Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агенство по образованию
ГОУ ВПО
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

Допущена к защите,
заведующий кафедрой
докт. физ.-мат. наук, проф. А. Д. Кузнецов

Кафедра
экспериментальной физики атмосферы

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Диагностическая модель для определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере с помощью глобальной навигационной спутниковой системы

Выполнила О.А.Мельникова, гр. М-541

Руководитель канд. физ. мат. наук, доцент
В.В.Чукин

Санкт-Петербург 2009

Содержание

		Стр.
	Сокращения	4
	Введение	5
1	Глобальная навигационная спутниковая система	7
1.1	Современное состояние ГНСС	8
1.2	Технические детали работы навигационных систем	9
1.3	Низкоорбитальные спутниковые навигационные системы	13
1.4	Среднеорбитальные спутниковые навигационные системы	15
2	Диагностическая модель «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ» для определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере	20
3	Определение региональных значений параметров модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ»	27
3.1	Системы радиозондирования атмосферы	27
3.2	Реляционные базы данных	29
3.3	Язык SQL	34
3.4	Алгоритм обработки данных аэрологического зондирования	41
4	Анализ результатов определения параметров модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ»	46
4.1	Пространственное и временное распределение параметров модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ»	46
4.2	Точность определения интегрального содержания водяного пара	61
	Заключение	65
	Список используемой литературы	67

Приложение А – Текст программы для определения средневзвешенной температуры атмосферы по данным аэрологического зондирования 68
Приложение Б – Текст программы для определения значений параметров диагностической модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ» 72

Сокращения

ГНСС	–	глобальная навигационная спутниковая система;
NAVSTAR	–	NAVigation Satellites providing Time And Range;
GPS	–	Global Positioning System;
КИ	–	корректирующая информация;
СДКМ	–	система дифференциальной коррекции и мониторинга;
СНС	–	спутниковые навигационные системы;
ИСЗ	–	искусственный спутник Земли;
КА	–	космический аппарат;
OAS	–	Open Access Service - служба открытого доступа;
CAS	–	Controlled Access Service - служба контролируемого доступа;
ЦАО	–	Центральная аэрологическая обсерватория;
РЛС	–	радиолокационная станция;
СВЧ	–	генератор сверхвысоких частот;
НИС	–	научно-исследовательские суда;
МАРЛ-А	–	Малогабаритный аэрологический радиолокатор
БД	–	База Данных;
СУБД	–	система управления базой данных;
IMS	–	Information Management System;
SQL	–	Structured Query Language;
ЭВМ	–	электронно-вычислительная машина

Введение

Искусственные спутники Земли оказывают неоценимую помощь в сборе метеорологической информации и в увеличении ее объема. Однако основное преимущество применения спутников в метеорологии состоит в том, что они открывают возможность получения качественно новых сведений о состоянии атмосферы, которые не могли быть получены другими средствами. С помощью спутников выявлены многие крупномасштабные структурные особенности облачных полей – спиральные полосы облаков в циклонах. линейные системы облаков внутритропической зоны конвергенции, выявлены структурные особенности мезомасштаба – ячейковые и грядовые облачные системы. мелкие вихри и другие мезопроцессы. Новая метеорологическая информация со спутников позволяет глубже проникнуть в суть атмосферных процессов и значительно улучшить качество прогноза погоды.

В настоящее время большое внимание уделяется возможностям дистанционного зондирования атмосферы по измеренным характеристикам радиоизлучения космических навигационных аппаратов. Разработаны методы восстановления профиля показателя преломления в различных геометрических схемах приема излучения: по лимбовым измерениям рефракции со спутников, по наземным измерениям астрономической рефракции, и по измерениям рефракции методом погружения. Современные навигационные системы позволяют проводить одновременные измерения на самых различных трассах. В данной работе рассматривается вопрос осуществления зондирования атмосферы сигналами навигационных спутников с помощью регистрации сигналов наземной приемной аппаратурой с целью определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере.

Целью работы является определение параметров диагностической модели, предназначенной для определения интегрального содержания

водяного пара в атмосфере с помощью навигационных систем.

Задачами данной работы являются:

1) расчет средней «взвешенной» температуры атмосферы по базе данных аэрологического зондирования атмосферы;
2) определение параметров диагностической модели;
3) оценка ошибок определения интегрального содержания водяного пара с использованием полученных параметров модели.

В первой главе рассматриваются основы построения глобальной навигационной спутниковой системы и возможности ее использования для задач дистанционного зондирования атмосферы.

Во второй главе представлен математический аппарат диагностической модели для расчета интегрального содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы.

Третья глава посвящена вопросам получения информации, основанной на обработке больших объемов данных аэрологического зондирования атмосферы, с цель определения параметров диагностической модели.

В четвертой главе приведены результаты определения параметров модели и дан сравнительный анализ точности определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере при различных параметрах модели.

1 Глобальная навигационная спутниковая система

Спутниковая система навигации — это комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты), а также параметров движения (скорости, направления движения и т. д.) для наземных, водных и воздушных объектов [1, 2].

Основными элементами спутниковой системы навигации являются:

- орбитальная группировка, состоящая из нескольких (от 2 до 30) спутников, излучающих специальные радиосигналы;
- наземная система управления и контроля, включающая блоки измерения текущего положения спутников и передачи на них полученной информации для корректировки информации об орбитах;
- приёмное клиентское оборудование («спутниковых навигаторов»), используемое для определения координат;
- информационная радиосистема для передачи пользователям поправок, позволяющих значительно повысить точность определения координат.

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Таблица положений всех спутников называется альманахом, которым должен располагать любой спутниковый приёмник до начала измерений. Обычно приёмник сохраняет альманах в памяти со времени последнего выключения и если он не устарел – мгновенно использует его. Каждый спутник передаёт в своём сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких

спутников системы, с помощью обычных геометрических построений, на основе альманаха, можно вычислить положение объекта в пространстве.

Метод измерения расстояния от спутника до антенны приёмника основан на определённости скорости распространения радиоволн. Для осуществления возможности измерения времени распространения радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени в составе своего сигнала используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приёмника его часы синхронизируются с системным временем и при дальнейшем приёме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приёма сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приёмник вычисляет координаты антенны. Дополнительно накапливая и обрабатывая эти данные за определённый промежуток времени, становится возможным вычислить такие параметры движения, как скорость (текущую, максимальную, среднюю), пройденный путь и т. п.

1.1 Современное состояние ГНСС

В настоящее время работают или готовятся к развёртыванию следующие системы спутниковой навигации.

GPS

NAVSTAR GPS (англ. NAVigation Satellites providing Time And Range; Global Positioning System – обеспечивающие измерение времени и расстояния навигационные спутники; глобальная система позиционирования) – спутниковая система навигации, часто именуемая GPS. Позволяет в любом месте Земли (включая приполярные области), почти при любой погоде, также в космическом пространстве на расстоянии до 100 км от поверхности Земли, определить местоположение и скорость объектов. Система разработана, реализована и эксплуатируется Министерством обороны США, что считается

другими государствами её главным недостатком. Более известна под названием GPS. Единственная полностью работающая спутниковая навигационная система.

ГЛОНАСС

Принадлежит министерству обороны России. Является попыткой восстановить функционировавшую с 1982 года советскую систему. Находится на этапе повторного развёртывания спутниковой группировки (оптимальное состояние орбитальной группировки спутников, запущенных в СССР, было в 1993–1995 гг.). Современная система, по заявлениям разработчиков наземного оборудования, будет обладать некоторыми техническими преимуществами по сравнению с GPS. Однако в настоящее время эти утверждения проверить невозможно ввиду недостаточности спутниковой группировки и отсутствия доступного клиентского оборудования.

Бэйдоу

Развёртываемая в настоящее время Китаем подсистема ГНСС, предназначенная для использования только в этой стране. Особенность – небольшое количество спутников, находящихся на геостационарной орбите.

Galileo

Европейская система, находящаяся на этапе создания спутниковой группировки.

IRNSS

Индийская навигационная спутниковая система, в состоянии разработки. Запуск первого спутника ожидается в 2009 году.

1.2 Технические детали работы навигационных систем

Основными системами спутниковой навигации в настоящее время являются GPS и ГЛОНАСС:

Обе системы имеют двойное назначение – военное и гражданское, поэтому излучают два вида сигналов: один с пониженной точностью

определения координат (~100 м) для гражданского применения и другой высокой точности (~10-15 м и точнее) для военного применения. Для ограничения доступа к точной навигационной информации вводят специальные помехи, которые могут быть учтены после получения ключей от соответствующего военного ведомства (США для GPS и России для ГЛОНАСС). В настоящее время эти помехи отменены, и точный сигнал доступен гражданским приёмникам, однако в случае соответствующего решения государственных органов стран-владельцев военный код может быть снова заблокирован (в системе GPS это ограничение было отменено только в мае 2000 года и в любой момент может быть восстановлено).

Основой обеих систем являются навигационные спутники, движущихся вокруг Земли. Спутники GPS располагаются в шести плоскостях (по четыре спутника в каждой) на высоте примерно 20 180 км. Спутники ГЛОНАСС (шифр «Ураган») находятся в трёх плоскостях на высоте примерно 19 100 км. Номинальное количество спутников ГЛОНАСС – 24, максимальное возможное число одновременно работающих спутников в системе GPS ограничено 37. Группировка GPS полностью укомплектована в апреле 1994-го и с тех пор поддерживается, слежение за орбитальной группировкой осуществляется с главной контрольной станции расположенной на авиабазе ВВС США Schriever, штат Колорадо, США и с помощью 10 станций слежения, из них три станции способны посылать на спутники корректировочные данные в виде радиосигналов с частотой 2000 – 4000 МГц. Спутники последнего поколения распределяют полученные данные среди других спутников. Группировка ГЛОНАСС была полностью развёрнута в декабре 1995-го, но с тех пор значительно деградировала. В настоящий момент идёт её активное восстановление.

Обе системы используют сигналы на основе т. н. «псевдошумовых последовательностей», применение которых придаёт им высокую помехозащищённость и надёжность при невысокой мощности излучения

передатчиков.

В соответствии с назначением, в каждой системе есть две базовые частоты – L1 (стандартной точности) и L2 (высокой точности). Для GPS L1=1575.42 МГц и L2=1227.6 МГц, последние модели также на L5=1176.45 МГц. В ГЛОНАСС используется частотное разделение сигналов, т.е. каждый спутник работает на своей частоте и, соответственно, L1 находится в пределах от 1602.56 до 1615.50 МГц, а L2 от 1246.43 до 1256.53 МГц. Сигнал в L1 доступен всем пользователям, сигнал в L2 – только военным (то есть, не может быть расшифрован без специального секретного ключа).

Каждый спутник системы, помимо основной информации, передаёт также вспомогательную, необходимую для непрерывной работы приёмного оборудования. В эту категорию входит полный альманах всей спутниковой группировки, передаваемый последовательно в течение нескольких минут.

В реальности работа системы происходит значительно сложнее. Некоторые проблемы, требующие специальных технических приёмов по их решению:

- отсутствие атомных часов в большинстве навигационных приёмников. Этот недостаток обычно устраняется требованием получения информации не менее чем с трёх (2-мерная навигация при известной высоте) или четырёх (3-мерная навигация) спутников; (при наличии сигнала хотя бы с одного спутника можно определить текущее время с хорошей точностью). Неоднородность гравитационного поля Земли, влияющая на орбиты спутников;
- неоднородность атмосферы, из-за которой скорость и направление распространения радиоволн может меняться в определённых пределах;
- отражения сигналов от наземных объектов, что особенно заметно

в городе;

- невозможность разместить на спутниках передатчики большой мощности, из-за чего приём их сигналов возможен только в прямой видимости на открытом воздухе.

В настоящее время приёмники всё чаще используются в гражданских целях, в основном для определения местонахождения и скорости. Потребители могут приобрести различные устройства и программные продукты, позволяющие видеть своё местонахождение на электронной карте; иметь возможность прокладывать маршруты с учётом дорожных знаков, разрешённых поворотов и даже пробок; искать на карте конкретные дома и улицы, достопримечательности, кафе, больницы, автозаправки и прочие объекты инфраструктуры. Сеть наземных GPS станций (несколько тысяч по всему миру) обеспечивает одновременное глобальное покрытие и получение непрерывных измерений с высоким временным и пространственным разрешением. GPS техника осуществляет измерения групповых и фазовых задержек радиосигналов L1=1575 МГц и L2=1228 МГц с 30-секундным интервалом одновременно для всех спутников, находящихся в зоне радиовидимости для данной GPS станции.

Для целей увеличения точности позиционирования пользователей используется дифференциальный метод, который основан на использовании сети базовых станций, осуществляющих прием навигационных сигналов, вычисление ошибок измерений и распространение пользователям корректирующей информации (КИ) по каналам связи. В мире существуют две системы передачи широкозонной КИ: WAAS (США) и EGNOS (Евросоюз). В нашей стране создается Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), призванная объединить разрозненные системы дифференциальной коррекции.

1.3 Низкоорбитальные спутниковые навигационные системы

Проблема использования для целей навигации подвижных ориентиров, вынесенных в космическое пространство, приобрела практическое решение после запуска 4 октября 1957 года первого в мире советского искусственного спутника Земли (ИСЗ). Американские учёные во главе с Ричардом Кершнером, наблюдали сигнал, исходящий от советского спутника и обнаружили; частота принимаемого сигнала увеличивается при приближении спутника и понижается при его отдалении. Суть открытия заключалась в том, что если Вы точно знаете свои координаты на Земле, то становится возможным измерить положение спутника, и наоборот, точно зная положение спутника, можно определить собственные координаты.

СНС Transit («Транзит») начала разрабатываться уже в 1958 году в США. В 1959 году на орбиту выведен первый навигационный искусственный спутник Земли, а в 1964 году вступила в эксплуатацию система для обеспечения американских атомных ракетных подводных лодок «Поларис». Для коммерческой эксплуатации СНС «Transit» была предоставлена в 1967 году, причем количество гражданских пользователей вскоре существенно превысило число военных. К концу 1975 года на круговых околоземных орбитах (высотой около 1000 км) находилось шесть навигационных космических аппаратов (КА), и на основе приема и выделения доплеровского сдвига частоты передатчика одного из них рассчитывались координаты наблюдателя. Масса ИСЗ составляла 56 кг. Спутник излучал сигнал на двух частотах – 150 и 400 МГц, среднеквадратическая погрешность (СКП) определения места объекта на земной поверхности составила 100 м. В 2000 году система была выведена из эксплуатации.

СНС «Цикада» – российская система начала свое действие с 1967 года, когда был выведен на орбиту первый навигационный спутник «Космос-192». Полностью система введена в эксплуатацию в 1979 году в составе четырех

космических аппаратов, выведенных на круговые орбиты высотой 1000 км, наклонением 83 градуса и равномерным распределением плоскостей орбиты вдоль экватора. Система позволяла наблюдателю каждые 1.5 – 2 часа определять координаты своего места при продолжительности навигационного сеанса до 10 мин. С течением времени в результате модернизации системы СКП определения места объекта достигла 80 – 100 м. «Цикада» также использовала доплеровский сдвиг частоты сигнала передатчика для определения координат места. Позже космические аппараты этой системы были дооснащены аппаратурой для обнаружения терпящих бедствие объектов, оборудованных радиобуями, излучающими специальные сигналы. В настоящее время «Цикада» имеет ограниченное применение в навигации. Для определения координат кораблей ВМФ СССР использовалась низкоорбитная спутниковая навигационная система «Цикада-М», обладающая характеристиками, близкими к системе «Цикада».

Таким образом, со времен средневековых мореходов способ определения координат объекта на поверхности Земли принципиально не изменился, а лишь значительно облегчился благодаря широкому применению вычислительных устройств и чувствительной приемной аппаратуры. Для решения задачи определения координат по величине доплеровского сдвига частоты сигнала, излучаемого ИСЗ, приемная аппаратура рассчитывала скорость КА, находящегося на высоте 1000 км. Кроме того, необходимо было знать положение аппарата на орбите (эту так называемую «эфемеридную информацию» КА «сбрасывал» потребителю) и иметь на КА и в приемной аппаратуре высокостабильный генератор частоты.

Принципиально измерять расстояния можно было бы одновременно до двух ИСЗ или последовательно во времени до одного и того же спутника. На практике измерялась разность расстояний до одного и того же ИСЗ через 20-секундные интервалы времени. Поэтому в состав спутниковой навигационной системы входил наземный комплекс управления (со средствами измерения и

передачи на КА данных о его положении на орбите – «эфемеридной информации»).

1.4 Среднеорбитальные спутниковые навигационные системы

С разработкой в 1960 году атомных часов стало возможным использовать для целей навигации сеть точно синхронизированных передатчиков кодированных сигналов. В 1964 году ВВС США начали разработку и испытания возможностей использования для местоопределения широкополосных сигналов, модулированных псевдослучайными шумовыми кодами. В 1973 году программы ВВС были объединены в общую технологическую программу Navstar GPS. Но полностью система оказалась развернутой только в 1995 году. Сегодня в составе GPS находится более 30 искусственных спутников Земли. Около 100 компаний производят 600 типов приемной аппаратуры, которая используется в самых различных отраслях человеческой деятельности: от авиации и транспорта до строительства и земледелия. Мировой рынок продаж продукции, связанной с системой GPS, составляет около $20 млрд.

GPS предназначена для высокоточного определения трех координат места, составляющих векторы скорости и времени различных подвижных объектов. США предоставляют систему в стандартном режиме для гражданского, коммерческого и научного использования без взимания за это специальной платы. Космический сегмент образован орбитальной группировкой из 31 космического аппарата, которые находятся на 6 круговых орбитах высотой около 20 тыс. км. Период обращения космических аппаратов – 12 часов.

Летные испытания среднеорбитальной отечественной навигационной системы начались в октябре 1982 года запуском спутника «Космос 1413». В 1995 году было завершено развертывание СНС ГЛОНАСС до ее штатного

состава – 24 космических аппаратов.

К сожалению, российские космические аппараты обладали меньшим временем функционирования на орбите, чем американские, поэтому в условиях слабого финансирования парк спутников системы ГЛОНАСС сократился до 10 – 12 единиц, притом, что минимально необходимое количество КА на орбите для надежного определения места объектов составляет 18 КА. Дело усугубляло отсутствие доступных широкому потребителю приемников российского производства. В результате США извлекали прибыль из аналогичной системы GPS, а Россия несла убытки. В последние годы ситуация начала меняться к лучшему: на орбиту выводятся российские КА с повышенным сроком службы (7–9 лет); налаживается производство приемной аппаратуры.

Основное назначение СНС второго поколения ГЛОНАСС – глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов: наземных (сухопутных, морских, воздушных) и низкоорбитальных космических. То есть любой объект (корабль, самолет, автомобиль или просто пешеход) в любом месте приземного пространства в любой момент времени способен всего за несколько секунд определить параметры своего движения – три координаты и три составляющие вектора скорости.

В ГЛОНАСС применяются КА на круговых геоцентрических орбитах с высотой 19100 км над поверхностью земли. Период обращения КА – 11 часов 15 минут. Благодаря использованию в бортовых эталонах времени и частоты КА атомных стандартов частоты в системе обеспечивается взаимная синхронизация радиосигналов, излучаемых орбитальной группировкой. На подвижном объекте принимаются сигналы не менее чем от четырех радиовидимых спутников и используется для измерения не менее четырех псевдодальностей и радиальных псевдоскоростей. Результаты измерений и «эфемеридная информация», принятая от каждого КА, позволяют определить три координаты и три составляющие вектора скорости, а также смещение

шкалы времени объекта относительно шкалы времени КА.

Точность определения координат объектов зависит от геометрического взаиморасположения спутников друг относительно друга. Когда спутники в области видимости находятся слишком близко друг к другу, говорят о «слабой» геометрии расположения, и, наоборот, при достаточной удалённости геометрию считают «сильной». Также на снижение точности влияет наличие объектов-помех, закрывающих необходимые области неба; влияние атмосферы; отражение радиоволн.

Для увеличения точности был внедрен дифференциальный режим функционирования среднеорбитных СНС. Суть этого режима состоит в том, что погрешность определения места с помощью СНС может быть уменьшена до десятков сантиметров путем оперативного измерения и излучения специальных поправок, автоматически принимаемых и учитываемых в аппаратуре потребителя услуг СНС. Измерять поправки целесообразно на стационарных объектах, а расстояние и время доведения их до потребителя не должны превышать 500 км и 20 минут соответственно (из-за так называемого уровня пространственной и временной корреляции). Такими стационарными объектами оказались радиомаяки, расположенные на побережье морей и океанов. Начата установка подобной аппаратуры и в России. Движение по искусственному каналу, ведущему в Санкт-Петербургский порт, обеспечивает дифференциальный режим СНС, поправки к сигналам которой излучаются радиомаяком Шепелевский, расположенным на берегу Финского залива.

В результате применения дифференциального режима СНС появилась принципиальная возможность осуществлять управление любым транспортным средством (от самолета и автомобиля до корабля) оператором, находящимся вне этого средства.

Страны Европейского союза начали развертывание гражданской глобальной СНС «Галилео», опирающейся на свои собственные спутники. Предполагается, что она должна быть:

- независимой от GPS, но взаимодействующей с нею;
- управляемой под международным контролем (США пытаются установить полный или частичный контроль над этой системой);
- более точной и доступной, способной быстро обнаруживать и оповещать о неисправности элементов системы;
- рентабельной;
- открытой для участия других партнеров, в частности России (в последнее время наше участие в проекте не приветствуется).

Планируется, что «Галилео» будет передавать один общедоступный сигнал OAS (Open Access Service – служба открытого доступа) и один или два сигнала с контролируемым доступом CAS (Controlled Access Service – служба контролируемого доступа). Сигнал OAS должен быть эквивалентен GPS и обеспечивать точность порядка 10 м. Эта информация останется бесплатной до тех пор, пока будет сохраняться бесплатное использование GPS. Сигналы CAS – платные, шифруемые, контролируемые коммерческой компанией и предназначены для потребителей, требующих более высокого уровня точности, целостности и уверенности для жизнеобеспечения и других специальных применений.

В CAS, в свою очередь, возможны два уровня. CAS-1 будет открыт за плату всем желающим, в то время как CAS-2 станет доступен только правительственным потребителям. Предполагается, что система обеспечит определение места с точностью 3 – 4 м.

Выводы

Подводя итог первой главы, можно сказать, что искусственные спутники Земли оказывают неоценимую помощь в упрощении сбора метеорологической информации и в увеличении ее объема. Основным преимуществом применения спутников в метеорологии состоит в том, что они открывают возможность получения качественно новых сведений о состоянии атмосферы,

которые не могли быть получены другими средствами. Как в свое время с помощью спутников впервые были выявлены многие крупномасштабные структурные особенности облачных полей – спиральные полосы облаков в циклонах, линейные системы облаков внутритропической зоны конвергенции и другие, так и использование новой метеорологической информации, получаемой с помощью навигационных ИСЗ позволит глубже проникнуть в самое существо атмосферных процессов и значительно улучшить качество прогноза погоды.

2 Диагностическая модель «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ» для определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере

Для определения содержания водяного пара в воздухе может быть использован метод радиопросвечивания атмосферы [3].

Данный метод предполагает определение параметров состояния атмосферы по результатам измерения пространственных задержек радиосигналов, распространяющихся через тропосферный слой атмосферы в результате уменьшения фазовой скорости радиоволн за счет эффектов поляризации молекул азота, кислорода, углекислого газа и водяного пара. Схема прохождения радиосигнала через тропосферу представлена на рисунке 2.1.

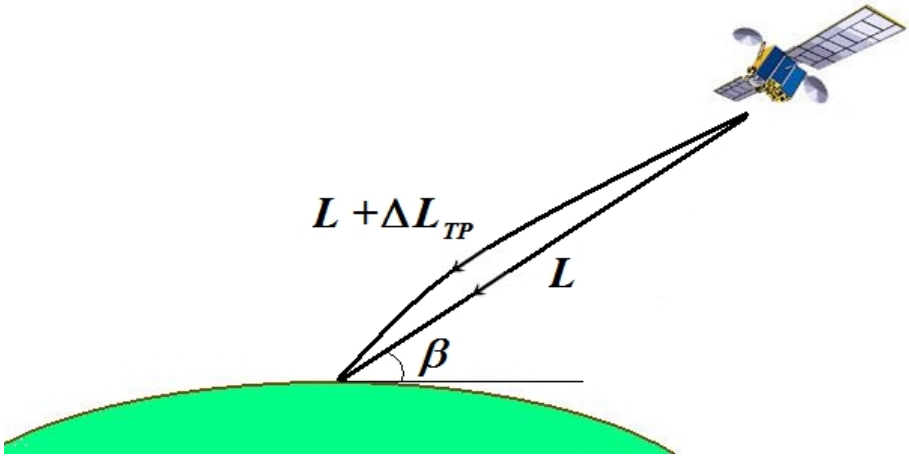

Рисунок 2.1 – Траектория распространения радиосигнала в тропосфере

Дополнительная задержка радиосигнала, связанная с прохождением через тропосферный слой определяется выражением:

$$\Delta L_{TP} = \int_0^L (n-1)dl \qquad (2.1)$$

где ΔL_{TP} – дополнительная задержка радиосигнала, м;
n – показатель преломления.

Показатель преломления показывает во сколько раз скорость распространения радиоволн меньше скорости света и может быть представлен в виде двух слагаемых:

$$n = 1 + N_C + N_П \qquad (2.2)$$

где Nc – "гидростатическая" часть задержки, Дж/(Па·м^3);
Nn – "влажная" часть задержки, Дж/(Па·м^3).

а) N_c – "гидростатическая" часть задержки, определяется распределением плотности воздуха вдоль траектории радиолуча

$$N_C = k_1 \cdot R_C \cdot \rho \qquad (2.3)$$

где k_1 = $7.760 \cdot 10^{-7}$ К/Па

R_c = 287.054 Дж/(кг · К)

ρ – плотность воздуха, кг/м^3.

б) N_n - "влажная" часть задержки – определяется распределением водяного пара:

$$N_{П} = \left(k_2' \cdot R_{П} + \frac{k_3 \cdot R_{П}}{T} \right) \cdot \rho_{П} \tag{2.4}$$

где k_3 = $3.776 \cdot 10^{-3} K / Па$

Rп = 461.526 Дж/(кг · К)

k'_2 = $k_2 - k_1 \frac{R_C}{R_{П}} K / Па$

$\rho_п$ – плотность водяного пара, кг/м3

T – температура воздуха, К

Подставив полученное решение в формулу для определения задержки радиосигнала в тропосфере, получаем:

$$\Delta L_{TP} = \int_0^L N_C dl + \int_0^L N_{П} dl \tag{2.5}$$

Отсюда видно, что задержку сигнала в тропосфере можно представить в виде суммы гидростатической задержки, связанной с прохождением радиосигнала сквозь тропосферу, где давление с высотой убывает в соответствии с гидростатическим законом, и задержки за счет распространения в водяном паре:

$$\Delta L_{TP} = \Delta L_C + \Delta L_{П} \tag{2.6}$$

где ΔL_c – гидростатическая задержка;
$\Delta L_п$ – «влажная» задержка

На основе измерений приземных значений температуры воздуха, атмосферного давления и парциального давления водяного пара может быть рассчитана с достаточной точностью "гидростатическая" часть задержки при достаточно больших углах места навигационных спутников.

$$\Delta L_C(\beta) = \Delta L_C(90^\circ) \cdot m_C(\beta) \tag{2.7}$$

где $\Delta Lc(90)$ = гидростатическая задержка при вертикальном распространении сигнала;
$mc(\beta)$ – гидростатическая отображающая функция

Поскольку приземное атмосферное давление определяется как

$$P_0 = \int_0^\infty \rho \cdot g dz = g_m \int_0^\infty \rho dz \tag{2.8}$$

где g_m = $9.784 \cdot \left[1 - 0.00266 \cdot \cos(2\varphi) - 0.00028 \cdot 10^{-3} \cdot h\right]$

z – высота

Расчетная формула принимает вид:

$$\Delta L_C(90^\circ) = \frac{k_1 \cdot R_C \cdot P_0}{g_m} = \frac{2.2768 \cdot 10^{-5}}{\left[1 - 0.00266 \cdot \cos(2\varphi) - 0.00028 \cdot 10^{-3} \cdot h\right]} \cdot P_0 \tag{2.9}$$

Гидростатическая отображающая функция (показывает насколько больше задержка радиосигнала при распространении под данным углом места по сравнению с вертикальным распространением радиосигнала атмосфере, где давление воздуха убывает по гидростатическому закону)

$$m_C(\beta) = \frac{\int_0^L \rho dl}{\int_0^\infty \rho dz} \tag{2.10}$$

«Влажная» задержка радиосигнала в тропосфере определяется:

$$\Delta L_П(\beta) = \Delta L_П(90^\circ) \cdot m_П(\beta) \tag{2.11}$$

где $\Delta L_n(90) = \left(k_2' \cdot R_П + \frac{k_3 \cdot R_П}{T_m}\right) \cdot \nu$ «влажная» задержка радиосигнала при вертикальном распространении;

$T_m = \frac{\int_0^\infty \frac{e}{T} dz}{\int_0^\infty \frac{e}{T^2} dz} = a + b \cdot To$ средняя «взвешенная» температура;

$\nu = \int_0^\infty \rho_П dz$ интегральное содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы;

$m_п(\beta)$ – «влажная» отображающая функция.

«Влажная» отображающая функция показывает насколько больше задержка радиосигнала при распространении под данным углом места по сравнению с вертикальным распространением радиосигнала во влажном воздухе и определяется выражением:

$$m_{П}(\beta) = \frac{\int_0^L \rho_{П} dl}{\int_0^\infty \rho_{П} dz} \tag{2.12}$$

Из "влажной" части задержки радиосигнала в тропосфере с помощью наблюдений на одной базовой станции может быть определено интегральное содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы над приемным устройством, а в случае регистрации радиосигналов сетью станций и последующей обработки методами вычислительной томографии – пространственное распределение плотности водяного пара в атмосфере.

Из определения вертикальной задержки радиосигнала во влажном воздухе и тропосферной задержки получается расчетная формула определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере:

$$v = \left(k_2' \cdot R_{П} + \frac{k_3 \cdot R_{П}}{T_m} \right)^{-1} \cdot \frac{\left[\Delta L_{TP}(\beta) - \Delta L_C(90^\circ) \cdot m_C(\beta) \right]}{m_{П}(\beta)} \tag{2.13}$$

Выводы

В заключении второй главы можно сказать, что для определения интегрального содержания водяного пара в столбе атмосферы необходимы измерения одним приемным устройством задержки сигнала ΔL_{TP} в тропосфере

при больших углах места навигационного спутника и приземных значений температуры воздуха T_0, атмосферного давления P_0, парциального давления водяного пара e_0 в точке размещения приемника из которых определяются значения вертикальной гидростатической задержки радиосигнала, гидростатической и «влажной» отображающих функций и средней «взвешенной» температуры воздуха.

3 Определение региональных значений параметров модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ»

3.1 Системы радиозондирования атмосферы

Системы радиозондирования предназначены для дистанционного измерения метеорологических элементов свободной атмосферы и представляют собой совокупность радиотелеметрической и радиолокационной систем. Радиотелеметрическая система служит для измерения метеорологических элементов и передачи результатов измерений на расстояние с помощью радиоволн, а назначением радиолокационной системы является определение координат измерительного прибора в момент измерений. Измерение метеорологических элементов атмосферы и передача результатов осуществляется с помощью радиозонда, представляющего собой совокупность соответствующих измерительных преобразователей и радиопередатчика.

Радиозонд, предназначенный для использования в такой системе должен содержать два радиопередатчика и один радиоприемник: один передатчик – для передачи радиотелеметрической информации, приемник – для приема импульсных сигналов запроса, второй радиопередатчик – для излучения сигналов на принятые запросные сигналы. В современных радиолокационных системах зондирования роль передатчика радиотелеметрического канала, приемника сигналов запроса и передатчика сигналов ответа выполняет одно устройство – сверхрегенеративный приемопередатчик.

В качестве измерительных преобразователей температуры часто используют полупроводниковые терморезисторы. Резистивные полупроводниковые преобразователи изготавливаются из двуокиси титана, окисей меди, цинка, кобальта и ряда других металлов и их примесей. Как

правило, полупроводниковые терморезисторы выполняются в виде стержней и бусинок.

В качестве датчиков влажности воздуха широко используются датчики на основе животной пленки, выполняющиеся в виде металлического кольца, на которое натянута пленка. В центре круга к пленке приклеивается металлическая шайба с отверстием для закрепления натяжной пружины. Пружина, оттягивая центр пленки, удерживает ее всегда в натянутом состоянии независимо от влажности окружающего воздуха. При изменении влажности воздуха появляется увеличение размеров пленки, которое выбирается натяжной пружиной, в результате чего пленка приобретает конусообразную форму.

Система радиозондирования «Метеорит-2» предназначена для радиозондирования атмосферы с помощью радиозонда МРЗ-3А и ряда других. Система имеет в своем составе два передатчика: маломощный и передатчик большой мощности. В процессе проведения радиозондирования передатчики работают поочередно: при сопровождении радиозонда при малых углах места до 6° – передатчик малой мощности, а при сопровождении радиозонда при больших вертикальных углах – передатчик большой мощности.

Малогабаритный аэрологический радиолокатор или «МАРЛ-А» находится в эксплуатации с 07.04.2008. Аэрологический радиолокатор состоит из антенны установленной на крыше станции и распределительного щита с персональным компьютером, находящихся на рабочем месте оператора. В антенну встроены 64 приемно-передающих устройства и бортовой компьютер. Данный аэрологический комплекс работает полностью в автоматическом режиме, от момента выпуска радиозонда до момента потери «цели». Автоматически ведется сопровождение радиозонда с параллельным построением графика распределения параметров атмосферы по высотам. Значительно выросла средняя высота полета радиозонда с 19 км до 27 км. Вертикальное зондирование атмосферы обеспечивает поступление

метеоданных о температуре воздуха, давлении, влажности, скорости и направлении ветра по высотам. Программное обеспечение позволяет оперативно использовать расчетные данные и их передачу в службу автоматических систем передачи данных Управления. Бесперебойный блок питания позволяет работать комплексу при отключении электроэнергии до двух часов в режиме аэрологического зондирования атмосферы. По сравнению с прежним аэрологическим комплексом «АВК» новый радиолокатор имеет ряд преимуществ, среди которых: низкое энергопотребление (в пять раз меньше, чем у «АВК»), современное аппаратное и программное обеспечение, прием данных с радиозонда в автоматическом режиме.

3.2 Реляционные базы данных

База Данных (БД) – структурированный организованный набор данных, описывающих характеристики каких-либо физических или виртуальных систем [7].

Базы данных классифицируются:

- картотеки;
- иерархические;
- сетевые;
- реляционные;
- многомерные;
- объектно-ориентированные;
- дедуктивные.

В настоящее время наибольшее распространение получили реляционные базы данных. Картотеками пользовались до появления электронных баз данных. Сетевые базы данных считаются устаревшими; объектно-ориентированные пока никак не стандартизированы и не получили

широкого распространения. Некоторое возрождение получили иерархические базы данных в связи с появлением и распространением XML.

Реляционные модели характеризуются простотой структуры данных, удобным для пользователя табличным представлением и возможностью использования формального аппарата алгебры отношений и реляционного исчисления для обработки данных.

Реляционная модель ориентирована на организацию данных в виде двумерных таблиц. Каждая реляционная таблица представляет собой двумерный массив и обладает следующими свойствами:

– каждый элемент таблицы – один элемент данных;
– все столбцы в таблице однородные, то есть все элементы в столбце имеют одинаковый тип (числовой, символьный и т. д.);
– каждый столбец имеет уникальное имя;
– одинаковые строки в таблице отсутствуют;
– порядок следования строк и столбцов может быть произвольным.

СУБД – программное обеспечение, предназначенное для организации и ведения базы данных В основе СУБД лежит простая идея: изъять из программ определение структуры содержимого файла и хранить её вместе с данными в базе данных.

Реляционной называется база данных, в которой все данные, доступные пользователю, организованны в виде таблиц, а все операции над данными сводятся к операциям над этими таблицами.

У каждой таблицы имеется уникальное имя, описывающее её содержимое. На пересечении каждой строки с каждым столбцом таблицы содержится в точности одно значение данных. Все значения, содержащиеся в одном и том же столбце, являются данными одного типа. Множество значений, которые могут содержаться в столбце, называется доменом этого столбца. У каждого столбца в таблице есть своё имя, которое обычно служит заголовком столбца. Все столбцы в одной таблице должны иметь уникальные

имена. Столбцы таблицы упорядочены слева направо, и их порядок определяется при создании таблицы, а строки таблицы не имеют определённого порядка. Это значит, что если последовательно выполнить два одинаковых запроса для отображения содержимого таблицы, нет гарантии, что оба раза строки будут перечислены в одном и том же порядке.

В таблице может содержаться любое количество строк. Вполне допустимо существование таблицы с нулевым количеством строк. Такая таблица называется пустой. Пустая таблица сохраняет структуру, определённую её столбцами, просто в ней не содержится данные. Стандарт ANSI/ISO не накладывает ограничений на количество строк в таблице, и во многих СУБД размер таблиц ограничен лишь свободным дисковым пространством компьютера. В других СУБД имеется максимальный предел, однако он весьма высок - около двух миллиардов строк, а иногда и больше.

Поскольку строки в реляционной таблице не упорядочены, нельзя выбрать строку по ее номеру в таблице. В таблице нет "первой", "последней" или "тринадцатой" строки. В правильно построенной реляционной базе данных в каждой таблице есть один или несколько столбцов, значения в которых во всех строках разные. Этот столбец (столбцы) называется первичным ключом таблицы. Первичный ключ, который представляет собой комбинацию столбцов называется составным. Первичный ключ для каждой строки таблицы является уникальным, поэтому в таблице с первичным ключом нет двух совершенно одинаковых строк. Таблица, в которой все строки отличаются друг от друга, называется отношением.

Хотя первичные ключи являются важной частью реляционной модели данных, в первых реляционных СУБД (System/R, DB2, Oracle и других) не была обеспечена явным образом их поддержка. Как правило, проектировщики базы данных сами следили за тем, чтобы у всех таблиц были первичные ключи, однако в самих СУБД не было возможности определить для таблицы первичный ключ. И только в СУБД DB2 Version 2, появившейся в апреле 1988

года, компания IBM реализовала поддержку первичных ключей. После этого подобная поддержка была добавлена в стандарт ANSI/ISO.

Столбец одной таблицы, значения в котором совпадают со значениями столбца, являющегося первичным ключом другой таблицы, называется внешним ключом. Совокупно первичный и внешний ключи создают между таблицами, в которых они содержатся, такое же отношение предок/потомок, как и в иерархической базе данных.

Внешний ключ, как и первичный ключ, тоже может представлять собой комбинацию столбцов. На практике внешний ключ всегда будет составным (состоящим из нескольких столбцов), если он ссылается на составной первичный ключ в другой таблице. Очевидно, что количество столбцов и их типы данных в первичном и внешнем ключах совпадают.

Если таблица связана с несколькими другими таблицами, она может иметь несколько внешних ключей.

Внешние ключи являются неотъемлемой частью реляционной модели, поскольку реализуют отношения между таблицами базы данных.

Поддержка внешних ключей была введена в системе DB2 Version 2 и имеется во всех коммерческих СУБД.

В статье, опубликованной в журнале "Computer World", Тэд Кодд сформулировал двенадцать правил, которым должна соответствовать настоящая реляционная база данных. Они являются полуофициальным определением понятия реляционная база данных. Перечисленные правила основаны на теоретической работе Кодда, посвященной реляционной модели данных.

Двенадцать правил Кодда, которым должна соответствовать реляционная СУБД:

1) правило информации. Вся информация в базе данных должна быть предоставлена исключительно на логическом уровне и только одним способом - в виде значений, содержащихся в таблицах;

2) правило гарантированного доступа. Логический доступ ко всем и каждому элементу данных (атомарному значению) в реляционной базе данных должен обеспечиваться путём использования комбинации имени таблицы, первичного ключа и имени столбца;

3) правило поддержки недействительных значений. В настоящей реляционной базе данных должна быть реализована поддержка недействительных значений, которые отличаются от строки символов нулевой длинны, строки пробельных символов, и от нуля или любого другого числа и используются для представления отсутствующих данных независимо от типа этих данных;

4) правило динамического каталога, основанного на реляционной модели. Описание базы данных на логическом уровне должно быть представлено в том же виде, что и основные данные, чтобы пользователи, обладающие соответствующими правами, могли работать с ним с помощью того же реляционного языка, который они применяют для работы с основными данными.

5) правило исчерпывающего подъязыка данных. Реляционная система может поддерживать различные языки и режимы взаимодействия с пользователем. Однако должен существовать по крайней мере один язык, операторы которого можно представить в виде строк символов в соответствии с некоторым четко определенным синтаксисом и который в полной мере поддерживает следующие элементы: – определение данных; – определение представлений; – обработку данных (интерактивную и программную); – условия целостности; – идентификация прав доступа; – границы транзакций (начало, завершение и отмена);

6) правило обновления представлений. Все представления, которые теоретически можно обновить, должны быть доступны для обновления;

7) правило добавления, обновления и удаления. Возможность работать с отношением как с одним операндом должна существовать не только при

чтении данных, но и при добавлении, обновлении и удалении данных;

8) правило независимости физических данных. Прикладные программы и утилиты для работы с данными должны на логическом уровне оставаться нетронутыми при любых изменениях способов хранения данных или методов доступа к ним;

9) правило независимости логических данных. Прикладные программы и утилиты для работы с данными должны на логическом уровне оставаться нетронутыми при внесении в базовые таблицы любых изменений, которые теоретически позволяют сохранить нетронутыми содержащиеся в этих таблицах данные;

10) правило независимости условий целостности. Должна существовать возможность определять условия целостности, специфические для конкретной реляционной базы данных, на подъязыке реляционной базы данных и хранить их в каталоге, а не в прикладной программе;

11) правило независимости распространения. Реляционная СУБД не должна зависеть от потребностей конкретного клиента;

12) правило единственности. Если в реляционной системе есть низкоуровневой язык (обрабатывающий одну запись за один раз), то должна отсутствовать возможность использования его для того, чтобы обойти правила и условия целостности, выраженные на реляционном языке высокого уровня (обрабатывающем несколько записей за один раз).

3.3 Язык SQL

SQL является инструментом, предназначенным для обработки и чтения данных, содержащихся в компьютерной базе данных. SQL - это сокращенное название структурированного языка запросов (Structured Query Language). Как следует из названия, SQL является языком программирования, который применяется для организации взаимодействия пользователя с базой данных. На самом деле SQL работает только с базами данных одного определенного

типа, называемых реляционными [8].

Стремительный рост популярности SQL является одной из самых важных тенденций в современной компьютерной промышленности. За несколько последних лет SQL стал единственным языком баз данных. На сегодняшний день SQL поддерживают свыше ста СУБД, работающих как на персональных компьютерах, так и на больших ЭВМ. Был принят, а затем дополнен официальный международный стандарт на SQL. Язык SQL является важным звеном в архитектуре систем управления базами данных, выпускаемых всеми ведущими поставщиками программных продуктов, и служит стратегическим направлением разработок компании Microsoft в области баз данных. Зародившись в результате выполнения второстепенного исследовательского проекта компании IBM, SQL сегодня широко известен и в качестве мощного рыночного фактора.

Если пользователю необходимо прочитать данные из базы данных, он запрашивает их у СУБД с помощью SQL. СУБД обрабатывает запрос, находит требуемые данные и посылает их пользователю. Процесс запрашивания данных и получения результата называется запросом к базе данных.

Сегодня SQL представляет собой нечто гораздо большее, чем простой инструмент создания запросов, хотя именно для этого он и был первоначально предназначен. Несмотря на то, что чтение данных по-прежнему остается одной из наиболее важных функций SQL, сейчас этот язык используется для реализации всех функциональных возможностей, которые СУБД предоставляет пользователю, а именно:

а) организация данных. SQL дает пользователю возможность изменять структуру представления данных, а также устанавливать отношения между элементами базы данных;

б) чтение данных. SQL дает пользователю или приложению возможность читать из базы данных содержащиеся в ней данные и пользоваться ими;

в) обработка ванных. SQL дает пользователю или приложению возможность изменять базу данных, т.е. добавлять в нее новые данные, а также удалять или обновлять уже имеющиеся в ней данные;

г) управление доступом. С помощью SQL можно ограничить возможности пользователя по чтению и изменению данных и защитить их от несанкционированного доступа;

д) совместное использование данных. SQL координирует совместное использование данных пользователями, работающими параллельно, чтобы они не мешали друг другу;

е) целостность данных. SQL позволяет обеспечить целостность базы данных, защищая ее от разрушения из-за несогласованных изменений или отказа системы.

SQL является подъязыком баз данных, в который входит около тридцати операторов, предназначенных для управления базами данных. Операторы SQL встраиваются в базовый язык, например FORTRAN, C++ или Java, и дают возможность получать доступ к базам данных. Кроме того, из такого языка, как Java, операторы SQL можно посылать СУБД в явном виде, используя интерфейс вызовов функций.

SQL – это слабо структурированный язык, особенно по сравнению с такими сильно структурированными языками, как C++ или Java. Операторы SQL напоминают английские предложения и содержат "слова-пустышки", не влияющие на смысл оператора, но облегчающие его чтение. В SQL почти нет нелогичностей, к тому же имеется ряд специальных правил, предотвращающих создание операторов SQL, которые выглядят как абсолютно правильные, но не имеют смысла.

SQL на сегодняшний день является единственным стандартным языком для работы с реляционными базами данных. SQL – это достаточно мощный и в то же время относительно легкий для изучения язык.

SQL выполняет много различных функций:

а) SQL – интерактивный язык запросов. Пользователи вводят команды SQL в интерактивные программы, предназначенные для чтения данных и отображения их на экране. Это удобный способ выполнения специальных запросов.

б) SQL – язык программирования баз данных. Чтобы получить доступ к базе данных, программисты вставляют в свои программы команды SQL. Эта методика используется как в программах, написанных пользователями, так и в служебных программах баз данных (таких как генераторы отчетов и инструменты ввода данных).

в) SQL – язык администрирования баз данных. Администратор базы данных, находящейся на мини-компьютере или на большой ЭВМ, использует SQL для определения структуры базы данных и управления доступом к данным.

г) SQL – язык создания приложений клиент/сервер, и программах для персональных компьютеров SQL используется для организации связи через локальную сеть с сервером базы данных, в которой хранятся совместно используемые данные. В большинстве новых приложений используется архитектура клиент/сервер, которая позволяет свести к минимуму сетевой трафик и повысить быстродействие как персональных компьютеров, так и серверов баз данных.

д) SQL – язык распределенных баз данных. В системах управления распределенными базами данных SQL помогает распределять данные среди нескольких взаимодействующих вычислительных систем. Программное обеспечение каждой системы посредством использования SQL связывается с другими системами, посылая им запросы на доступ к данным.

е) SQL – язык шлюзов базы данных. В вычислительных сетях с различными СУБД SQL часто используется в шлюзовой программе, которая позволяет СУБД одного типа связываться с СУБД другого типа.

Таким образом, SQL превратился в полезный и мощный инструмент,

обеспечивающий людям, программам и вычислительным системам доступ к информации, содержащейся в реляционных базах данных.

Достоинства языка SQL:– это легкий для понимания язык и в то же время универсальное программное средство управления данными.

Успех языку SQL принесли следующие его особенности:

— независимость от конкретных СУБД;

— переносимость с одной вычислительной системы на другую;

— наличие стандартов;

— одобрение компанией IBM (СУБД DB2);

— поддержка со стороны компании Microsoft (протокол ODBC);

— реляционная основа;

— высокоуровневая структура, напоминающая английский язык;

— возможность выполнения специальных интерактивных запросов:

— обеспечение программного доступа к базам данных;

— возможность различного представления данных;

— полноценность как языка, предназначенного для работы с базами данных;

— возможность динамического определения данных;

— поддержка архитектуры клиент/сервер.

Все перечисленные выше факторы явились причиной того, что SQL стал стандартным инструментом для управления данными на персональных компьютерах, мини-компьютерах и больших ЭВМ. Ниже эти факторы рассмотрены более подробно.

Официальный стандарт языка SQL был опубликован Американским институтом национальных стандартов (American National Standards Institute – ANSI) и Международной организацией по стандартам (International Standards Organization – ISO) в 1986 году и значительно расширен в 1992 году. Кроме того, SQL является федеральным стандартом США по обработке информации (FIPS – Federal Information Processing Standard) и, следовательно, соответствие

ему является одним из основных требований, содержащихся в больших правительственных контрактах, относящихся к области вычислительной техники. В Европе стандарт X/OPEN для переносимой среды программирования на основе операционной системы UNIX включает в себя SQL в качестве стандарта для доступа к базам данных. SQL Access Group – консорциум поставщиков компьютерного оборудования и баз данных – определил для SQL стандартный интерфейс вызовов функций, который является основой протокола ODBC компании Microsoft и входит также в стандарт X/OPEN.

Одним из наиболее важных шагов на пути к признанию SQL на рынке стало появление стандартов на этот язык. Обычно при упоминании стандарта SQL имеют в виду официальный стандарт, утвержденный Американским институтом национальных стандартов (American National Standards Institute – ANSI) и Международной организацией по стандартам (International Standards Organization – ISO). Однако существуют и другие важные стандарты SQL, включая SQL, реализованный в системе DB2 компании IBM, и стандарт X/OPEN для SQL в среде UNIX.

Работа над официальным стандартом SQL началась в 1982 году, когда ANSI поставил перед своим комитетом X3H2 задачу по созданию стандарта языка реляционных баз данных. Вначале в комитете обсуждались достоинства различных предложенных языков. Однако поскольку к тому времени SQL уже стал фактическим стандартом, комитет X3H2 остановил свой выбор на нем и занялся стандартизацией SQL.

Разработанный в результате стандарт в большой степени был основан на диалекте SQL системы DB/2, хотя и содержал в себе ряд существенных отличий от этого диалекта. После нескольких доработок, в 1986 году стандарт был официально утвержден как стандарт ANSI номер X3.135, а в 1987 году – в качестве стандарта ISO. Затем стандарт ANSI/ISO был принят правительством США как федеральный стандарт США по обработке информации (FIPS –

Federal Information Processing Standard). Этот стандарт, незначительно пересмотренный в 1989 году, обычно называют стандартом "SQL-89", ил"SQLI". Когда в данной книге упоминается "стандарт ANSI/ISO", то подразумевается SQLI, который в настоящее время лежит в основе большинства коммерческих продуктов.

Многие из членов комитетов по стандартизации ANSI и ISO представляли фирмы-поставщики различных СУБД, в каждой из которых был реализован собственный диалект SQL. Как и диалекты человеческого языка, диалекты SQL были в основном похожи друг на друга, однако несовместимы в деталях. Во многих случаях комитет просто обошел существующие различия и не стандартизировал некоторые части языка, определив, что они реализуются по усмотрению разработчика. Этот подход позволил объявить большое число реализаций SQL совместимыми со стандартом, однако сделал сам стандарт относительно слабым.

Чтобы заполнить эти пробелы, комитет ANSI продолжил свою работу и создал проект нового, более жесткого стандарта SQL2. В отличие от стандарта 1989 года, проект SQL2 предусматривал возможности, выходящие за рамки таковых, уже существующих в реальных коммерческих продуктах. А для следующего за ним стандарта SQL3 были предложены еще более глубокие изменения. В результате предложенные стандарты SQL2 и SQL3 оказались более противоречивыми, чем исходный стандарт. Стандарт SQL2 прошел процесс утверждения в ANSI и был окончательно принят в октябре 1992 года. В то время, как первый стандарт 1986 года занимает не более ста страниц, официальный стандарт SQL2 содержит около шестисот.

Вопреки стандарту SQL2, во всех существующих на сегодняшний день коммерческих продуктах поддерживаются собственные диалекты SQL. Более того, поставщики СУБД включают в свои продукты новые возможности и расширяют собственные диалекты SQL, чем еще больше отдаляют их от стандарта. Однако ядро SQL стандартизировано довольно жестко. Там, где это

можно было сделать, не ущемляя интересы клиентов, поставщики СУБД привели свои продукты в соответствие со стандартом SQL-89, то же самое постепенно произойдет и с SQL2.

3.4 Алгоритм обработки данных аэрологического зондирования

При работе над дипломным проектом было создано программное обеспечение на языке программирования Java, осуществляющее вычисление средневзвешенного значения температуры воздуха по данным аэрологического зондирования атмосферы. Алгоритм работы программы представлен на рисунках 3.1 – 3.3 и имеет следующую последовательность:

– объявление переменных и констант;
– проверка указания имени файла с данными;
– открытие файла с данными;
– заполнение массивов: z, T, P, e, Nd, Nv, n;
– закрытие файла с исходными данными;
– получение общего числа уровней (I);
– заполнение массива dz;
– суммирование элементов массивов mas1, mas2;
– расчет величины средней взвешенной температуры (T_m);
– вывод на экран необходимых данных;
– открытие файла для записи полученных данных;
– запись полученных данных в файл;
– закрытие файла с полученными данными;
– вывод на консоль средней взвешенной температуры (T_m) и температуры на уровне психрометрической будки (T_0).

Текст программы представлен в приложении А.

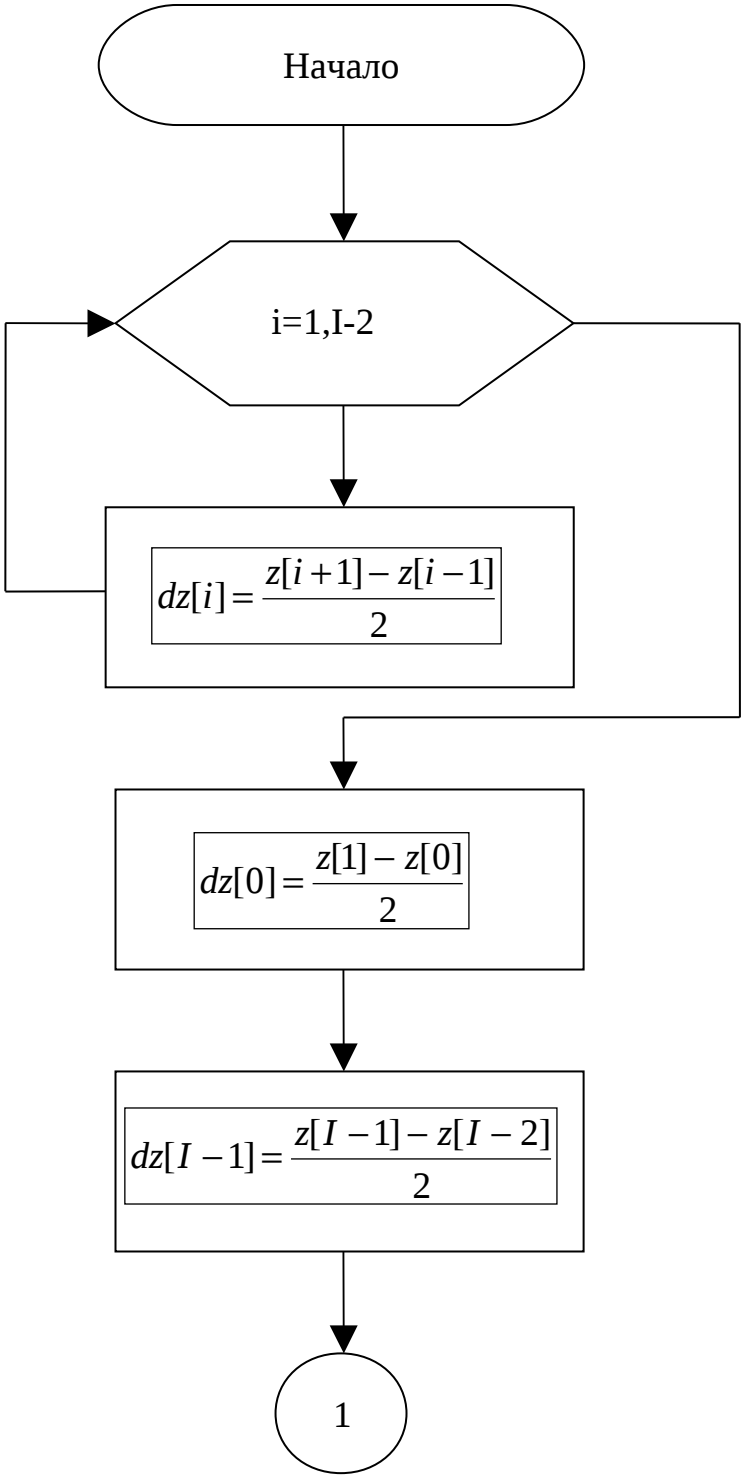

Рисунок 3.1 – Алгоритм работы программы обработки данных аэрологического зондирования

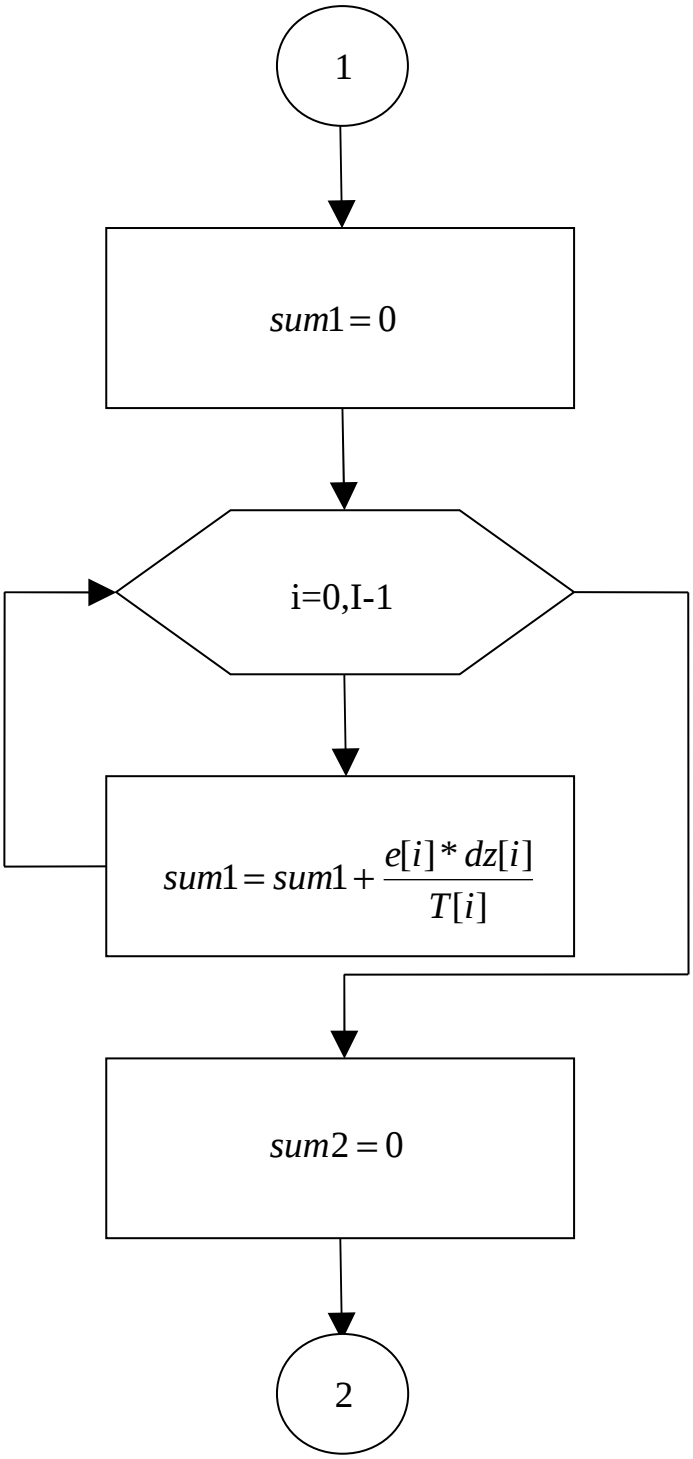

Рисунок 3.2 – Алгоритм работы программы обработки данных аэрологического зондирования

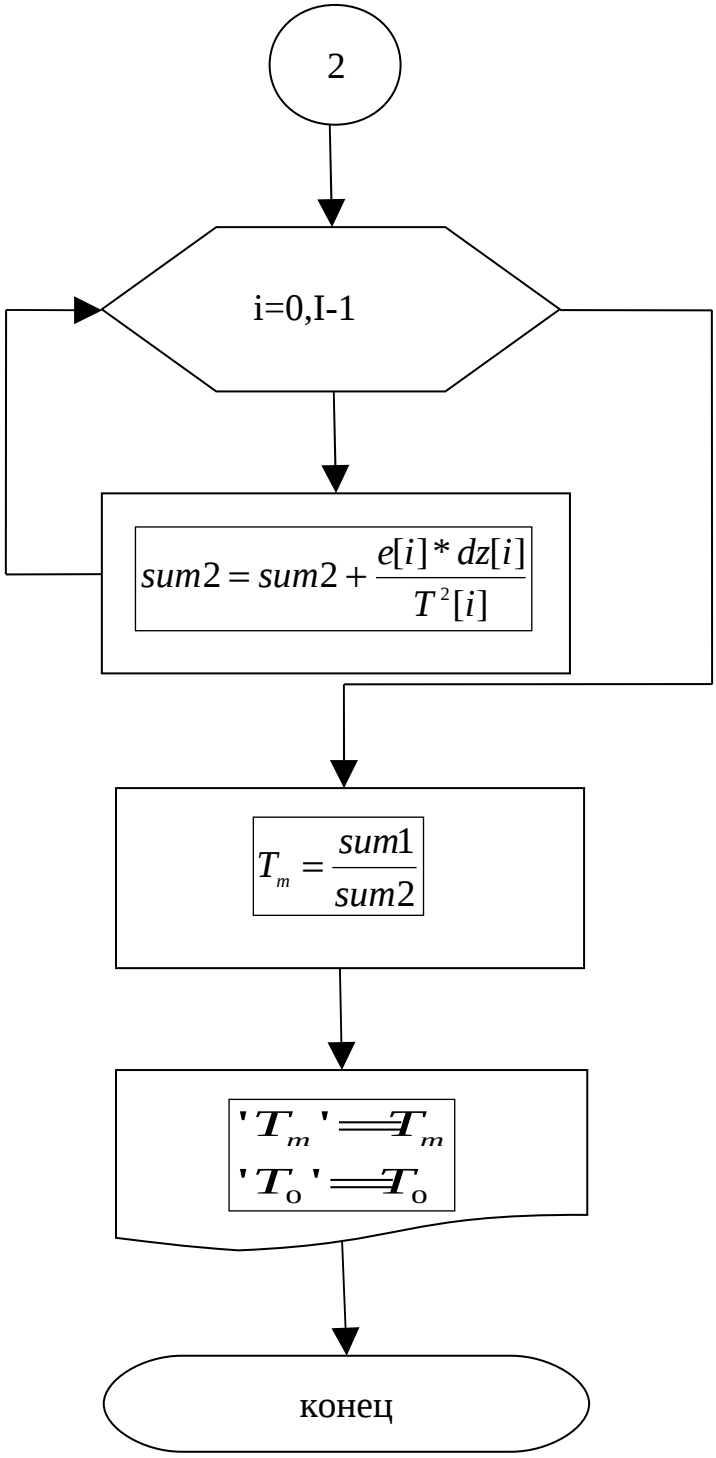

Рисунок 3.3 – Алгоритм работы программы обработки данных аэрологического зондирования

Выводы

В третьей главе было показано, что для вычисления параметров диагностической модели определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере возможно использование данных радиозондирования, для хранения и предоставления которых используются современные системы управления базами данных. Представлен алгоритм определения параметров модели по данным аэрологического зондирования.

4 Анализ результатов определения параметров модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ»

4.1 Пространственное и временное распределение параметров модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ»

Для определения параметров модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ» были использованы данные аэрологического зондирования по одиннадцати городам России представленным на рисунке 4.1. Число используемых радиозондирований атмосферы представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Используемые аэрологические данные в период с 1973 по 2009 гг.

Станция	Название	Число радиозондирований
26298	Бологое	18381
22820	Петрозаводск	18535
26477	Великие Луки	17202
27595	Казань	24901
26781	Смоленск	20694
24507	Тура	18827
24908	Ванавара	15111
24641	Вилюйск	18543
20744	Малые Кармакулы	17429
24125	Оленек	17146
26063	Санкт-Петербург	28936

Для расчета средней взвешенной температуры T_m мною была написана программа “TotalWaterVapor6” (см. приложение А). При подключении к базе данных программа получает необходимые результаты аэрологического зондирования и осуществляет расчеты за период с 1973 по 2009 год каждого из одиннадцати городов.

В таблице 4.2 для примера приведены результаты расчетов средней взвешенной температуры для Санкт-Петербурга за май 2009 года.

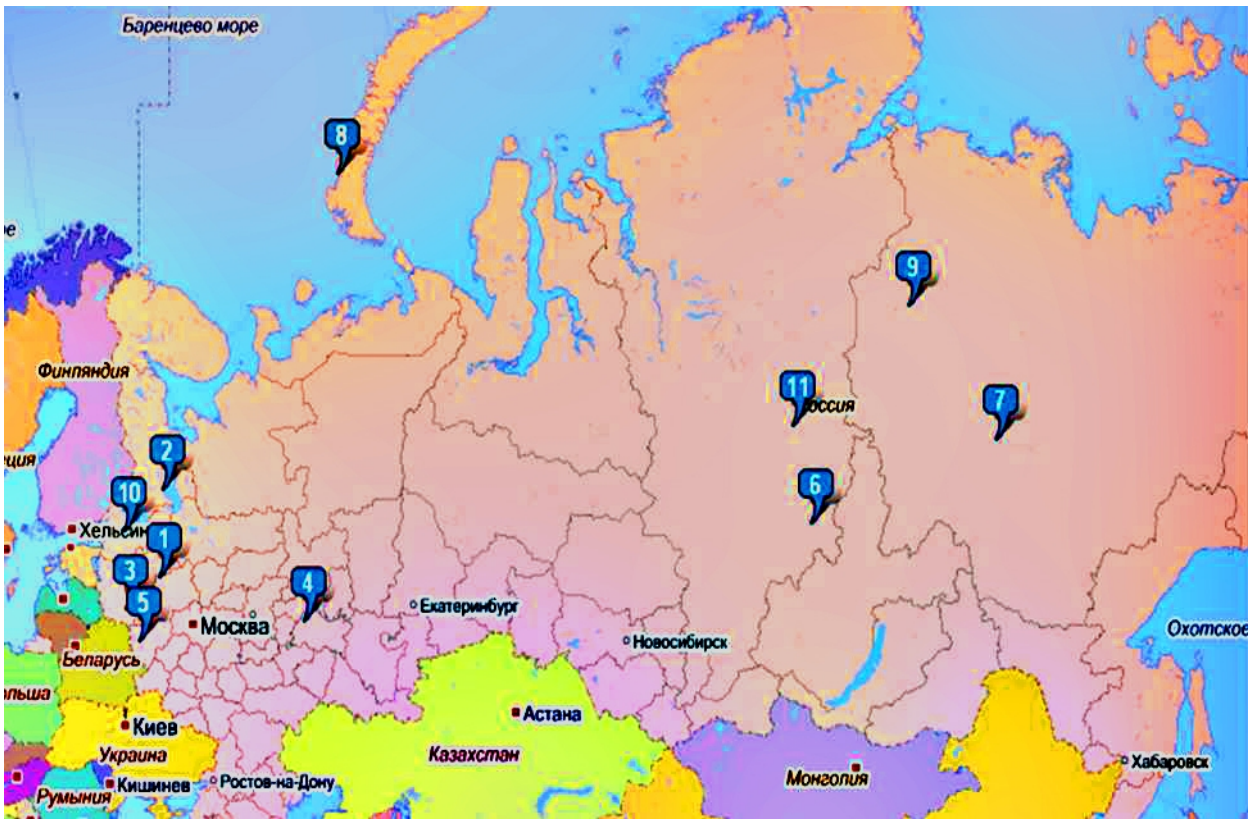

Рисунок 4.1 – Расположение используемых аэрологических станций:

1 – Бологое;

2 – Петрозаводск;

3 – Великие Луки;

4 – Казань;

5 – Смоленск;

6 – Ванавара;

7 – Вилюйск;

8 – Малые Кармакулы;

9 – Оленек;

10 – Санкт-Петербург;

11 – Тура.

Таблица 4.2 – Результаты расчетов средней взвешенной температуры для Санкт-Петербурга

Дата	Время, ч	T_o, К	T_m, К
01.05.2009	00	265.68	277.35
01.05.2009	12	271.38	286.95
02.05.2009	00	271.60	278.95
02.05.2009	12	276.15	290.15
03.05.2009	00	274.44	279.55
03.05.2009	12	272.63	290.55
04.05.2009	00	270.32	282.95
04.05.2009	12	278.58	292.95
05.05.2009	00	273.48	281.95
05.05.2009	12	274.40	288.35
06.05.2009	00	272.16	281.35
06.05.2009	12	270.15	285.55
07.05.2009	00	270.46	279.95
07.05.2009	12	271.54	287.75
08.05.2009	00	271.09	280.35
08.05.2009	12	276.20	288.15
09.05.2009	00	274.19	281.95
09.05.2009	12	280.83	294.15
10.05.2009	00	272.17	279.15
10.05.2009	12	271.10	288.75
11.05.2009	00	270.46	284.15
11.05.2009	12	269.67	288.75
12.05.2009	00	269.60	278.55
12.05.2009	12	269.89	284.95
13.05.2009	00	270.25	279.35
13.05.2009	12	269.29	285.35
14.05.2009	00	267.01	278.35
14.05.2009	12	271.78	279.15
15.05.2009	00	266.23	274.75
15.05.2009	12	265.41	275.95
16.05.2009	00	268.81	275.95
16.05.2009	12	268.23	283.75
17.05.2009	00	267.26	278.95
17.05.2009	12	267.57	283.95

Продолжение табл. 4.2

Дата	Время, ч	T_o, K	T_m, K
18.05.2009	00	268.07	280.35
18.05.2009	12	275.18	288.75
19.05.2009	00	269.37	281.75
19.05.2009	12	272.82	289.15
20.05.2009	00	273.07	283.35
20.05.2009	12	273.48	288.35
21.05.2009	00	271.11	282.15
21.05.2009	12	273.33	289.95
22.05.2009	00	271.71	284.15
22.05.2009	12	275.97	290.95
23.05.2009	00	274.14	284.35
23.05.2009	12	276.26	286.35
24.05.2009	00	273.19	283.55
24.05.2009	12	270.06	289.55
25.05.2009	00	272.71	283.35
25.05.2009	12	277.26	291.75
26.05.2009	00	273.52	282.15
26.05.2009	12	275.97	292.75
27.05.2009	00	274.86	285.95
27.05.2009	12	279.62	297.15
28.05.2009	00	271.65	284.75
28.05.2009	12	276.55	291.35
29.05.2009	00	272.92	283.75
29.05.2009	12	275.56	290.35
30.05.2009	00	271.69	283.55
30.05.2009	12	279.38	294.15

По результатам проведенных расчетов построены графики зависимости средней взвешенной температуры от приземной температуры для всех одиннадцати городов, представленные на рисунках 4.2 – 4.12.

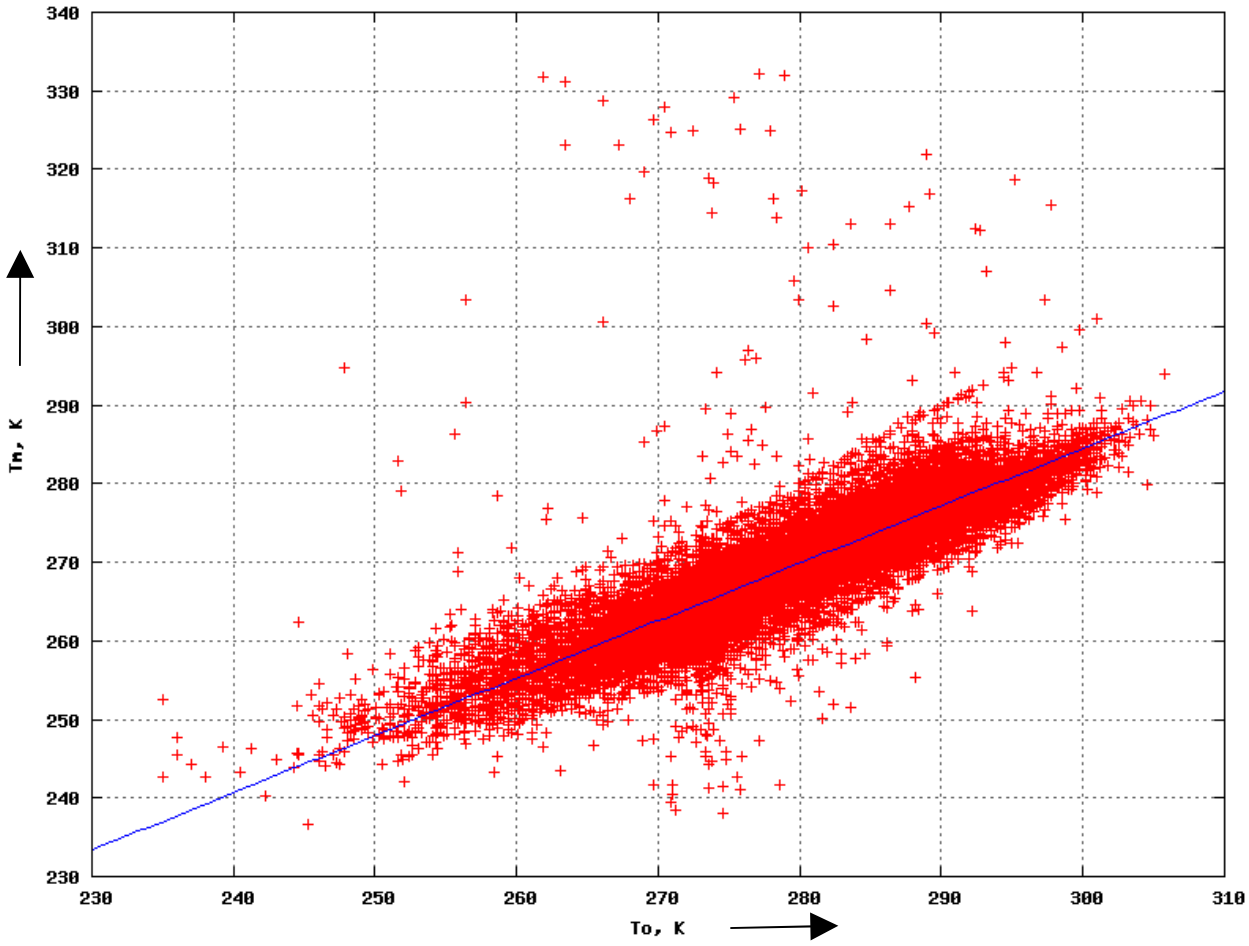

Рисунок 4.2 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Санкт-Петербург)

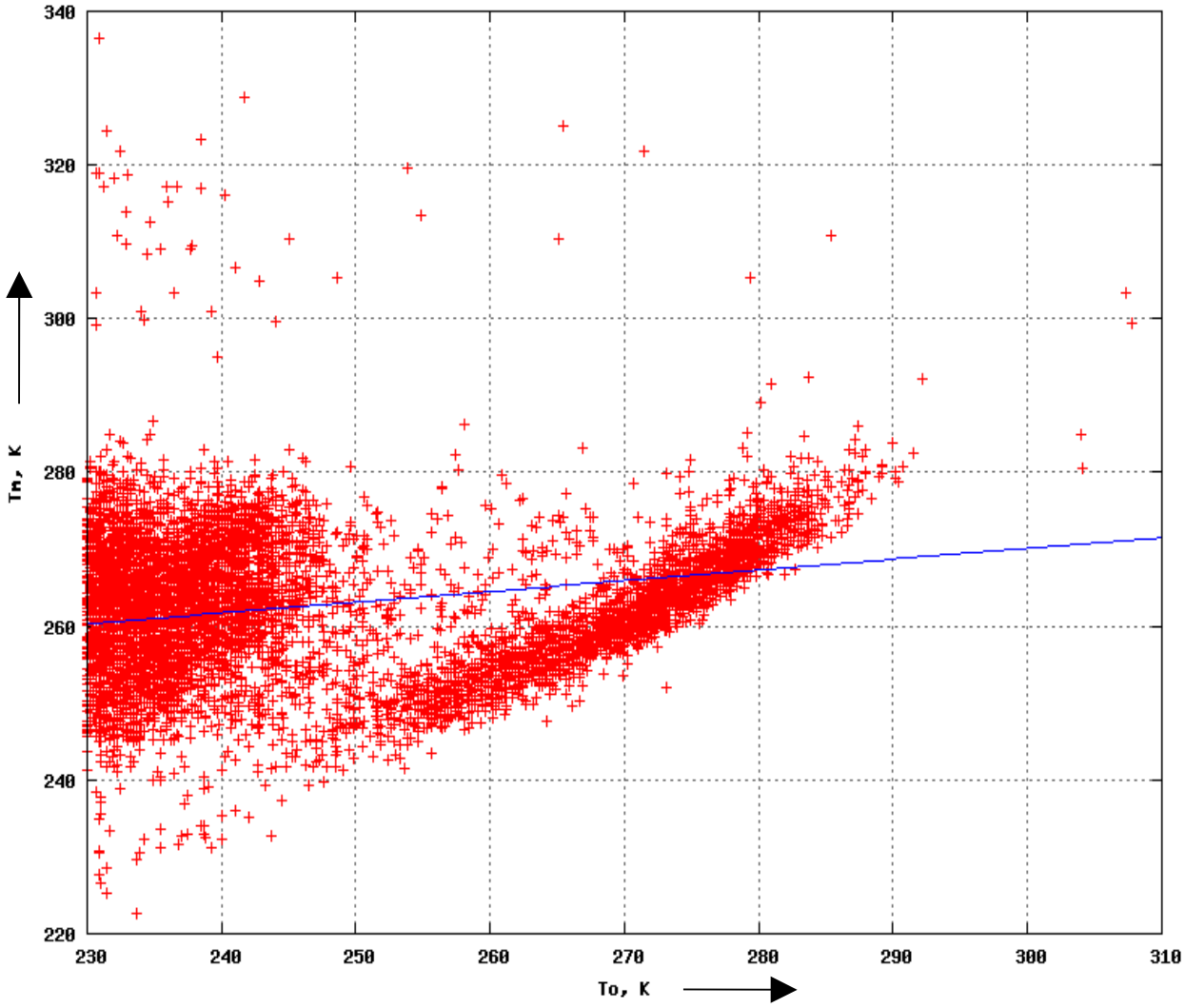

Рисунок 4.3 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Малые Кармакулы)

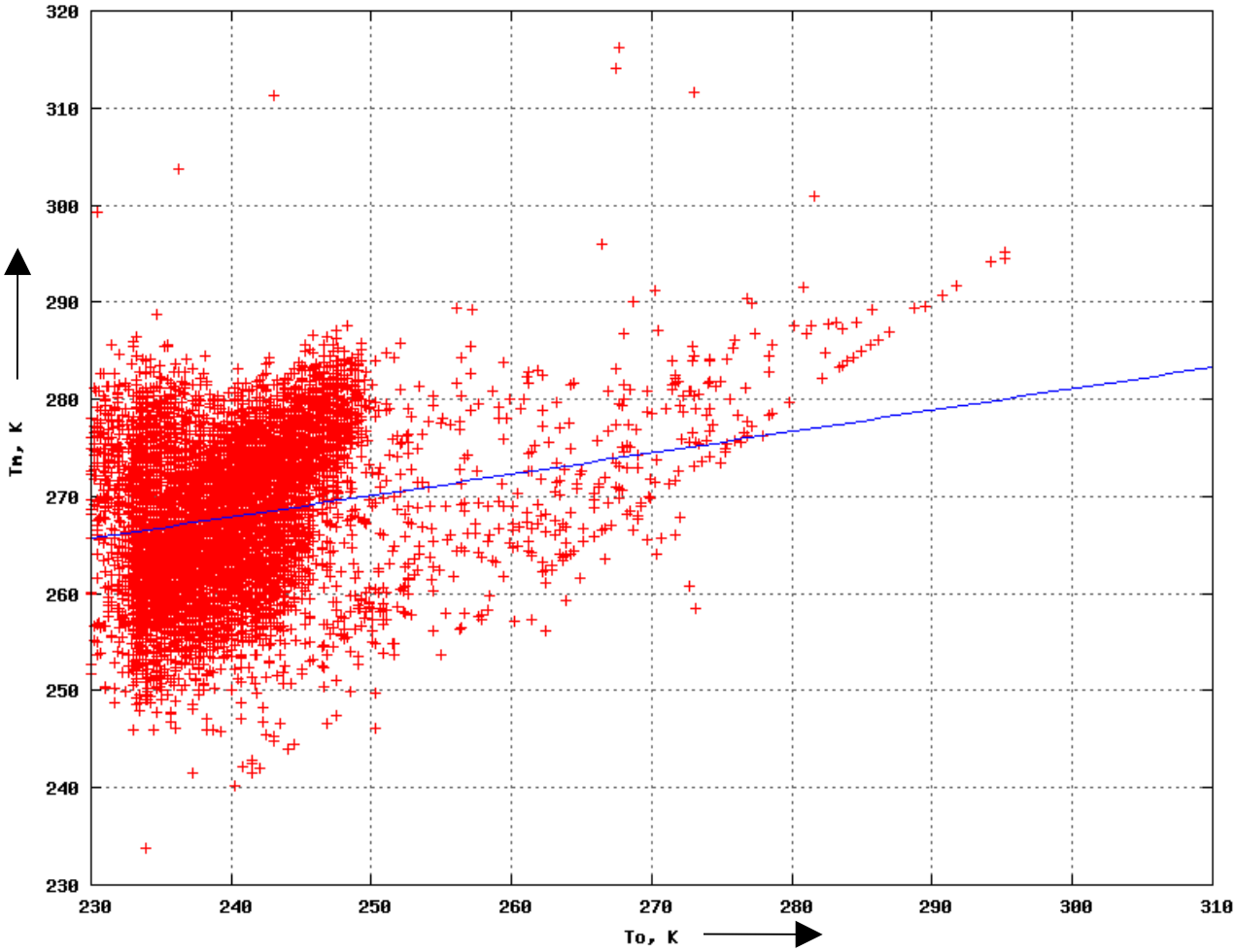

Рисунок 4.4 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Петрозаводск)

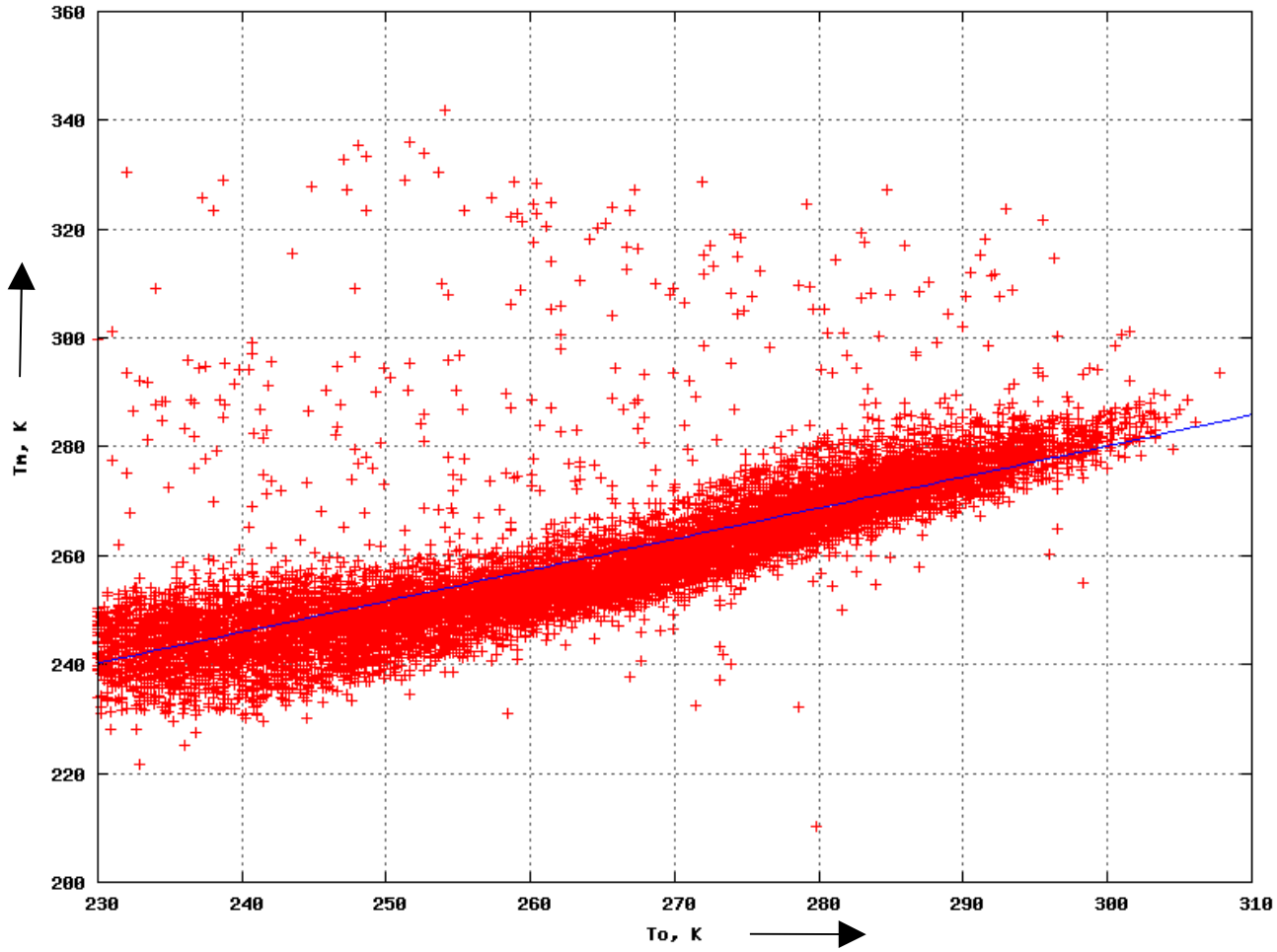

Рисунок 4.5 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Оленек)

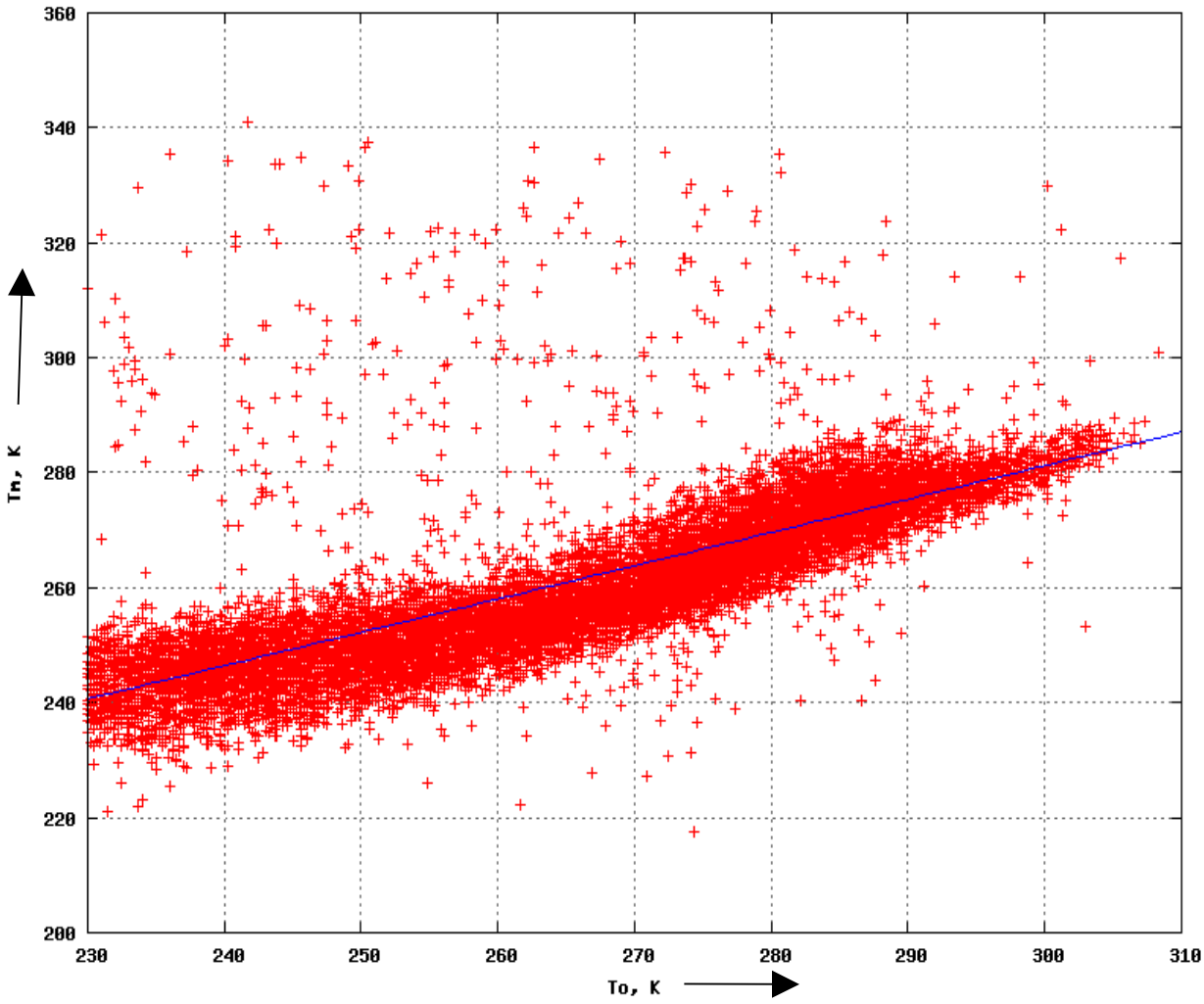

Рисунок 4.6 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Тура)

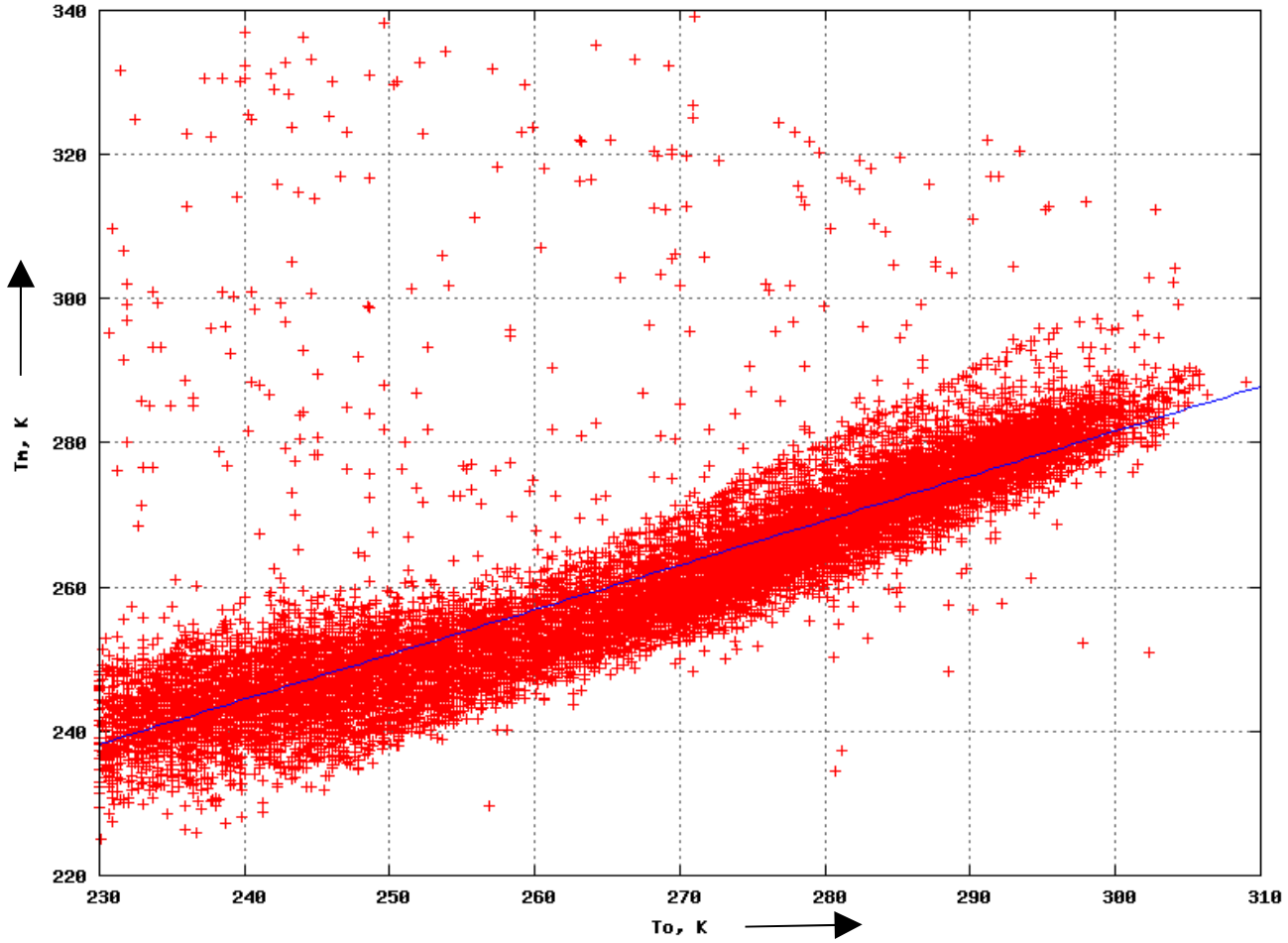

Рисунок 4.7 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Вилюйск)

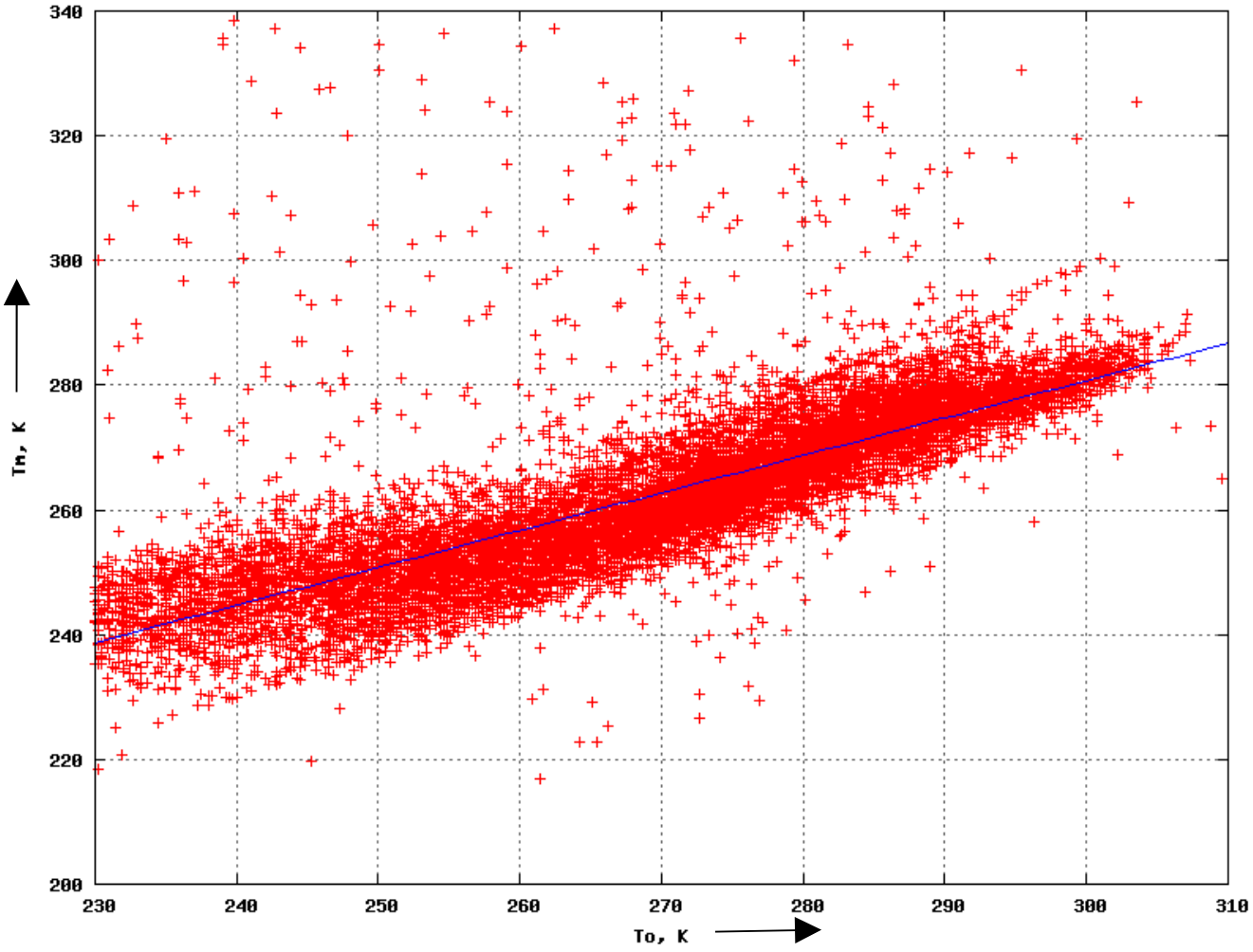

Рисунок 4.8 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Ванавара)

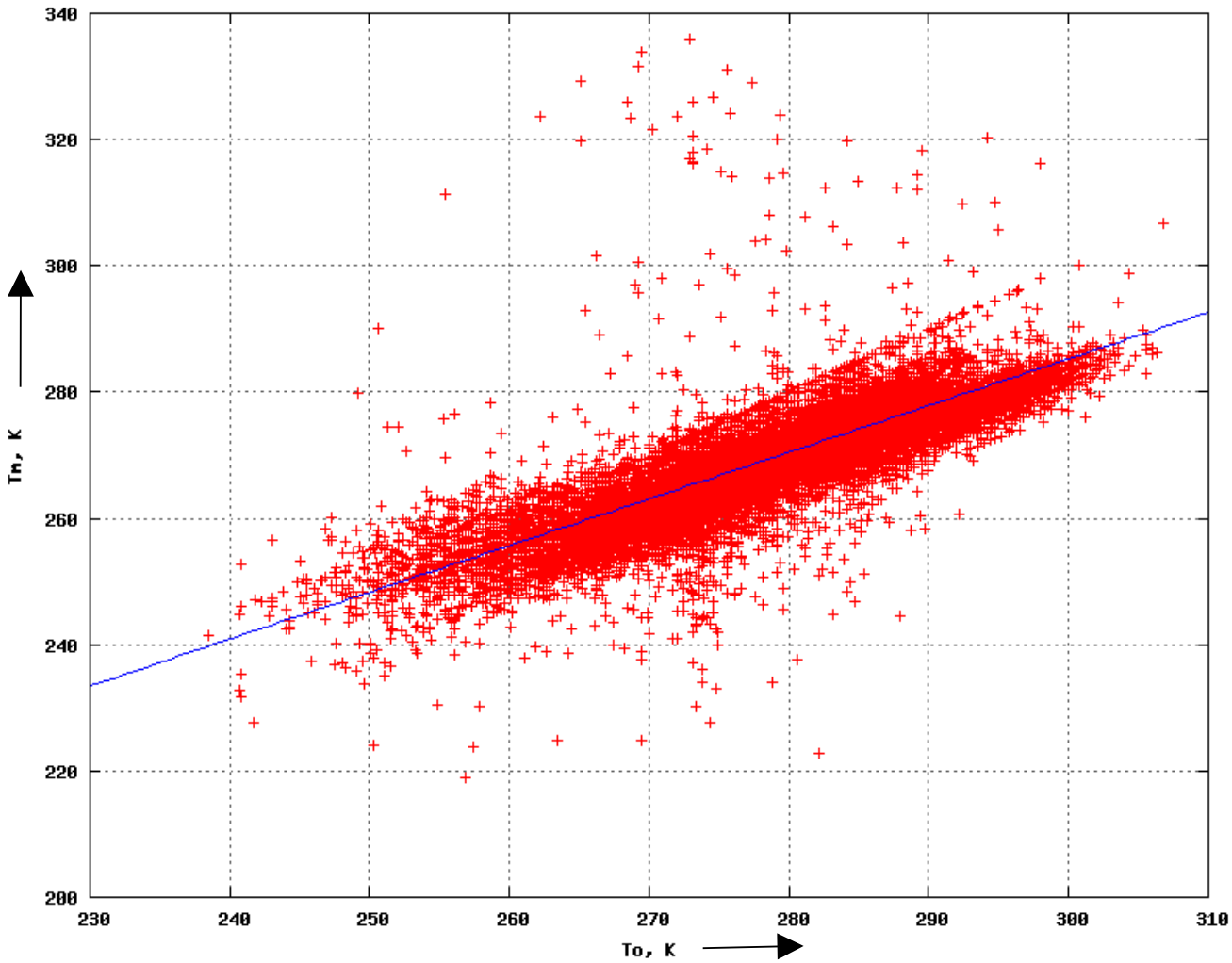

Рисунок 4.9 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Бологое)

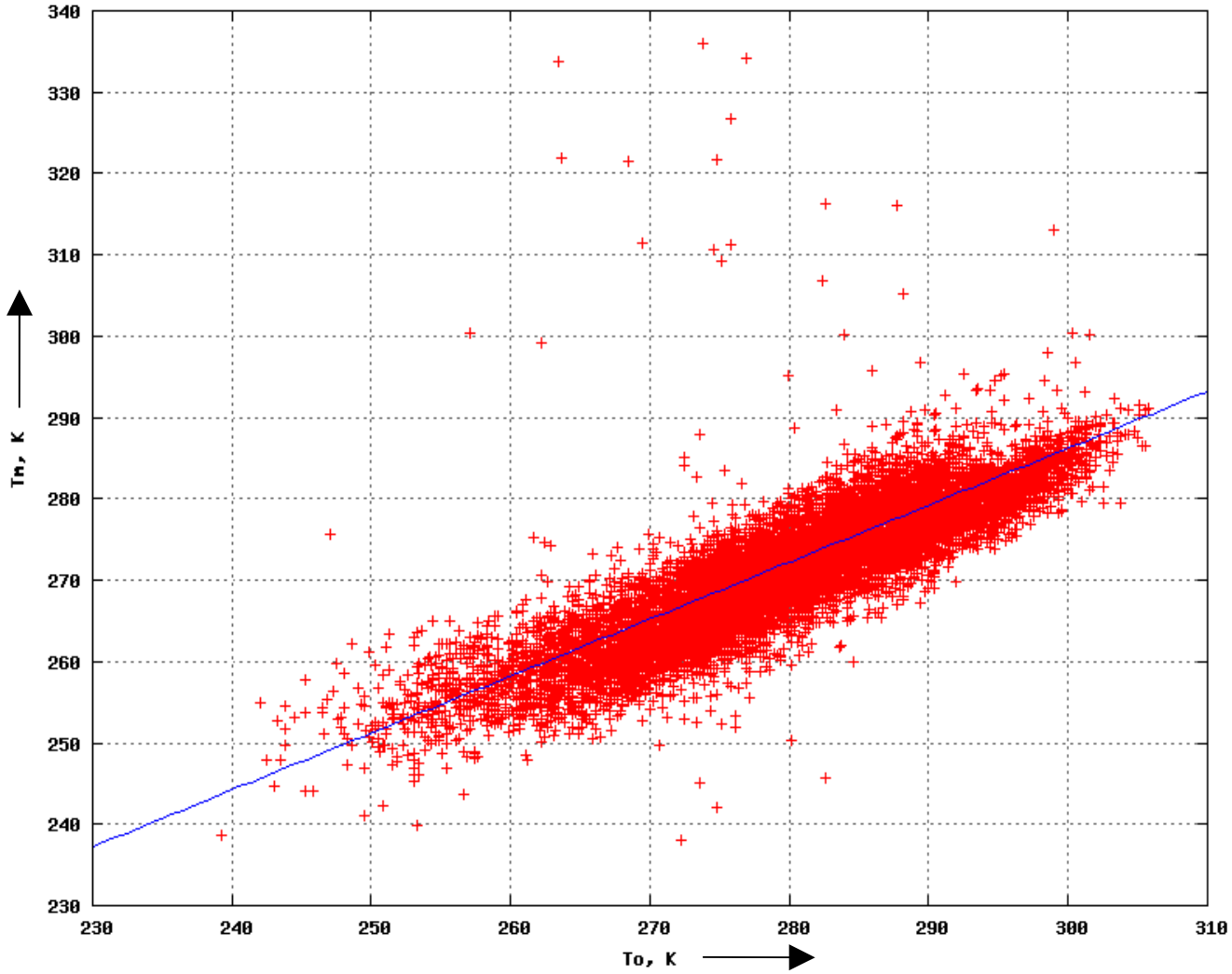

Рисунок 4.10 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Великие Луки)

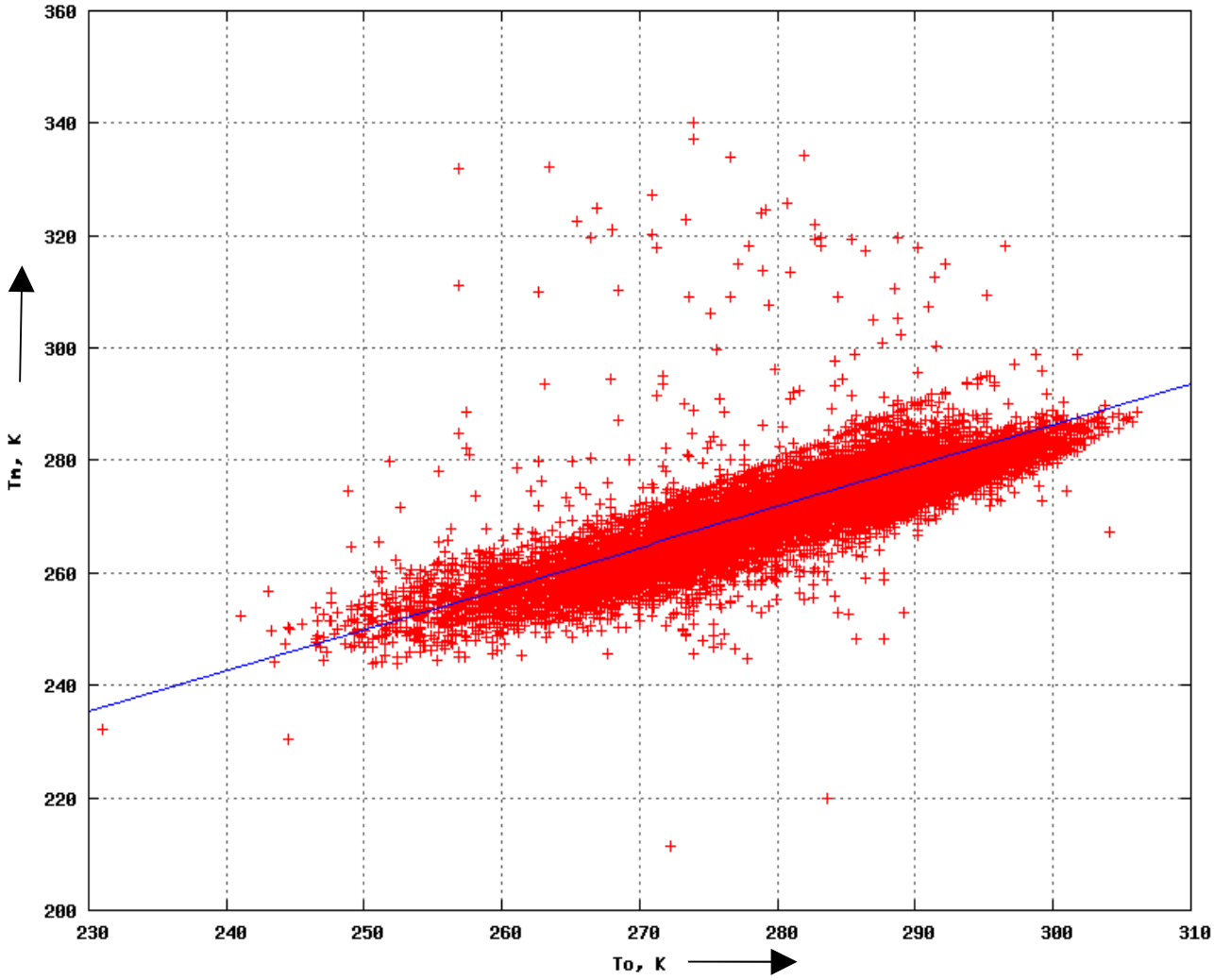

Рисунок 4.11 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Смоленск)

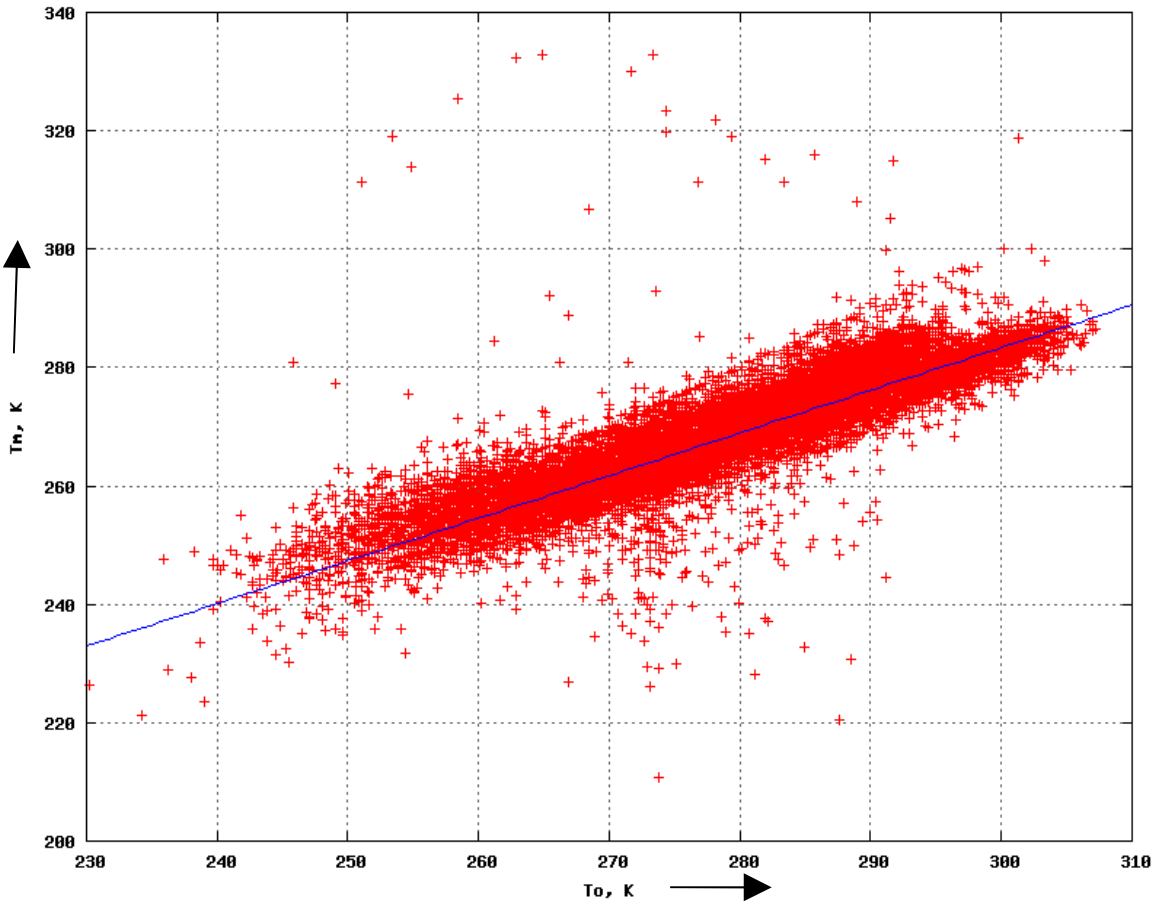

Рисунок 4.12 – Зависимость средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха (Казань)

Для определения коэффициентов линейной регрессии *a* и *b*, а также коэффициента корреляции *r* и стандартных ошибок регрессионных коэффициентов σ_a и σ_b была составлена программа, обрабатывающая полученные зависимости средней взвешенной температуры от приземной температуры воздуха. Текст программы представлен в приложении Б. Результаты расчетов представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчета параметров диагностической модели определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере

Пункт	*a*, К	σ_a, К	*b*	σ_b	*r*
Санкт-Петербург	65.48	0.83	0.73	<0.01	0.86
Бологое	63.28	1.01	0.74	<0.01	0.84
Петрозаводск	215.09	1.10	0.22	<0.01	0.36
Великие Луки	76.23	0.91	0.70	<0.01	0.87
Казань	67.35	0.80	0.72	<0.01	0.89
Смоленск	67.39	0.89	0.73	<0.01	0.85
Тура	107.23	0.95	0.58	<0.01	0.79
Ванавара	100.74	1.07	0.6	<0.01	0.79
Вилюйск	95.65	0.80	0.62	<0.01	0.85
Малые Кармакулы	228.13	0.89	0.14	<0.01	0.30
Оленек	109.16	0.90	0.57	<0.01	0.81

4.2 Точность определения интегрального содержания водяного пара

На основе полученных значений параметров диагностической модели, представленных в таблице 4.3 были рассчитаны относительные ошибки определения интегрального содержания водяного пара для всех рассматриваемых пунктов. Результаты расчетов представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчетов средних значений температур ΔT_m и относительной ошибки определения интегрального содержания водяного пара ($\Delta\nu/\nu$)

Пункт	ΔT_m, K	$\sigma_{\Delta T}$, K	$\Delta\nu/\nu$, %	$\sigma_{\Delta\nu/\nu}$, %
Санкт-Петербург	-0.067	4.389	-0.025	1.638
Бологое	0.853	5.418	0.314	2.034
Петрозаводск	-0.861	8.038	-0.32	2.995
Великие Луки	1.018	3.979	0.369	1.466
Казань	-0.736	4.839	-0.272	1.813
Смоленск	1.346	4.657	0.490	1.717
Тура	1.024	8.626	0.386	3.340
Ванавара	-0.076	8.350	-0.030	3.243
Вилюйск	0.194	7.752	0.072	3.028
Малые Кармакулы	0.106	9.960	0.040	3.783
Оленек	0.549	8.109	0.208	3.182

Аналогичные расчеты были произведены для средних значений параметров диагностической модели. Результаты расчетов представлены в таблице 4.5.

По данным таблиц 4.4 и 4.5 построен рисунок 4.13, из которого видно, что относительная ошибка определения интегрального содержания водяного пара, рассчитанная по значениям параметров модели, полученным по результатам наших исследований (см. таблицу 4.4) значительно меньше ошибок, получаемых при использовании средних значений параметров диагностической модели (см. таблицу 4.5).

Таблица 4.5 – Результаты расчетов средних значений температур ΔT_m и относительной ошибки определения интегрального содержания водяного пара ($\Delta\nu/\nu$) по данным американских исследований

Пункт	ΔT_m, K	$\sigma_{\Delta T}$, K	$\Delta\nu/\nu$, %	$\sigma_{\Delta\nu/\nu}$, %
Санкт-Петербург	1.685	4.391	0.617	1.628
Бологое	2.222	5.421	0.817	2.025
Петрозаводск	-31.130	10.533	-13.244	4.820
Великие Луки	0.580	3.987	0.209	1.472
Казань	2.114	4.839	0.774	1.794
Смоленск	1.636	4.657	0.498	1.717
Тура	1.164	9.051	0.383	3.543
Ванавара	1.609	8.628	0.561	3.365
Вилюйск	1.376	8.017	0.475	3.142
Малые Кармакулы	-22.111	16.268	-9.560	7.161
Оленек	0.975	8.638	0.307	3.433

Выводы

Подводя итог четвертой главы можно отметить, что использование полученных параметров диагностической модели позволяет определять интегральное содержание водяного пара в атмосфере с большей точностью, по сравнению со случаем использования средних значений параметров модели.

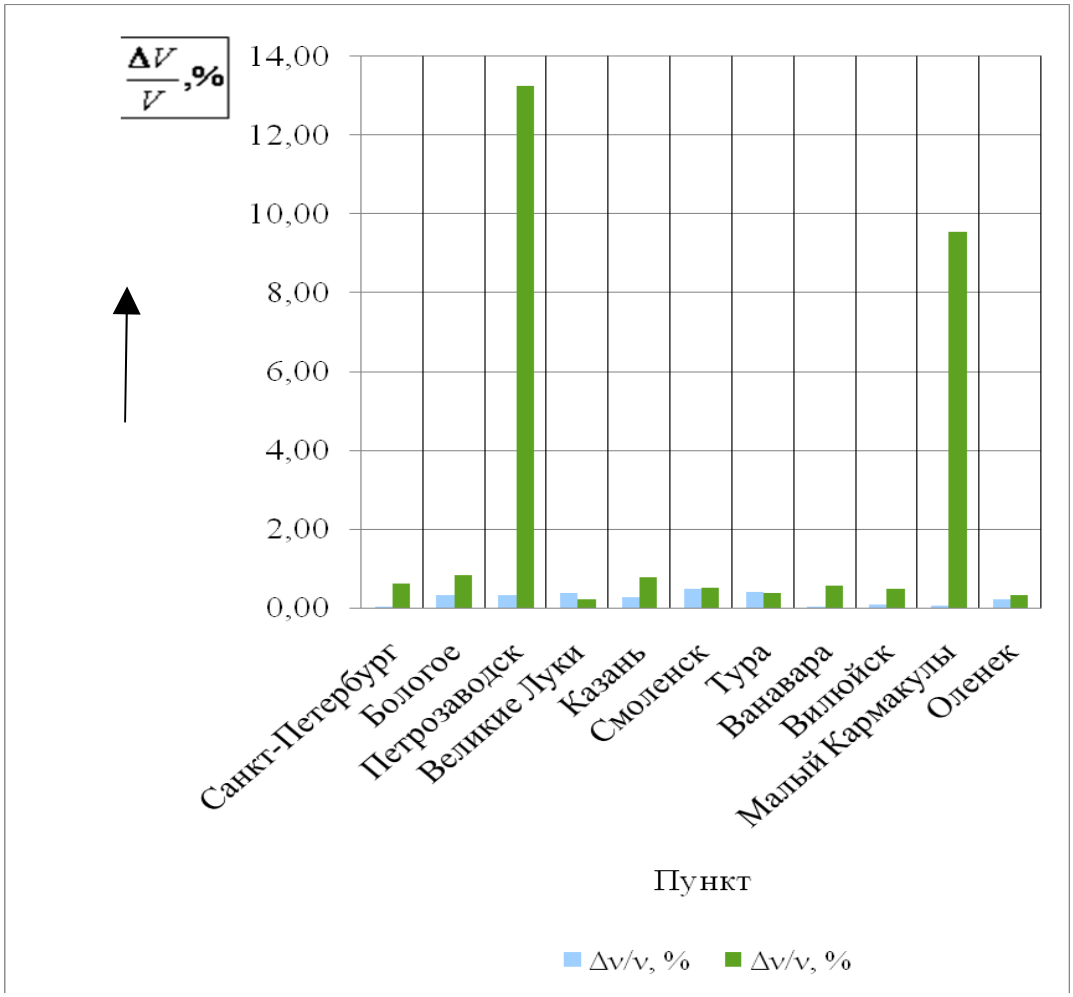

Рисунок 4.13 – Относительная ошибка определения интегрального содержания водяного пара

Заключение

В ходе работы над дипломным проектом рассмотрены возможности использования радиосигналов глобальной навигационной спутниковой системы для мониторинга содержания водяного пара в атмосфере.

Представлена математическая диагностическая модель, позволяющая осуществлять расчет интегрального содержания водяного пара на основе данных о задержке радиосигналов навигационных спутников в тропосфере.

В данной работе был составлен и реализован алгоритм программы для определения средневзвешенной температуры атмосферы по данным аэрологического зондирования для одиннадцати населенных пунктов России. В результате обработки данных более чем 200 тысяч радиозондирований получены значения параметров модели для расчета средневзвешенной температуры для каждого населенного пункта. Такой большой объем информации удалось обработать с привлечением современных технологий управления базами данных на основе языка структурированных запросов SQL.

С помощью специально разработанной программы для определения значений параметров диагностической модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ» были произведены расчеты относительной ошибки определения интегрального содержания водяного пара на основе рассчитанных и средних значений параметров модели.

В результате сравнительного анализа было показано, что при определении интегрального содержания водяного пара в атмосфере с помощью глобальной спутниковой навигационной системы необходимо учитывать зависимость параметров модели от широты и долготы, климатических условий. времени года и т.д.

Результатом данной работы являются полученные значения параметров

диагностической модели определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере.

Полученные в режиме реального времени данные о состоянии атмосферы могут быть ассимилированы в численные модели погоды и использованы системами дифференциальной коррекции для улучшения точности позиционирования потребителей.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на получение значений параметров модели для различных областей земного шара, учет сезонных и климатических особенностей.

Список использованных источников

1 Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз. 2000.

2 Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н. Харисова. А.И. Перова. В.А. Болдина. М.: ИПРЖР. 1998.

3 Чукин. В.В.. Дистанционное зондирование водяного пара в атмосфере с помощью навигационных спутниковых систем.[текст] – 2008.

4 Краткая история создания и развития методов и технических средств вертикального зондирования атмосферы / [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cao.narod.ru

5 Павлов. Н.Ф. Аэрология. радиометеорология и техника безопасности[текст] / Н.Ф. Павлов. – Л. Изд Гидрометеоиздат. 1980.

6 Зайцева. Н.А.. Аэрология [текст] / Н.А. Зайцева. – Л. Изд Гидрометеоиздат. 1990

7 Учебник PHP / [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.void.su/book/php

8 Структоризированный язык запросов (SQL) [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.helloworld.ru/texts/comp/db/mysql/osnovisql.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Текст программы для определения средневзвешенной температуры атмосферы по данным аэрологического зондирования

```
import java.util.*;
import java.io.*;
import java.net.*;
import java.sql.*;
import static java.lang.Math.*;
import ru.meteolab.pro.*;

 class TotalWaterVapor6 {

  public static final double Rd = 287.054;
  public static final double Rv = 461.526;
  public static final double E0 = 610.78;
  public static final double k1 = 7.76E-7;
  public static final double k2 = 7.04E-7;
  public static final double k3 = 3.74E-3;
  public static final double k21 = k2 - k1*Rd/Rv;
  static String dataBaseUrl = "jdbc:mysql://meteolab.ru:3306/aero";
  static String dataBaseUser = "melnikova";
  static String dataBasePassword = "bim-bom-bam";

 public static void main(String[] args) {

  String fileName;              // URL файла со списком всех casterов
  String line;                  // строка файла
  String str;                   // фрагмент строки
  String[] data = new String[30];     // до 30 полей данных в строке
  String query = null;
  double[] z = new double[1000000];   // Высота над земной поверхностью. м
  double[] T = new double[1000000];       // Температура воздуха. К
  double[] P = new double[1000000];       // Атмосферное давление. Па
  double[] e = new double[1000000];     // Парциальное давление водяного пара. Па
  double[] Nd = new double[1000000];      // "Сухая" часть показателя преломления
  double[] Nv = new double[1000000];      // "Влажная" часть показателя преломления
  double[] n = new double[1000000];       // Показатель преломления
  double[] dz = new double[1000000];      // Средняя высота
  double sum1;                    // Сумма элементов ((e[i]/T[i])*dz[i])
  double sum2;                    // Сумма элементов ((e[i]/T[i]*T[i])*dz[i])
  double S;                       // Относительная влажность воздуха
  double Tm;                      // Средняя взвешенная температура
  double Rho;                     // Плотность воздуха. кг/м3
  int i = 0;                  // Номер уровня над земной поверхностью
  int I;                          // Количество уровней
  double latitude;                // Начальная широта станции. градусы
  double longitude;               // Начальная долгота станции. градусы
  double latitude2;               // Конечная широта
```

```
double longitude2;                // Конечная долгота
int minyear;                      // Минимальный год
int maxyear;                      // Максимальный год
int k;                            // Номер года
int m = 1;                        // Номер месяца
int M = 12;                       // Количество месяцев
int d = 1;                        // Номер дня
int D = 31;                       // Количество дней
int g;                            // Время
int G = 24;
int Year =0;
int Month =0;
int Day =0;
int Hour =0;
int station;

// Проверяем. указаны ли: широта. долгота. min год. max год
if(args.length>=3) {
 minyear = Integer.parseInt(args[0]);
 maxyear = Integer.parseInt(args[1]);
 station = Integer.parseInt(args[2]);
  }

else {
    System.out.printf("Укажите через пробел: min год. max год. левую нижнюю широту. левую нижнюю долготу. правую верхнюю широту. правую верхнюю долготу. количество интервалов по широте. количество интервалов по долготе\n");

return;
 }

// Проверяем наличие драйвера для доступа к MySQL
try {
 Class.forName("com.mysql.jdbc.Driver");
}
catch(Exception ex) {
 ex.printStackTrace();
return;
}
for (k=minyear;k<=maxyear;k++) {
    System.err.println(k);
 for (m=1;m<M;m++) {
   for (d=1;d<D;d++) {
     for (g=0;g<G;g=g+12) {

// Читаем данные из файла и записываем в соответствующие массивы
try {
 Connection c = DriverManager.getConnection(dataBaseUrl. dataBaseUser. dataBasePassword);
        Statement s = c.createStatement(ResultSet.TYPE_SCROLL_INSENSITIVE. ResultSet.CONCUR_READ_ONLY);
```

```
//      query = "select distinct height. t. p. e from data where station = 26063 and time = \"1973-10-02 00\";";            // условие

    query = "select distinct height. t. p. e. year(time). month(time). day(time). hour(time) from data where station = "+station+" and time = \""+k+"-"+m+"-"+d+" "+g+"\" and t>213 and t<315;"; // условие
  // System.out.printf("query = %s\n". query);

    ResultSet rs = s.executeQuery(query);
     i= 0;
    // Если такая запись есть в базе данных
    while(rs.next()) {

      z[i] = Double.parseDouble( rs.getString(1).trim() );
      T[i] = Double.parseDouble(rs.getString(2).trim() );
      P[i]= Double.parseDouble(rs.getString(3).trim() );
      e[i] = Double.parseDouble(rs.getString(4).trim() );
      Year = Integer.parseInt( rs.getString(5).trim() );
      Month = Integer.parseInt( rs.getString(6).trim() );
      Day = Integer.parseInt( rs.getString(7).trim() );
      Hour = Integer.parseInt( rs.getString(8).trim() );
      Rho = e[i]/(Rv*T[i]);
      Nd[i] = k1*Rd*P[i]/(Rd*T[i]*(1.0+0.378*e[i]/P[i]));
      Nv[i] = k21*Rv*Rho + k3*Rv*Rho/T[i];
      n[i] = 1+ Nd[i] + Nv[i];
      i++;

      }

      rs.close();
      s.close();
      c.close();

    }
  catch(NumberFormatException nfe) { nfe.printStackTrace(); return; }
  catch(Exception ex) { ex.printStackTrace(); return; }

  // Число уровней
  I = i;
  if(I<=1) continue;

  // Заполняем массив dz
   for(i=1;i<I-2;i++){
      dz[i] = (z[i+1]-z[i-1])/2;
        }
   dz[0] =  (z[1]-z[0])/2;
   dz[I-1] =  (z[I-1]-z[I-2])/2;
   // Подсчет суммы элементов
   sum1 = 0;
```

```
    for(i=0;i<I-1;i++){
      sum1 = sum1 + (e[i]*dz[i])/T[i];
     }
    sum2 = 0;
    for(i=0;i<I-1;i++){
      sum2 = sum2 + (e[i]*dz[i])/(T[i]*T[i]);
     }
     // Расчет средней взвешенной температуры
    Tm = sum1/sum2;
    // Выводим на консоль результат
      if(Tm>200 && Tm<400){
       System.out.printf(Locale.US.  "%02d.%02d.%04d\t%02d\t%.2f\t%.2f\n".  Day.  Month.  Year.
Hour. Tm. T[0]);}
    //System.out.printf(Locale.US. "%.2f\t%.2f\n". Tm. T[0]);

} // g
} // d
} // m
 } // k
} //j
} //l
}
}
}
}
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Текст программы для определения значений параметров диагностической модели «ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ»

```
import java.util.*;
import java.io.*;
import java.lang.*;

class Graf2 {
 public static void main(String[] args) {
   String fileName;                    // Имя файла с текстовыми данными
   String line;                        // Строка файла
   String str;                         // Фрагмент строки
   double[] To = new double[1000000];   // Температура воздуха на уровне 2 м. К
   double[] Tm = new double[1000000];   // Средняя взвешенная температура. К
   int i = 0;                          // Номер уровня над земной поверхностью
   int I;                              // Количество уровней

// Проверяем. указано ли при запуске программы имя текстового файла с данными
  fileName = "Tm1.txt";
// Читаем данные из файла и записываем в соответствующие массивы
  i = 0;
  try{
   FileReader fr = new FileReader(fileName);
   BufferedReader in = new BufferedReader(fr);
   while( (line=in.readLine()) !=null) {
       StringTokenizer token = new StringTokenizer(line);
       if(!token.hasMoreTokens()){
           calc(To. Tm. i);
           i = 0;
           }
    if(!token.hasMoreTokens())continue;
      str = token.nextToken();if(!token.hasMoreTokens())continue;
      str = token.nextToken();if(!token.hasMoreTokens())continue;
      str = token.nextToken();if(!token.hasMoreTokens())continue;
      str = token.nextToken();if(!token.hasMoreTokens())continue;
      str = token.nextToken();if(!token.hasMoreTokens())continue;
      To[i] = Double.parseDouble(str);if(!token.hasMoreTokens())continue;
      Tm[i] = Double.parseDouble(token.nextToken());
      System.out.printf(Locale.US. "%.2f\t%.2f\n". To[i]. Tm[i]);
        i++;
       }
        calc(To. Tm. i);
       }
   catch(IOException ex) { System.err.println("Не отрыть файл "+fileName); return; }
   catch(Exception ex) { System.out.println("Не открыть файл "+fileName); return; }
```

```
}

public static void calc(double[] To. double[] Tm. int I) {
   int i;
   double a;
   double b;
   double c;                    // Сумма(To*Tm)
   double d;                    // Сумма(To*To)
   double e;                    // Сумма(Tm)
   double m;                     // Сумма(To)
   double sum;
   double y;
   double Y;
   double r2;
   double r;
   double q;
   double S;
   double S2;
   double Sa;
   double Sa2;
   double Sb;
   double Sb2;
   double[] Tm1 = new double[1000000];
   String sLat;
   String sLon;

    c = 0;
    d = 0;
    e = 0;
    m = 0;

    for(i=0;i<I;i++){
    c = c + To[i]*Tm[i];
    d = d + To[i]*To[i];
    e = e + Tm[i];
    m = m +To[i];
    }
    b = (m*e - I*c)/(m*m - I*d);
    a = (e - b*m)/I;
     q = 0;
     y = 0;
     for(i=0;i<I;i++) {
        y = y + Tm[i];
        Tm1[i] = a + b*To[i];
        q = q + (Tm[i]-Tm1[i])*(Tm[i]-Tm1[i]);
      }
     Y = y/I;
     sum = 0;
     for (i=0;i<I;i++){
         sum = sum + (Tm[i] - Y)*(Tm[i] - Y);
```

```
    }
    S2 = q/(I-2);
    S = Math.sqrt(S2);
    Sa2 = S2*d/(I*d - m*m);
    Sa = Math.sqrt(Sa2);
    Sb2 = I*S2/(I*d - m*m);
    Sb = Math.sqrt(Sb2);
    r2 = 1 - (q/sum);
    r = Math.sqrt(r2);
      System.out.printf("r = %.2f\n". r);
      System.out.printf("%.2f \u00B1 %.2f\t%.2f \u00B1 %.2f\n". a. Sa. b. Sb);

return;
}


}
```