2004 г.
NNNNNNNRegMaxMin	Архивы NNNNNNNCodeRegMaxMin содержат информацию об экстремальных часовых суммах радиации и радиационного баланса для конкретного месяца и года по станциям бывшего СССР за период с 1976 по 1993 г. и по станциям России за период 1976 – 2004 г.
albGG.txt	Архивы albGG.txt содержат информацию о средних за месяц часовых значениях альбедо (среднем суточном ходе альбедо) для станций бывшего СССР за период с 1976 по 1993 г. и для станций России за период 1976 – 2004 г.
NNNNNNN.alb	Архивы NNNNNNN.alb содержат информацию о суточном ходе альбедо (среднечасовых значениях альбедо) для конкретного дня, месяца и года по станциям бывшего СССР за период с 1976 по 1993 г. и по станциям России за период 1976 – 2004 г.

Третий блок программ разработан для графического представления информации, содержащейся в специализированных архивах.

В целом пакет программ РСБД «Актинометрия» включает в себя восемь программных модулей, из которых два обеспечивают проверку и корректировку базовых файлов, шесть - формирование выборок и выполнение расчетов по заданным алгоритмам, четыре – построение графиков.

Выполненная актуализация базовых архивов РСБД «Актинометрия» существенно расширила возможности для использования актинометрической информации в научных и прикладных исследованиях, заметно сократила затраты времени на поиск интересующей информации и формирование выборок в удобном для работы виде. Разработанные на данном этапе совершенствования РСБД «Актинометрия» специализированные архивы предназначены для проведения климатологических обобщений и ведения мониторинга радиационных факторов климата.

Дальнейшее развитие РСБД «Актинометрия» должно обеспечивать

- создание архивов различного назначения с улучшенным качеством данных;
- создание каталога о составе и содержимом базовых и специализированных архивов;
- создание систем по подготовке справок и обзоров с анализом текущего состояния радиационных факторов климата;
- разработку технологий пополнения базовых архивов исторической информацией, хранящейся на бумажных носителях.

Третья глава посвящена разработке системы мониторинга прозрачности атмосферы, представляющей собой информационно-программный комплекс для выявления пространственно-временных изменений мутности атмосферы.

Структурная схема формирования информационной базы мониторинга прозрачности атмосферы представлена на рис. 3.

Информационную основу системы составляют архивы «Срочные наблюдения» и «Регистрация», на основе которых сформирован «исторический» блок системы мониторинга прозрачности атмосферы. Для пополнения системы текущими данными используются архивы, формируемые в процессе регулярной обработки данных сетевых наблюдений (P2_SRO.ARH и ARHIV.P2).

Основной частью системы мониторинга прозрачности атмосферы является специально разработанная, первая в составе РСБД «Актинометрия», информационно-справочная система (ИСС) «Прозрачность атмосферы».

ИСС «Прозрачность атмосферы» реализует унифицированный подход к расчету основных характеристик прозрачности атмосферы, как интегральных, так и аэрозольных. Система функционирует в среде Access-2003, имеет дружественный интерфейс и обеспечивает максимально

удобные условия работы пользователей. Входящий в систему блок «Анализ данных» предусматривает выполнение 8-и различных процедур, обеспечивающих обработку и анализ временных рядов характеристик прозрачности атмосферы.

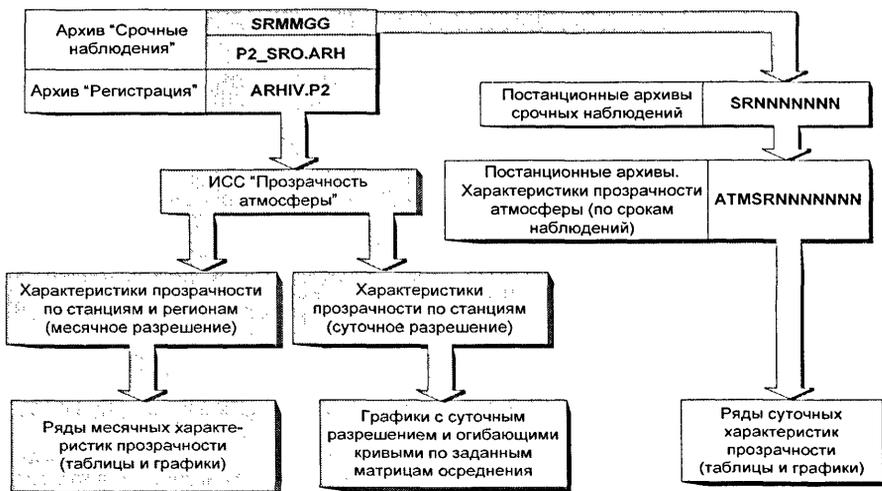


Рис. 3. Информационная база мониторинга прозрачности атмосферы

Система выполняет расчет среднемесячных значений характеристик прозрачности и их аномалий, осуществляет выборку экстремальных значений за заданный период времени, оценивает повторяемость различных градаций прозрачности в различных пунктах за выбранный период времени и повторяемость различных градаций прозрачности на одной станции за различные периоды времени. Результаты статистической обработки исходных рядов представляются в виде таблиц и графиков.

В дополнение к ИСС «Прозрачность атмосферы» для отдельных станций и регионов России сформированы ряды месячных и годовых значений отдельных характеристик прозрачности (фактора мутности Линке, индекса мутности, аэрозольной оптической толщины атмосферы) в виде xls-файлов, содержащих таблицы и графики. На графиках представлены:

- ход характеристик прозрачности во времени для отдельных месяцев и за год в целом, линии трендов и их уравнения;
- гистограммы повторяемости месячных аномалий характеристик прозрачности по градациям для анализируемых периодов наблюдений;

- средний за анализируемый период годовой ход характеристик прозрачности с указанием изменчивости месячных величин.

Пополнение архивов месячного разрешения может осуществляться с отставанием в пределах полугода от реального времени. Они позволяют оценивать аномалии характеристик прозрачности относительно средних за любые периоды. Совместное использование ИСС «Прозрачность атмосферы» и специализированных постанционных архивов, позволяет проводить детальный анализ долгопериодных и короткопериодных изменений мутности атмосферы на территории России в целом и в ее отдельных регионах и составлять на регулярной основе обзоры с характеристикой режима мутности атмосферы за отдельные годы.

Для оценки внутримесячных изменений мутности атмосферы разработанная система мониторинга содержит архивы характеристик прозрачности по срокам наблюдений, сформированных в результате преобразования нормализованных архивов SRNNNNNN в специализированные архивы ATMSRNNNNNN, а также архивы с информацией суточного разрешения о метеорологических параметрах (температуре и влажности воздуха) и таких характеристиках прозрачности атмосферы, как прямая радиация, приведенная к высоте солнца $h=30^{\circ}$ (S_{30}), коэффициент прозрачности P_2 , фактор мутности T_2 , индекс мутности N , ослабление радиации аэрозолями (ΔS_a). Архивы суточного разрешения позволяют анализировать внутримесячную изменчивость параметров мутности и выявлять периоды аномальной мутности, вызванные воздействиями локальных (местных) источников и лесных пожаров. Для графического анализа данных указанных архивов в состав пакета программ РСБД «Актинометрия» включен специальный программный модуль.

Четвертая глава посвящена исследованию особенностей изменения интегральной мутности атмосферы на территории России за последние 30 лет. Для количественной оценки мутности атмосферы использовалась такая широко распространенная характеристика, как фактор мутности Линке (T_2), характеризующий наблюдаемую прозрачность по отношению к прозрачности идеальной атмосферы, т.е. атмосферы, не содержащей водяного пара и аэрозольных частиц. Расчет T_2 производился по формуле:

$$T_2 = \frac{\lg S_0 - \lg S_{30}}{\lg S_0 - \lg S_i} = 12,09 \lg \frac{S_0}{S_{30}} \quad (1),$$

в которой S_{30} – прямая солнечная радиация, приведенная к среднему расстоянию между Землей и Солнцем и высоте Солнца 30° ; S_0 – солнечная постоянная, равная 1.367 кВт/м^2 ; S_i – прямая солнечная радиация в идеальной атмосфере, равная 1.130 кВт/м^2 при массе атмосферы $m = 2$.

Анализ пространственно-временных изменений мутности атмосферы выполнен по данным 70 станций, расположенных в различных регионах России, с использованием разработанной системы мониторинга прозрачности атмосферы: информационно-справочной системы «Прозрачность атмосферы» и специализированных архивов.

В результате проведенного исследования было установлено, что в последней четверти XX века характер пространственного распределения и годового хода T_2 существенно не изменился по сравнению с предыдущим 25-летием. Как следует из табл. 2 наиболее высокая прозрачность атмосферы характерна для северных регионов как на азиатской (АТР), так и на европейской (ЕТР) территории России. На территории России мутность атмосферы возрастает с севера на юг и с северо-востока на юго-запад. Широтный ход T_2 более выражен на Европейской территории России. На Азиатской территории России рост мутности с широтой выражен слабее, однако дополнительно прослеживается тенденция к увеличению мутности в направлении с северо-востока на юго-запад.

Изменчивость среднегодовых значений T_2 характеризуется коэффициентами вариации c_v , колеблющимися в пределах 11 – 13 %. При этом заметная часть колебаний T_2 , отмечаемых в большинстве регионов в период с 1976 по 2003 гг., не выходит за пределы $\pm \sigma$ (для юга ЕТР повторяемость T_2 в пределах $\pm \sigma$ составляет около 60 %, для северо-востока АТР - 86 %).

Таблица 2

Средние многолетние годовые значения T_2 и их статистические характеристики							
Регион	Период осреднения 1976 – 2003 гг.			Повторяемость (P%) годовых T_2 в пределах:		Период осреднения 1976 – 2003 гг. с исключением периодов проявления последствий вулканических извержений	
	T_2	σ	$c_v, \%$	$\pm \sigma$	$\pm 0.5\sigma$	T_2	σ
север ЕТР	2.73	0.36	13	72	39	2.67	0.16
центр ЕТР	3.17	0.34	11	75	32	3.09	0.22
юг ЕТР	3.68	0.34	9	57	32	3.45	0.27
Урал	2.87	0.32	11	61	32	2.77	0.21
Западная Сибирь	2.72	0.31	11	86	54	2.63	0.17
северо-восток АТР	2.54	0.31	12	86	28	2.45	0.13
Восточная Сибирь	2.72	0.31	11	82	32	2.63	0.17
юг АТР	2.75	0.29	11	61	28	2.68	0.18
Дальний Восток	2.92	0.30	10	75	42	2.85	0.17

Максимальные положительные аномалии среднегодовых значений T_2 обусловлены проявлениями последствий вулканических извержений и отмечаются в 1983 и в 1992 г. Исключительно высокие аномалии T_2 , достигающие в 1983 г. 1.5-2.6 σ , а в 1992 г. - 2.3 -3.4 σ , не привели, однако, к существенному изменению средних за почти 30-летний период. Средние многолетние значения T_2 за «невозмущенный» период оказываются на 2 - 4 % ниже средних за весь рассматриваемый период, но несколько устойчивее их.

В целом на фоне существенной межгодовой изменчивости T_2 проявляются вполне определенные тенденции долговременных изменений мутности. В последнее тридцатилетие в большинстве регионов России выявляется тенденция к уменьшению T_2 . Типичный пример хода средних за год T_2 в двух регионах России представлен на рис. 4, на котором наряду с кривыми хода средних годовых T_2 и линий линейного тренда приведены параметры линии тренда (уравнения и R^2). Наблюдаемое уменьшение T_2 составляет в различных регионах от 0.1 до 0.6% в год.

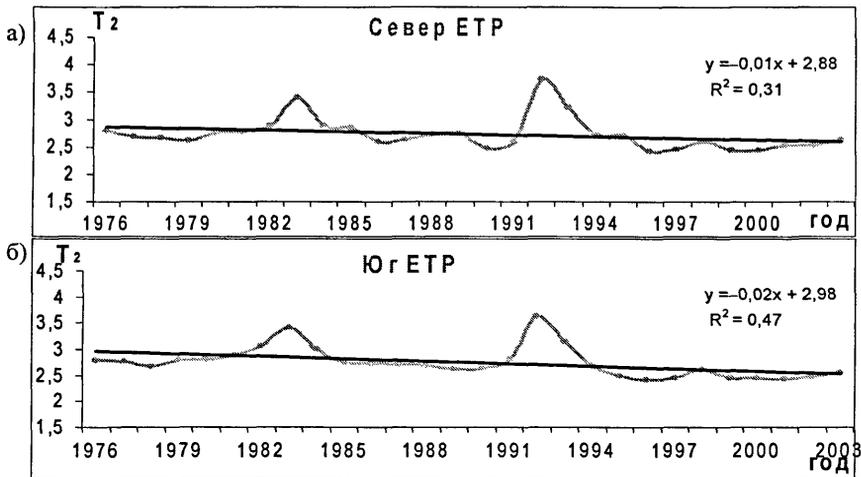


Рис. 4. Многолетний ход T_2 для регионов: север ЕТР (а) и юг ЕТР (б).

Анализ повторяемости (P ,%) месячных аномалий T_2 , выраженных в долях σ (с шагом 0.5σ), за период 1976 – 2003 гг., результаты которого представлены в табл.3, показал, что аномалии T_2 с вероятностью не менее 60% не выходят за пределы $\pm \sigma$.

Отрицательные аномалии, превышающие по абсолютной величине 2σ в рассматриваемый период времени не наблюдались. Положительные аномалии превышающие 2 , а иногда и 3σ связаны с возмущениями, обусловленными последствиями проявлений вулканических извержений. Вероятность появления таких высоких аномалий в рассматриваемый период не превышала 5%.

В рассматриваемый период времени на режим прозрачности атмосферы оказали влияние два мощных вулканических извержения: Эль Чичон (апрель 1982 г.) и Пинатубо (июнь 1991 г.). Эффекты этих извержений прослеживаются во временных рядах T_2 на всей территории России.

Таблица 3

Статистическая структура повторяемости (P,%) месячных аномалий T_2 по градациям σ								
Регион	P, %							
	1976 – 2003 гг.				1994 – 2003 гг.			
	менее $-\sigma$	$\pm\sigma$	от σ до 2σ	более 2σ	менее $-\sigma$	$\pm\sigma$	от σ до 2σ	более 2σ
север ЕТР	19	71	5	5	35	60	6	5
центр ЕТР	26	65	5	4	58	41	1	0
юг ЕТР	32	57	8	3	69	29	2	0
Урал	26	61	10	3	49	49	2	0
Западная Сибирь	16	74	7	3	29	67	4	1
северо-восток АТР	10	80	5	5	20	77	3	0
Восточная Сибирь	23	67	5	5	54	45	0	1
юг АТР	26	64	6	4	62	38	0	0
Дальний Восток	16	72	5	5	37	61	2	0

Ход месячных аномалий T_2 ($\Delta T_2 = (T_i - T_{cp})/\sigma$) в различных регионах России за четырехлетний период, включающий год, когда произошло извержение, и три последующих года (всего за 48 месяцев) представлен на рис.5. По этим графикам были определены периоды аномально высокой мутности атмосферы, обусловленные проявлением последствий вулканических извержений.

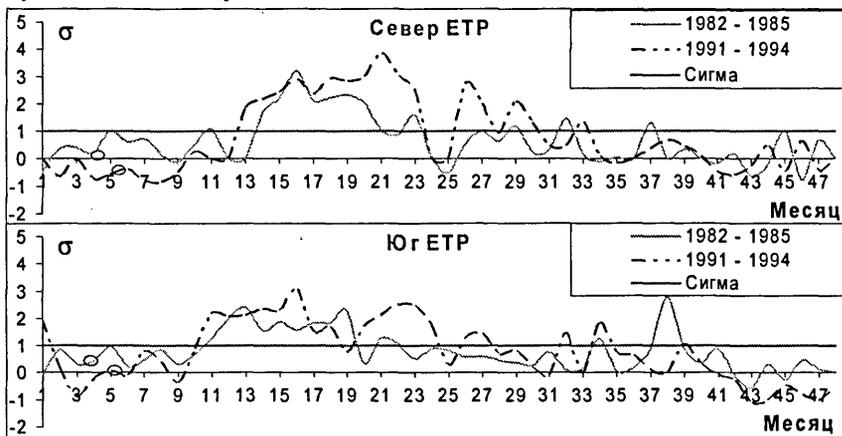


Рис. 5. Аномалии месячных значений T_2 (в долях сигма) после извержения вулкана Эль-Чичон (1982-1985 гг.) и Пинатубо (1991-1994 гг.)

Поскольку вследствие вулканических извержений естественное состояние мутности атмосферы резко нарушается, представляет интерес оценить тенденции изменения мутности в «невозмущенные» периоды. Для этого были рассмотрены ряды средних годовых значений T_2 , в которых данные за 1983 - 1984 гг. и 1992 - 1993 гг. были исключены. Результаты такого анализа «невозмущенных» (условных) рядов для отдельных регионов представлены на рис.6, из которого следует, что тренды годовых значений T_2 статистически значимы и отрицательны.

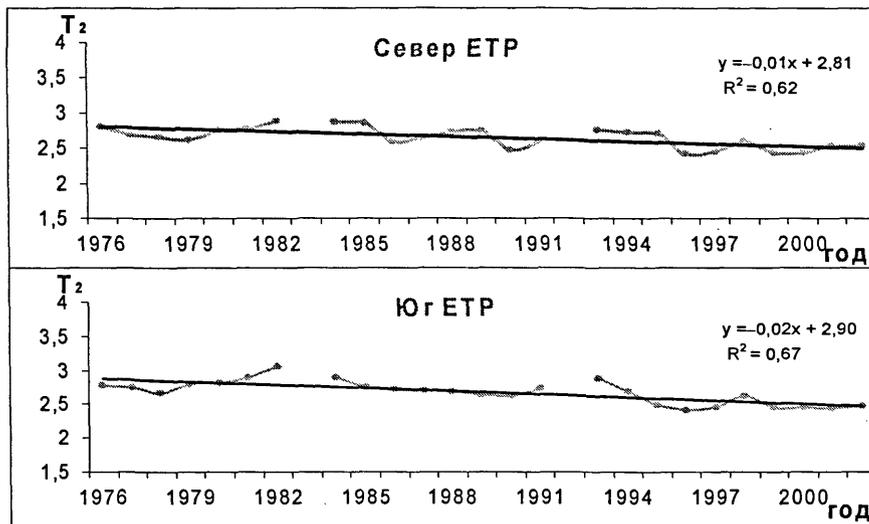


Рис. 6. Многолетние изменения среднегодовых значений T_2 в «невозмущенный» период на севере и юге ЕТР.

Тренды «невозмущенных» рядов годовых значений T_2 составляют на севере ЕТС - 0.4%, в центре - 0.45% и на юге - около 0.5%. Для летних значений T_2 величины трендов несколько отличаются от годовых: на севере ЕТР они составляют 0.3%, а в на остальной территории близки к 0.6%. Для остальных регионов тренды годовых и летних значений T_2 меняются от 0.2% до 0.6%. Повышение мутности, вызванное вулканическими извержениями, привело к повышению средних годовых T_2 на 3-4% при увеличении средних месячных значений в пределах 1-6%.

Особый интерес для изучения режима мутности атмосферы на территории России представляет период с 1994 по 2003 гг. Во всех регионах России в эти годы прозрачность атмосферы была самой высокой за последнюю четверть века. Средние годовые значения T_2 для указанного

периода оказались на 8 – 15% ниже среднегодовых значений T_2 , рассчитанных для периода 1976 -1995 гг.

Аномалии месячных T_2 в период 1994 -2003 гг. так же как и в предыдущем периоде в большинстве случаев укладываются в интервал $\pm\sigma$, но структура распределения аномалий по величине меняется в указанное последнее десятилетие по сравнению с предыдущим периодом: происходит сдвиг гистограммы в сторону отрицательных величин (рис. 7).

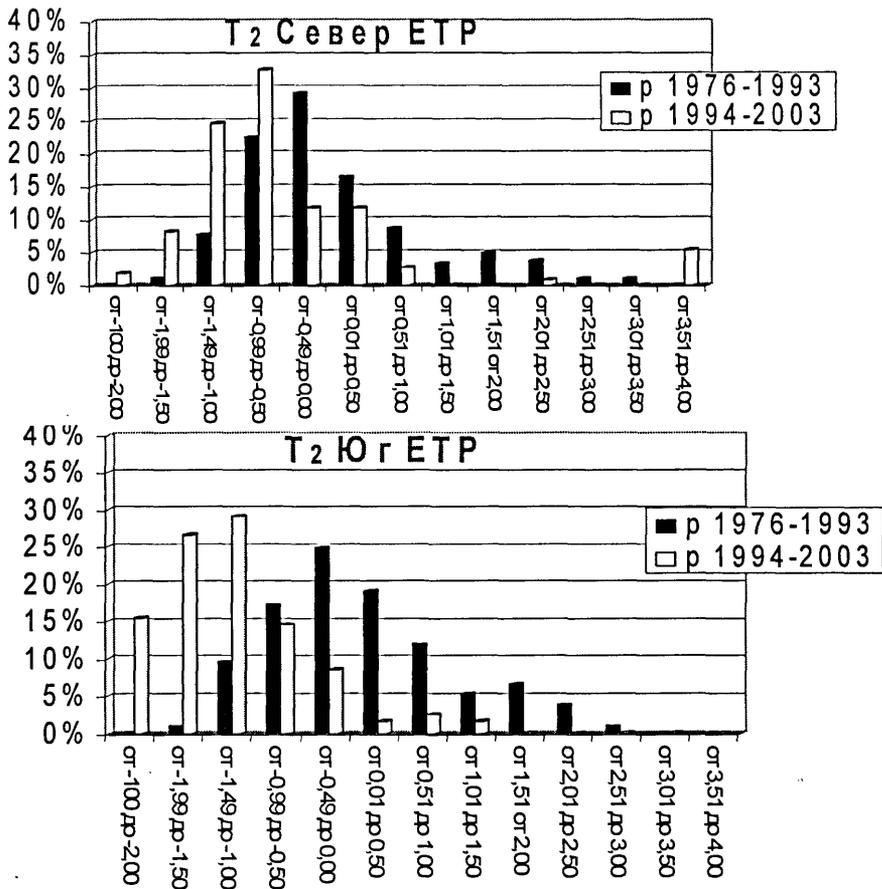


Рис.7. Гистограммы повторяемости (%) месячных аномалий T_2 по градациям сигма.

Установленная для всей территории России тенденция к очищению атмосферы может быть связана как с отсутствием крупных вулканических извержений, так и с антропогенным «затишьем» последних 10 лет.

Заключение и выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. По результатам анализа состояния информационной базы и программного обеспечения РСБД «Актинометрия» показано, что режимно-справочный банк данных «Актинометрия» содержит информацию, которая с успехом может использоваться для ведения на регулярной основе мониторинга радиационных факторов климата.

2. Разработана и реализована усовершенствованная технология формирования нормализованных и специализированных архивов РСБД «Актинометрия».

3. Разработан и реализован комплекс программ доступа, контроля и преобразования информационной базы РСБД «Актинометрия», с помощью которого сформированы верифицированные и нормализованные архивы «Срочные наблюдения» и «Регистрация».

4. Сформирован набор специализированных архивов РСБД «Актинометрия», предназначенных для анализа текущих и долговременных изменений климата, проведения прикладных и исследовательских работ. Среди сформированных специализированных архивов наиболее востребованными являются архивы характеристик прозрачности (данных срочных наблюдений при ясном небе, ATMSRNNNNNN), месячных сумм радиации (mSumNNNNNNN), экстремальных часовых сумм радиационного баланса и его составляющих (NNNNNNNRegMaxMin, NNNNNNNCodeRegMaxMin), архивы ежечасных значений альbedo (суточных, среднемесячных: albGG.txt, NNNNNNN.alb).

5. Создана специализированная информационная база мониторинга прозрачности атмосферы и комплекс программ для анализа и графического представления материалов. Разработана технология ведения и пополнения информационной базы мониторинга прозрачности атмосферы.

6. В составе РСБД «Актинометрия» создана первая специализированная информационно-справочная система (ИСС) «Прозрачность атмосферы», с использованием которой выполнен анализ пространственно-временных изменений мутности атмосферы на территории отдельных регионов России за последние 30 лет.

7. В результате исследования мутности атмосферы на территории России за период 1976 – 2003 гг. установлено:

- Как для среднегодовых, так и для среднемесячных T_2 характерна существенная межгодовая изменчивость. При этом повторяемость T_2 в пределах $\pm\sigma$ составляет порядка 70%. Положительные аномалии месячных и годовых T_2 , превышающие 2σ , обусловлены проявлениями последствий мощных вулканических извержений.
- Последствия извержения вулканов Эль Чичон и Пинатубо в рядах месячных и годовых значений мутности повсеместно и выразились в резком и устойчивом повышении мутности, наступающем спустя 5-10 месяцев после извержения, и в нарушении годового хода мутности, продолжающемся в течение 7–20 месяцев.
- Тренды в рядах годовых и месячных значений T_2 за 1976 – 2003 гг. в подавляющем большинстве случаев указывают на рост прозрачности атмосферы, но не всегда статистически значимы.
- В период с 1994 г. по 2003 гг. уменьшение мутности (среднегодовых значений T_2 относительно средних за период 1976-1995 гг.) в различных регионах России составило от 8 до 15 %. Этот период характеризуется самой высокой прозрачностью атмосферы, отмечавшейся на территории России в последней четверти XX века.

Полученные результаты реализованы в ГУ «ГГО» и в настоящее время используются при проведении полного комплекса работ по верификации и совершенствованию информационной базы РСБД «Актинометрия». Сформированные в процессе работы специализированные архивы существенно расширяют возможности использования актинометрической информации в прикладных исследованиях. Работы по дальнейшему совершенствованию РСБД должны быть направлены на создание программных средств, позволяющих расширить возможности для использования актинометрической информации в научных и прикладных исследованиях.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Махоткина Е.Л., Лукин А.Б., Плахина И.Н. Некоторые особенности изменения мутности атмосферы на территории России в последней четверти XX века // Метеорология и гидрология. - 2005. - №1. -С.28-36
2. Луцко Л.В., Махоткина Е.Л., Ерохина А.Е., Лукин А.Б., Соколенко С.А. Использование сетевой актинометрической информации для исследования климатических изменений в последней четверти XX века // Труды НИЦ ДЗА. -2004. - Вып.5 (553). – С.223-234.
3. Махоткина Е.Л., Лукин А.Б. Актуализация архива «Регистрация» РСБД «Актинометрия» // Труды НИЦ ДЗА. - 2005. - Вып.6 (554). – С.96-105
4. Горбаренко Е.В., Ерохина А.Е., Лукин А.Б. Некоторые тенденции изменения аэрозольной мутности атмосферы в России // Международный симпозиум стран СНГ «Атмосферная радиация» (МСАР-2004). - СПб.: 2004. – С. 61-62.
5. Махоткина Е.Л., Лукин А.Б. Региональные особенности изменения мутности атмосферы на территории России // Шестое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Материалы совещания. -Томск.: 2005. – С.127 -128
6. Горбаренко Е.В., Ерохина А.Е., Лукин А.Б. Многолетние изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в России // Метеорология и гидрология. - 2006. - № 7. – с. 41 – 48.
7. Махоткина Е.Л., Лукин А.Б., Плахина И.Н., Панкратова Н.В. Анализ годового хода и межгодовой изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы по данным актинометрической сети России // Исследования Земли из космоса. – 2006. - № 5. – с. 1-9.

