



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему «Оценка сезонной изменчивости индекса коэффициента
преломления в тропосфере в районе города Алдан»

Исполнитель Пинигина Зоя Александровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

«11» 06 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. Метеорологические радиолокаторы и информация, получаемая с их помощью	9
2. Особенности распространения радиолокационного импульса в неоднородной атмосфере	20
2.1 Атмосфера и ее электрические параметры.....	20
2.2 Рефракция радиоволн в тропосфере. Виды рефракции	24
2.3 Затухание радиоволн в тропосфере.....	24
3 Описание пункта наблюдений	30
3.1 Радиолокационная станция АВК-1.....	34
3.2 Краткое описание системы ПО АВК-1	40
3.3 Работа АВК-1 с использованием аэрологического процессора	44
3.4 Адаптация архива зондирования за 2021 год для проведения расчетов ...	50
3.5 Анализ полученных данных.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	70

СОКРАЩЕНИЯ

- АВК-1 – аэрологический вычислительный комплекс, система зондирования;
- АМРК – автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс;
- АМСГ – авиационная метеорологическая станция, гражданская;
- АМЦ – авиационный метеорологический центр;
- АП – аэрологический процессор;
- АРВК – аэрологический радиолокационный вычислительный комплекс
- АСУ – автоматическая система управления;
- АФС – антенно-фидерная система;
- АЦПУ – алфавитно-цифровое печатающее устройство;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- АЭ – аэрологическая станция;
- ВКУ – видеоконтрольное устройство;
- ВМО – всемирная метеорологическая организация;
- ВОИ – вторичной обработки радиолокационной информации;
- ДН – диаграмма направленности антенны;
- ДМРЛ – доплеровская метеорологическая радиолокационная станция;
- КН-04 – Код для передачи данных вертикального зондирования атмосферы, национальный вариант международного кода FM 35.E TEMP;
- КН-03 – Код для передачи данных ветрового зондирования атмосферы КН-03 национальный вариант международного кода FM 32.E PILOT;
- ЛВС – локальная вычислительная сеть;
- МАРЛ-А – микроэлектронная аэрологическая радиолокационная станция;
- МРЗ – радиозонд малогабаритный;
- МРЛ (МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5) – метеорологический радиолокатор;
- МЧС – министерство по чрезвычайным ситуациям;
- МПК – мультиплексорный коммутатор;

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство;

ПО – программное обеспечение;

ПОИ – первичной обработки информации;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

РЛС – радиолокационная станция;

ТАЭ-3 – таблица результатов зондирования;

САК – система автоматического контроля;

СВЧ – сверхвысокая частота;

СОИ – система отображения информации;

СОК – система определения координат;

СОУ – система обработки и управления;

СУА – система угловой автоматики;

СЦВМ – специализированная цифровая вычислительная машина;

СЭП – система электропитания;

УВД – управление воздушными движениями;

УПО-ДМ – устройство предварительной обработки;

УУВК – удаленный управляющий вычислительный комплекс;

ЦГМС – центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

BUFR – название двоичного кода для обмена данными и их хранения;

HDD – Hard Disk Drive, накопитель на жёстких магнитных дисках;

IDE – Integrated Drive Electronics, параллельный интерфейс подключения накопителей к компьютеру;

ISA – Industry Standard Architecture, 8- или 16-разрядная шина ввода-вывода;

MS Office – офисный пакет приложений, созданных корпорацией Microsoft;

TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol, протокол управления передачей/протокол Internet.

ВВЕДЕНИЕ

Различные атмосферные явления, совокупность многочисленных метеорологических элементов – это все то, что в обычной жизни мы называем одним словом: «погода».

С помощью обширного ряда современных приборов мы легко можем измерить величины таких метеорологических элементов, как давление, температура, влажность, ветер. Но для оценки характеристик погоды этих данных не может быть достаточно. Облака, шквалы, грозы, осадки и т. д. – атмосферные явления, наблюдения за которыми необходимы. Их образование в какой-то конкретной местности или районе, а также перемещение, за счет движения соседней воздушной массы, прогнозированию подвергается с трудом, а это так необходимо для обеспечения таких отраслей народного хозяйства, как сельское хозяйство, авиация, энергетика, транспорт и др. В прошлом, десятилетия назад, можно было только визуально наблюдать за подобными явлениями. Для большей достоверности, в связи с ограниченным радиусом действия при данном методе, возникала необходимость увеличения количества метеорологических постов и станций. Это, в свою очередь, приводило к снижению качества информации из-за большой изменчивости в пространстве и времени. Поэтому применение радиолокационных методов стало настоящей революцией в метеорологии. Появилась возможность сбора информации на больших площадях практически мгновенно. Посредством радиолокаторов можно получить информацию о положении в пространстве, перемещении, форме и размерах, структуре, а также физических свойствах обнаруживаемых объектов, таких как области повышенных градиентов температуры, облака, осадки, ионизированные следы разрядов молний и т. п. Только с помощью радиолокации появилась возможность получать оперативные данные о ветре на разных высотах при любых погодных условиях. Зачастую измерение параметров ветра производится одновременно с измере-

ниями параметров таких величин, как температура, влажность, давление и др. В связи с этим существуют РЛС, предназначенные для комплексного исследования атмосферы, позволяющие определять по сигналу радиозонда его координаты, одновременно принимая телеметрическую информацию о метеоэлементах. Если объединить данные нескольких станций, то значимость информации заметно возрастает, появляется возможность оперативно наблюдать за процессами синоптического масштаба, их развитием.

Информация, получаемая с помощью радиолокационных наблюдений, в частности сверх-краткосрочные прогнозы и предупреждения о возможных штормах, широко используется при обеспечении всех видов транспорта (как воздушного, так и наземного) метеоинформацией, предприятий энергетики, сельского хозяйства, строительных и дорожных предприятий, обеспечивает бесперебойное функционирование крупных промышленных центров и больших городов. Метеорологические радиолокаторы находят свое применение в областях физики атмосферы, экологии, гидрологии, в том числе в службе ответственной за штормо-оповещение.

Такое направление, как исследование динамических процессов, протекающих на различных высотах в свободной атмосфере, занимает на сегодня особое место. Сюда входит не только тропосфера, а также стратосфера и нижние слои мезосферы.

Такие возможности появились с установлением радиолокационных станций не только на Земле, но и на спутниках, на самолетах, увеличения возможностей и расширения диапазона длин волн.

На данном этапе радиолокационное зондирование атмосферы считается одним из наиболее развивающихся методов изучения состояния воздушной среды благодаря своей информативности, оперативности, а также универсальности. Используются различные носители средств дистанционного зондирования, совершенствуются технические характеристики аппаратуры зондирования, расширяются ее спектральные диапазоны, применяются ак-

тивные и пассивные методы. Большую роль также играет использование радиолокационных комплексов.

1. Метеорологические радиолокаторы и информация, получаемая с их помощью

Использование отражения электромагнитных волн объектами наблюдения – является основой принципа действия всех радиолокационных станций. Такое явление называют радиоэхом и для его обнаружения каждый МРЛ в своей конструкции имеет радиопередатчик и высокочувствительный радиоприемник, работающие согласованно.

Еще в 1887 году Генрих Герц, немецкий физик, в ходе своих экспериментов открыл существование электромагнитных волн. Ученый научился улавливать и генерировать электромагнитные волны, а также обнаружил, что они поглощаются и отражаются различными материалами по-разному.

В 1897 году русский физик и электротехник Попов А. С., проводя опыты по радиосвязи между кораблями, сделал выводы, положившие начало новому средству наблюдения – радиолокации, но из-за несовершенства техники использовать данное открытие стали значительно позже.

В январе 1934 года в СССР успешно завершился эксперимент по обнаружению самолета, летящего на высоте 150 метров, радиолокационным методом. Объект был обнаружен на дальности 600 метров от радарной установки. Уже в 1936 году с расстояния 10 километров был засечен самолет с помощью советской сантиметровой радиолокационной станцией «Буря».

Первые метеорологические наблюдения, произведенные с помощью радиолокаторов, были осуществлены в годы Второй мировой войны. Позднее были заложены теоретические основы метеонаблюдений. Они связывали характеристики гидрометеоров с измерениями параметров радиоэха. Первые радиолокаторы, предназначенные для метеорологических наблюдений, были однопараметрическими, то есть измеряли только радиолокационную отражаемость Z облаков и осадков. Но даже это значительно расширило возможности метеорологов, они получили возможность оценивать местоположение и внутреннюю структуру зон мощной облачности и осадков, их высоту и ли-

нию развития. На этом также основывался метод радиолокационного измерения осадков. Метод распознавания гроз, основанный на анализе вертикальной структуры поля радиолокационной отражаемости, приобрел широкое развитие, были отработаны радиолокационные алгоритмы идентификации града и создана методика противогородовых работ. Радиолокаторы МРЛ-1 и МРЛ-2 относились к данному времени. Наблюдения проводились вручную, в МРЛ использовались аналоговые приемные устройства, а лучевые трубки кругового обзора использовались для отображения информации [1].

С началом использования доплеровских методов радиолокационных метеорологических наблюдений к измерению радиолокационной отражаемости Z добавилась еще радиальная доплеровская скорость и ширина доплеровского спектра. В связи с использованием вышеперечисленных параметров, оцениваемых ДМРЛ, в США, например, получили большое развитие методы определения смерчей и торнадо, явлений, связанных с ветром. Но в нашей стране, к сожалению, это направление осталось на уровне исследовательских работ. К достижениям, в результате внедрения радиометеорологических наблюдений доплеровской обработки, можно отнести, таблица 1.1:

Таблица 1.1 – Достижения, в результате внедрения радиометеорологических наблюдений доплеровской обработки

<ul style="list-style-type: none"> • разработка методов опознавания турбулентности и опасных сдвигов ветра в тропосфере;
<ul style="list-style-type: none"> • разработка методов распознавания торнадо и смерчей, а также приемы прогноза перемещений;
<ul style="list-style-type: none"> • с целью избежания отражений от рядом расположенных предметов применение доплеровской фильтрации.

В 70-х годах прошлого века был спроектирован двухволновой радиолокатор МРЛ-5 с длиной волны 3 и 10 см. Он широко применялся как для

прогнозов, так и для измерения осадков двухволновым методом, а также в работах по защите от града.

Пример использования метеорологического радиолокатора МРЛ-2 представлен в таблице 1.2:

Таблица 1.2

• выявления и установление местонахождения и высот зон радиоэхо кучево-дождевых облаков с явлениями, к которым относятся ливневые осадки, град грозы;
• заблаговременного оповещения о сильных ливневых осадках, граде и грозах;
• распознавания скорости и направления передвижения зон радиоэхо кучево-дождевых облаков и зон радиоэхо обложных осадков;
• распознавание верхней границы радиоэхо всех выявленных облаков верхнего и среднего яруса;
• анализ развития радиолокационных характеристик облачного пространства;
• оценка изменения радиоэхо кучево-дождевой облачности;
• распознавание высоты нулевой изотермы при слоисто-дождевой облачности;
• фиксирование мгновенной наибольшей интенсивности осадков в радиусе от 90 км от МРЛ;
• оценка территорий, занятых радиоэхо осадков.

Иногда МРЛ может зафиксировать наиболее интенсивный туман или даже дымку.

Если же нижняя граница облачности находится ниже 500 м, или из нее выпадают осадки, ее невозможно определить с помощью МРЛ.

МРЛ-2 может измерять только одну величину – отраженный сигнал. На протяжении многих лет этого было достаточно, чтобы заблаговременно, с высокой степенью вероятности, распознавать опасные явления (град, грозы, ливневые осадки).

Уже к концу 70-х годов для обработки полученной информации стали внедрять ЭВМ, автоматизировав наблюдения.

Для более качественного изучения информации, полученной с МРЛ, для возможности архивирования данных и предоставления потребителю конечного продукта в удобной для него форме, был предложен вариант модернизации радиолокатора МРЛ-5 именуемый «Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс «Метеоячейка», он обеспечивает автоматизацию метеорологического радиолокатора (МРЛ-5). Используется для обеспечения аэропортов, а также автоматизированных систем управления воздушным движением (АСУ) информацией, в понятном для потребителя виде. Информация обладает оперативностью и высокой надежностью.

Комплекс «Метеоячейка» имеет повышенную помехозащищенность, использует простые линии связи. показывает высокую надежность работы и высокое качество полученной информации.

В состав АМРК «Метеоячейка» входит, таблица 1.3:

Таблица 1.3 – Состав АМРК «Метеоячейка»

• двухволновой радиолокатор МРЛ-5;
• комплект технических средств автоматизации получения информации;
• центральная система АМРК;
• специализированные рабочие станции потребителей информации.

Управление работой МРЛ-5, анализ и обработка результатов измерений, и передача полученных данных потребителям в необходимом объеме и удобной форме – является основной задачей центральной системы АМРК.

В комплект центральной системы АРМК входит, таблица 1.4:

Таблица 1.4 – комплект центральной системы АРМК

• основная и резервная ПЭВМ;
• блок бесперебойного питания;
• коммутатор каналов;
• коммуникационная секция с защитой т молниевых разрядов и модемная стойка.

Состав АРМК может различаться набором специализированных рабочих станций, это зависит от заказчика. Данные на рабочие станции от центральной системы могут передаваться как по локальной вычислительной сети, так и по телефонной связи. Рабочие станции также различаются количеством и формой информации друг от друга. На сегодняшний день на сети АРМК могут работать следующие специализированные рабочие станции, таблица 1.5:

Таблица 1.5 – Специализированные рабочие станции

• техника – метеоролога АМСГ;
• синоптика-консультанта летного состава;
• синоптика-консультанта диспетчерского состава;
• синоптика-прогнозиста АМСГ (АМЦ);
• синоптика-прогнозиста ЦГМС;
• руководителя полетов АС УВД;
• оперативного дежурного МЧС.

Сегодня МРЛ-2 и МРЛ-5, можно сказать, физически и морально устарели. Методы спектральной и поляризационной обработки ощутимо расширяют количество получаемых продуктов. Они дают возможность не только

выявлять динамические особенности метеорологического объекта, но и особенности его микрофизической структуры.

Для проведения непрерывных круглосуточных наблюдений в составе единой наблюдательной сети Росгидромета с использованием единого программного обеспечения используются радиолокаторы ДМРЛ, рисунок 1.1. Они предназначены для обеспечения метеоинформацией таких потребителей, как оперативные подразделения Росгидромета, метеослужбы аэродромной авиации и Министерства обороны, а также других потребителей.



Рисунок 1.1 – Радиолокатор ДМРЛ.

ДМРЛ (когерентные метеолокаторы) в отличие от МРЛ-2 и МРЛ-5 (некогерентных метеолокаторов), имеют ряд дополнительных возможностей.

Все локаторы ДМРЛ подключены к скоростной сети передачи данных Росгидромета. Это необходимо для сбора данных, контроля и управления.

На сети Росгидромета радиационные наблюдения ДМРЛ производятся синхронно, по единому регламенту на всех радиолокаторах, входящих в сеть ДМРЛ Росгидромета [2].

Зондирование атмосферы современным метеорологическим радиолокатором осуществляется узким лучом, который формируется с помощью параболической антенны с диаграммой направленности шириной 1 градус. Для зондирования используется импульсный метод. Измерить дистанцию до метеоцелей позволяет точное измерение временной задержки отраженных радиосигналов, а метеорологические характеристики определяются с помощью измерения характеристик отраженного сигнала, его мощности, фазы, коэффициента кросскорреляции.

Радиолокационное наблюдение представляет собой набор азимутальных круговых сканирований под разными углами места, создавая архив накопленных данных об облачности и осадках.

Дальше, на основе этого архива, с помощью компьютерных программ, строится трехмерная модель облачной атмосферы. Радиус построенной модели – до 250км до ДМРЛ, высота – 20км. Чем больше частота конических сечений, тем более подробной будет построенная модель.

Выведение данных ДМРЛ в метеоподразделениях организуется доступом к удаленному управляющему вычислительному комплексу ДМРЛ-С. Радиолокационная информация с выхода ПОИ (первичной обработки информации), по локальной сети попадает на УУВК, где проходит идентификацию, дальнейшую обработку и транслируется в коде BUFR потребителям или на абонентские пункты локальных пользователей.

Также УУВК (удаленный управляющий вычислительный комплекс) обеспечивает контроль технического состояния комплекса и возможность управления.

Основной информацией, получаемой с помощью радиолокационных метеонаблюдений, является информация, получаемая в режиме реального времени, о местоположении, эволюции и перемещении зон интенсивных осадков, гроз на территориях большой протяженности. Радиолокаторы сегодня решают такие задачи, таблица 1.6:

Таблица 1.6 – Задачи, решаемые метеорологическими РЛС

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• оценка и идентификация облачности, метеоявлений и их интенсивности; информационное обеспечение сверхкраткосрочного прогноза погоды. |
| <ul style="list-style-type: none">• обеспечение численных моделей прогноза погоды радиолокационной информацией для их инициализации и верификации. |

Еще одним способом исследования атмосферы является метод аэрологического зондирования. Принцип его действия отличается от рассмотренных нами выше. Здесь, для измерения метеорологических величин, используется прибор (радиозонд). Поднимаясь в свободной атмосфере, он измеряет метеопараметры воздуха. Прибор оснащен радиопередающим устройством, посредством которого результаты измерений передаются на наземную станцию слежения. Радиозонд крепится к шару, наполненному легким газом [5].

Самый первый увенчавшийся успехом запуск радиозонда в мире состоялся 30 января 1930 года Молчановым П. А. в обсерватории в Павловске.

Прибор тогда прикрепили к связке резиновых шаров, наполненных водородом.

Система «Малахит», рисунок 1.2, был первой системой, в которой объединили измерения температуры, давления, влажности, скорости и направления ветра.



Рисунок 1.2 – Антенна системы зондирования «Малахит».

Эта система делала возможным проведение комплексного температурно-ветрового радиозондирования и использовалась для аэрологического зондирования повсеместно.

Следующим шагом, повышающим надежность аэрологического зондирования, было создание комплексной системы «Метеор», которая для измерения дальности использовала сигнал радиолокационного ответчика. А применение терморезистора в радиозондах смогло уменьшить ошибки измерений температуры на больших высотах. В комплексной системе «Метеор» впервые процесс измерения и регистрации координат радиозонда и телеметрической информации был автоматизирован.

Следующим этапом развития аэрологического зондирования было создание и внедрение на многих станциях аэрологической сети системы РКЗ-5 «Метеорит-2» как основной системы зондирования. Эта система выгодно отличалась от предыдущей большей точностью измерения ветра и в приземном

слое, и на высотах; большей дальностью (250 км) надежного сигнала радиозондов; ветровое зондирование было оснащено передатчиком-ответчиком и уголковыми отражателями.

В это время началась автоматизация и накопление данных. Получило распространение зондирование атмосферы на научно-исследовательских судах. Появилась необходимость для разработки малогабаритных зондов, это диктовалось необходимостью обеспечения безопасных полетов, а также для увеличения экономичности и надежности системы зондирования.

Прорывом в совершенствовании системы радиозондирования стала разработка системы радиозондирования АВК-1-МРЗ, пришедшаяся на период 1980-1990 г.г. С помощью этой системы автономная автоматизированная обработка результатов зондирования происходит прямо на аэрологических станциях. Сюда входит и выход стандартных аэрологических телеграмм, и последующая передача подготовленных данных в центры сбора информации. На сети подобные комплексы начали устанавливать с 1986 года. Они отличались надежной работой.

В системах радиозондирования АВК-1-МРЗ применяют малогабаритные радиозонды, имеющие вес менее 500 гр.

АВК-1-МРЗ легко и оперативно осваивается аэрологами.

Дальнейшим прогрессом технического оснащения аэрологической сети стало создание АРВК – аэрологического радиолокационного вычислительного комплекса нового поколения МАРЛ-А с активной фазированной антенной решеткой, а также упрощенной механической частью и развитой электронной (авторы Кочин А. В., Иванов А. А., Дубовецкий А. З., Чистюхин В. В., Азаров А.С.). Данный комплекс может работать с радиозондом любого типа, настроенным на международную частоту 1680МГц.

Общий вид антенн РЛС АВК-1 и МАРЛ-А показан на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Общий вид антенн РЛС АВК-1 и МАРЛ-А.

Аэрологические исследования и измерения играют важную роль в удовлетворении запросов различных областей народного хозяйства, в особенности в авиации. Результаты этих исследований применяются для составления аэрологических и высотных карт. Для синоптической метеорологии развитие аэрологии также является одним из условий ее развития и успехов. Самые передовые достижения физики, приборостроения, радиолокации, радиотехники и т. д. [3].

Российская аэрологическая сеть входит в состав Глобальной мировой сети радиозондирования Всемирной службы погоды и, в соответствии с требованиями, ВМО, проводит аэрологические наблюдения.

АЭ Алдан является станцией международного обмена, входит в Список Глобальной Системы Наблюдений за климатом (рисунок 1.4).

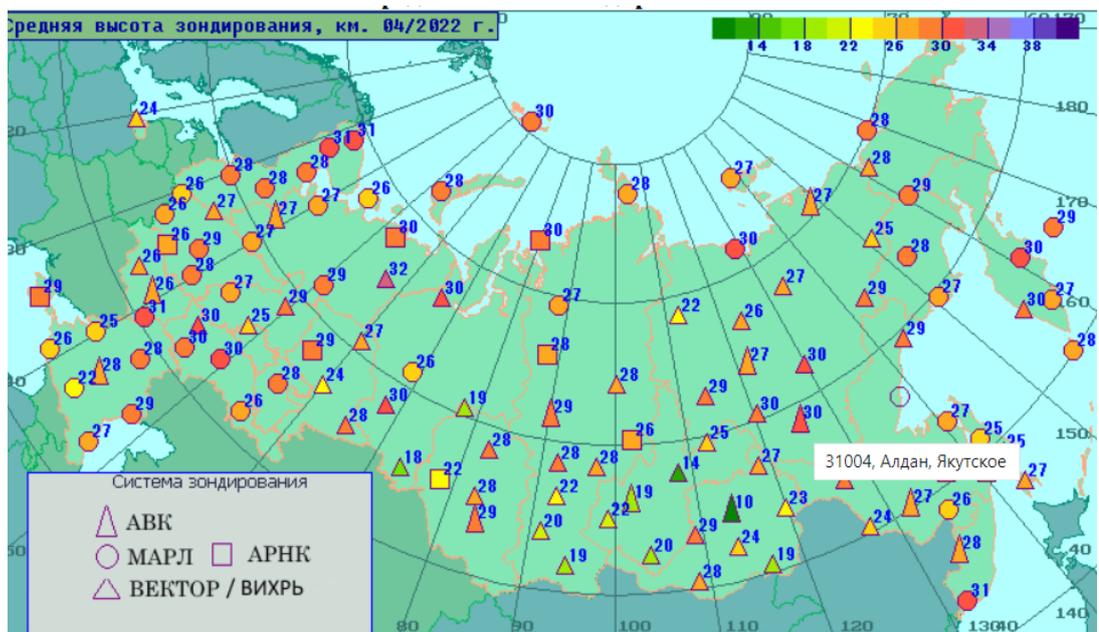


Рисунок 1.4 – Аэрологическая сеть России.

2. Особенности распространения радиолокационного импульса в неоднородной атмосфере

Еще в 18 веке первые естествоиспытатели называли верхнюю атмосферу «кухней погоды». В свое время М. В. Ломоносов предлагал, с целью изучения свободной атмосферы, конструкцию (аэродромическую машину), предназначенную для поднятия вверх «термометров и других малых инструментов метеорологических». И сегодня учение о методах исследования свободной атмосферы называют аэрологией.

Радиолокация базируется на свойствах распространения радиоволн в однородной среде по определенным траекториям с известной скоростью, что дает возможность направление на цель и расстояние до цели.

Радиолокационные наблюдения и измерения используются для оценки условий распространения, рассеяния и поглощения радиоволн в тропосфере. Стремительное развитие и применение методов радиолокации в практику аэрологических и метеорологических исследований объясняется следующим, таблица 2.1:

Таблица 2.1

• гораздо большим охватом дальностей видения и объемов пространства, чем при визуальной оценке;
• не превышающем нескольких десятков секунд временем, необходимым для получения общей картины распределения метеоэлементов, находящихся в пределах видимости локатора;
• возможностью получения как вертикальных, так и горизонтальных разрезов атмосферы, в пределах радиуса действия станции;
• способностью проведения измерений и наблюдений характеристик метеобъектов в течении длительного времени;
• нет ограничений временем суток.

Особое внимание, в этой связи, уделяется исследованию влияния метеорологических условий на радиолокационное обнаружение целей. Для радиолокационных станций, работающих в метровом и дециметровом диапазонах волн, это влияние, вследствие рефракции, сказывается на дальности обнаружения целей. Для радиолокационных станций с сантиметровыми и миллиметровыми диапазонами, некоторые метеорологические условия вызывают значительное ослабление радиоволн (например, отражение от осадков).

2.1 Атмосфера и ее электрические параметры

Атмосфера – газообразная оболочка Земли, она простирается до высот порядка 20000 километров и вращается вместе с Землей как единая система. Основу состава атмосферы представляют собой: азот (почти 78%), молекулярный кислород (21%), аргон (0.93%), углекислый газ (0.03%), а также водород, метан и незначительное количество других газов. Плотность атмосферы N_a на данной высоте над уровнем моря – число молекул газов, содержащихся в см^3 воздуха:

$$N_a = \frac{p}{kT}, \quad (2.1)$$

Где

p – атмосферное давление,

k – постоянная Больцмана,

T – постоянная температура.

При постоянной температуре плотность атмосферы изменяется так же, как и давление. Но если учесть, что и состав воздуха, и температура меняются с высотой, это дает отклонение распределения давления и плотности атмосферы от значений, даваемых барометрической формулой.

$$p = p_0 \exp(- Mgh / RT) \quad (2.2)$$

где

p_0 – давление у поверхности земли,

M – молекулярный вес газа,

g – ускорение силы тяжести у поверхности Земли,

h – высота над поверхностью Земли,

R – универсальная газовая постоянная.

Исследуя влияние атмосферы на распространение радиоволн, обычно рассматривают три области, различающиеся по высоте: тропосферу, стратосферу и ионосферу. Электромагнитные волны распространяются в неоднородной среде – тропосфере, поэтому дальность радиолокационного обнаружения целей зависит от рефракции. Вертикальное и пространственное распределение коэффициента преломления воздуха, рисунок 2.1, зависящего, в свою очередь, от изменения плотности воздуха с высотой и содержания в нем водяного пара, определяет траекторию распространения этих волн. Изменения в пространственном распределении коэффициента преломления, траектории радиоволн и дальности радиолокационного изменения вызываются, в свою очередь, большой временной и пространственной изменчивостью вертикального изменения влажности и температуры в нижних слоях атмосферы.

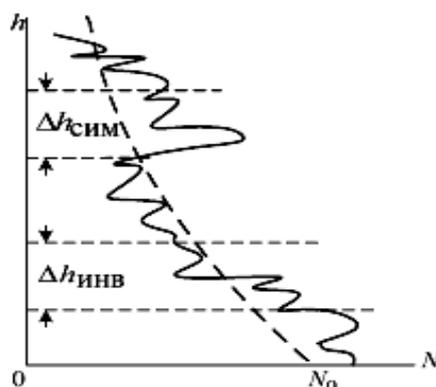


Рисунок 2.1 – Высотный профиль индекса преломления.

От электрических параметров атмосферы как среды, характера их распределения и поведения в пространстве и времени, зависят особенности распространения радиоволн. К таким параметрам относят: относительная диэлектрическая ε (согласно измерениям и подсчетам близка к единице) и магнитная μ (принимается равной единице) проницаемости, удельная электропроводность γ (равна нулю), полная плотность тока, имеющая две составляющих (смещения и поляризации). Так же, при изучении распространения радиоволн, используют такой радиофизический параметр как коэффициент преломления n .

Относительную диэлектрическую проницаемость атмосферы, можно выразить в виде: $\varepsilon = 1 + k_\varepsilon$, если рассматривать тропосферу как изотропную среду, которая состоит из смеси паров воды и сухого воздуха.

Здесь k_ε - диэлектрическая восприимчивость среды (диэлектрической восприимчивости сухого воздуха, характеризующей токи смещения, и диэлектрической восприимчивости паров воды, характеризующей токи поляризации).

2.2 Рефракция радиоволн в тропосфере. Виды рефракции

Огромное влияние на процессы распространения волн оказывает атмосферная рефракция. То есть в связи с диэлектрической неоднородностью атмосферы, электромагнитные волны распространяются не прямолинейно, а криволинейно.

Рефракция называется *астрономической*, если визируемая точка находится вне атмосферы, а в обратном случае, если визируемая точка находится в пределах атмосферы, рефракцию называют *земной*.

Учитывая, что индекс рефракции уменьшается с высотой (нормальная тропосфера), рассмотрим механизм возникновения рефракции. Разбив условно по высоте всю толщу тропосферы на бесконечное число сферических сло-

ев, в пределах каждого из которых диэлектрическая проницаемость рассматривается как постоянная величина, видим, что в каждом отдельном слое траектория волны прямолинейна, а преломление ее происходит при переходе от слоя к слою. В связи с тем, что диэлектрическая проницаемость убывает с высотой, то отклонение траектории волны происходит в направлении границы раздела слоев, а если число разбитых слоев увеличить до бесконечности, то эта траектория будет представлять собой плавную кривую.

Таким образом, уравнение траектории волны в сферически неоднородной среде имеет вид:

$$(a + h)n(h) \sin \phi(h) = (a + h_0)n(0) \sin \phi_0 \quad (2.3)$$

где $n(h) = \sqrt{\varepsilon(h)}$ – коэффициент преломления на высоте h .

При условии, что профиль индекса рефракции для приземного слоя тропосферы описывается линейной зависимостью, то траектория волны имеет радиус ρ , определяемый вертикальным градиентом индекса рефракции, и выражается почти дуговой окружностью:

$$\rho = \frac{10^6}{-\frac{\partial N}{\partial h}} \quad (2.4)$$

Поскольку градиент N в нормальной тропосфере равен -0.04 N-ед/м, то $\rho = 25 \times 10^6$ м (25000 км).

Но профиль индекса рефракции, под влиянием различных метеорологических условий, может значительно отличаться от стандартного профиля. Поэтому различают несколько типичных видов тропосферной рефракции, рисунок 2.2.

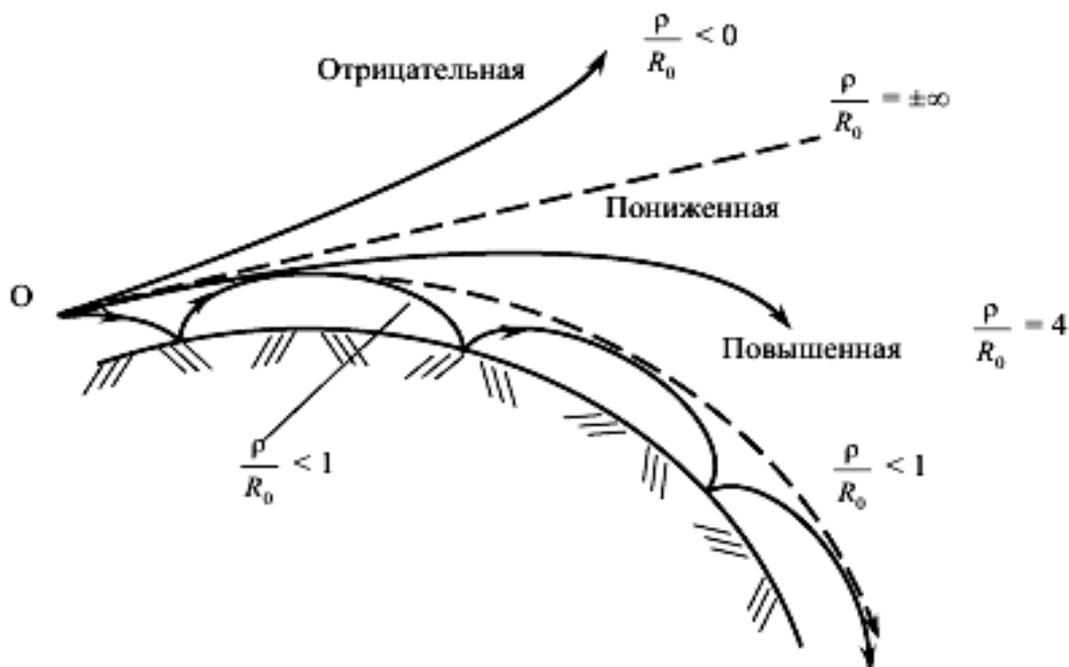


Рисунок 2.2 – Классификация видов рефракции радиоволн в тропосфере по величине отношения радиуса кривизны луча ρ к радиусу земли R_0 .

Они подчиняются классификации по величине и знаку градиента индекса рефракции (диэлектрической проницаемости, коэффициента преломления):

- отрицательная (или субрефракция) – при $\frac{\partial N}{\partial h} > 0$, когда радиус кривизны траектории волны ρ отрицателен. Траектория в этом случае расположена выпуклостью вниз, а эквивалентный радиус Земли меньше истинного радиуса;
- при $\frac{\partial N}{\partial h} = 0$ – отсутствие рефракции, радиус кривизны траектории волны ρ стремится к бесконечности, а траектория волны прямолинейна. Эквивалентный радиус равен истинному.
- положительная – при $\frac{\partial N}{\partial h} < 0$, радиус кривизны траектории волны положителен, а траектория расположена выпуклостью вверх;

Если рассматривать положительную рефракцию, то она подразделяется, в свою очередь, таким образом:

нормальную.

- когда $\frac{\partial N}{\partial h} = -0.04 N - \text{ед/м}$, эквивалентный радиус Земли $a, \approx 8500$ км;

повышенную.

- когда $-0.157 N - \text{ед/м} < \frac{\partial N}{\partial h} < -0.04 N - \text{ед/м}$, эквивалентный радиус Земли больше 8500 км;

пониженную.

- когда $-0.04 N - \text{ед/м} < \frac{\partial N}{\partial h} < 0$, эквивалентный радиус больше истинного, но меньше 8500 км;

При положительной рефракции, траектория волны приближается к поверхности Земли. Увеличивается дальность действия наземных радиотехнических систем. Такие виды рефракции обычно характерны для тропосферы.

критическую.

- когда $\frac{\partial N}{\partial h} = -0.157 N - \text{ед/м}$, при этом радиус траектории волны равен истинному радиусу Земли, эквивалентный радиус равен бесконечности;

Критическая рефракция характерна тем, что волны распространяются на сколь угодно большие расстояния параллельно поверхности Земли (если пренебрегать влиянием других факторов). Такой вид рефракции практического значения не имеет, так как условия для ее возникновения, а тем более существование на всей трассе, встречаются крайне редко.

сверхрефракцию.

- когда $\frac{\partial N}{\partial h} < -0.157 N - \text{ед/м}$, при этом радиус траектории волны меньше радиуса Земли, эквивалентный радиус отрицателен.

Для сверхрефракции характерно то, что практически вся энергия электромагнитной волны сосредотачивается в слое тропосферы, concentричном относительно земной поверхности. В связи с этим распространение радиоволн при сверхрефракции принято называть волноводным распространением, рисунок 2.3.

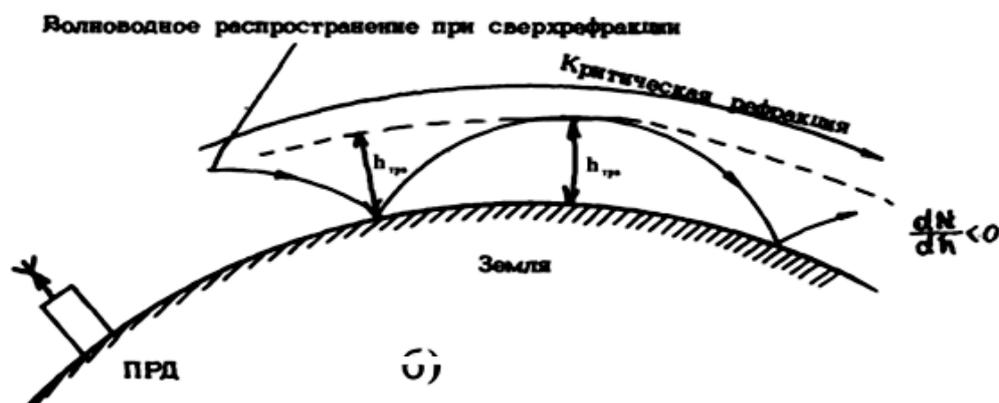


Рисунок 2.3 – Волноводное распространение радиоволн при сверхрефракции.

Чаще всего такое распространение радиоволн появляется над обширными акваториями океанов и морей, что происходит из-за резкого изменения влажности с увеличением высоты, либо из-за переноса теплых воздушных масс с суши на море. Так же такое возможно и при температурных инверсиях над сушей. Они появляются после захода солнца в результате резкого охлаждения земной поверхности. Суть этого физического процесса заключается в том, что при стремительном падении индекса рефракции на какой-то высоте над поверхностью земли, создаются условия, при которых происходит полное внутреннее отражение электромагнитной энергии и радиоволна возвращается обратно к поверхности с последующим отражением от нее. Повторение этих процессов неоднократно, приводит к сверхдальному распространению радиоволн, что, в свою очередь, может иметь как положительное (уве-

личение дальности радиотехнических систем), так и отрицательное значение (взаимные помехи в радиосистемах, работающих близких или одинаковых радиочастотах).

2.3 Затухание радиоволн в тропосфере

Ослабление уровня сигнала в процессе распространения радиоволн вызывает присутствие в тропосфере Земли молекул воздуха; гидрометеоров, к которым относятся снег, дождь, туман, град; паров воды; частиц пыли, поднятой с поверхности. Обычно рассматриваются такие механизмы ослабления, как *поглощение* и *рассеяние*.

При *поглощении* энергия электромагнитной волны преобразуется в тепловую энергию, при *рассеянии* же перераспределяется в пространстве в отличных от заданного направлениях. Значительную величину ослабления в атмосфере имеет лишь в диапазонах сантиметровых, миллиметровых и оптических волн [4].

Наибольшее же затухание радиоволн происходит в дождях и туманах. Это легко объяснить тем, что в каждой капле поле радиоволны вызывает появление тока поляризации. Ток поляризации, в свою очередь, приводит к тепловым потерям энергии, а также является источником вторичного рассеянного излучения. Затухание имеет зависимость от длины волны электромагнитного излучения и интенсивности осадков (например, укорочение длины волны и увеличение интенсивности осадков приводит к усилению затухания).

Дополнительное поглощение, связанное с механизмом резонансного взаимодействия радиоволн с молекулами воды и кислорода на частотах, близких к частотам собственных колебаний, появляется в диапазонах миллиметровых и оптических радиоволн. При таком механизме поглощения, энергия волны вызывает изменение энергетического состояния молекул и атомов. Но этот эффект имеет избирательный характер, то есть поглощение в газах,

может носить нерезонансный характер, связанный с преодолением сил трения молекул, обладающих электрическим и магнитным моментами и совершающих вынужденные колебательные движения под воздействием поля волны.

Представим величину множителя ослабления радиоволн в тропосфере, где:

E – напряженность поля в реальных условиях;

E_0 – напряженность поля в свободном пространстве;

$a(r)$ – множитель ослабления на единицу длины в каждой точке траектории волны;

r – путь, пройденный волной в тропосфере.

В виде:

$$|V| = \frac{|E|}{|E_0|} = e^{-\int_0^r a(r) dr} \quad (2.5)$$

Множитель ослабления $a(r)$ представляет собой суперпозицию двух величин – множителя ослабления в газах, и множителя ослабления в гидрометеорах:

$$a(r) = a_g(r) + a_{zm}(r) \quad (2.6)$$

Выражаем отсюда следующее:

$$|V|_{[\partial B]} = \gamma_g \times r_g + \gamma_k \times r_k \quad (2.7)$$

где:

$\gamma_g \gamma_k$ – погонное ослабление в парах воды и кислороде соответственно;

$r_g r_k$ – эффективные длины пути радиоволны в парах воды и кислороде соответственно.

Множитель ослабления в гидрометеорах:

$$|V_z|_{[\partial B]} = \gamma_\partial \times r_\partial \quad (2.8)$$

где:

γ_∂ – погонное ослабление в дожде;

r_∂ – эффективный путь радиоволны в дожде.

Соответственно то, что эффективные длины путей зависят от истинных длин угла наклона траектории радиоволны по отношению к плоскости горизонта, очевидно.

3 Описание пункта наблюдений



Рисунок 3.1 – Расположение Аэрологической станции Алдан на физической карте России.

Станция Алдан (рисунок 3.1 и 3.2) была организована 4 апреля 1926 года в, тогда еще, поселке-прииске Незаметном, позднее получившем статус города и переименован в Алдан. В годы Великой Отечественной войны станция обслуживала воздушную линию Уэлькаль-Красноярск. И сейчас обеспечение авиации метеоинформацией остается приоритетным, в воздушном пространстве над районом проходит международная авиатрасса.

Со времени образования спектр наблюдений заметно расширился: с 1931 года добавились агрометеорологические наблюдения, в 1944 – аэрологические, в 1956 – актинометрические и уже в 1963 – радиометрические.

Станция расположена в местности, имеющей сглаженный горный рельеф с отдельными, беспорядочно разбросанными холмистыми грядами и сопками, достигающими высоты 900 – 1000м над уровнем моря.



Рисунок 3.2 – Здание Аэрологической станции Алдан, на первом плане вентилируемая будка А51-1.

Координаты станции:

- широта 58 градусов, 36 минут, 14 секунд
- долгота 125 градусов, 23 минуты, 45 секунд.

Высота нуля барометра над уровнем моря 679,143 м. Направление господствующих ветров 220 – 230 градусов.

Растительность в данной местности, в основном хвойных и лиственных пород, кустарник карликовой березы. Крупные водные объекты в радиусе 5 км отсутствуют. Почва суглинистая, в смеси с камнем.

С февраля 1944 года по август 1957 года существовал пункт радиозондирования при АМСГ г. Алдан, затем организована аэрологическая станция 2го разряда на базе пункта радиозондирования. В 90-х годах произошло объединение аэрологической группы с оперативной группой (АМСГ). И, наконец, в марте 2000 года оперативную группу объединили с метеогруппой и станция стала называться: «Аэрологической станцией Алдан».

За весь этот период были применены следующие системы зондирования атмосферы, таблица 3.1

Таблица 3.1 – Системы зондирования, использованные на АЭ Алдан

• 02. 1944-09. 1957 г. – пункт радиозондирования;
• 09. 1957-01.1962 г. – р/т «Малахит» – РЗ-049;
• 02. 1962-12. 1973 г. – р/т «Малахит» – А-22;
• 12. 1973-06. 1986 г. – РЛС «Метеорит-2» – РКЗ-5;
• 06. 1986-10. 1990 г. – РЛС «Метеорит-2» – МАРЗ-2-2;
• с 1990 г – РЛС АВК-1 «Титан» – МРЗ-ЗА.

АЭ Алдан является станцией международного обмена, входит в Список Глобальной Системы Наблюдений за климатом.

3.1 Радиолокационная станция АВК-1

В настоящее время на АЭ Алдан применяется модернизированный до АП вариант системы АВК-1 («Титан») – специализированный информационно-вычислительный комплекс, в состав которого входят наземная радиолока-

ционная станция со специальным компьютерным устройством и радиозонд типа МРЗ-3А [5].

Комплекс АВК-1 обеспечивает, таблица 3.2

Таблица 3.2 – Функции АВК-1

• предполетную проверку радиозонда;
• автоматическое сопровождение радиозонда в полете;
• прием и обработку метеорологической и радиолокационной информации;
• выдачу аэрологических телеграмм по коду КН-04 и КН-03, «Приземный слой» и «Слой».

Аппаратура АВК-1 построена на принципе радиолокационного измерения координат с автоматическим сопровождением радиозонда с использованием совмещенного радиоканала для передачи телеметрической и радиолокационной информации. В сравнении с предыдущими поколениями у АВК-1 сокращена импульсная мощность передатчика, что позволяет уменьшать электропотребление, а также уменьшить радиус санитарно-защитной зоны. В АВК-1 отсутствует режим сопровождения пассивных мишеней (угловых отражателей), что позволило снизить мощность передатчика, работающего только с активной мишенью и активным ответом.

Измерение наклонной дальности в АВК-1 осуществляется методом вторичной радиолокации. Дальность радиозонда определяется по времени между запросным импульсом РЛС и ответом радиозонда.

С помощью системы автосопровождения обеспечивается возможность авто-захвата цели при его старте непосредственно с места выпуска. Применяется круговая поляризация для уменьшения замираний в приеме сигнала. Диаграмма направленности отклонена от электрической оси антенны на 6.5° и вращается с частотой 37 Гц, информацию об угловых отклонениях зонда

определяют по огибающей сигнала, а именно по амплитуде определяют величину, а направление по фазе.

Комплекс (рисунок 3.3) содержит следующие системы, таблица 3.3.

Таблица 3.3 – Состав комплекса АВК-1

• передающую – ЩТ-10;
• Антенно-фидерную (АФС) – ЩТ-20;
• приёмную – ЩТ-30;
• отображения информации (СОИ) – ЩТ-40;
• определения координат (СОК) – ЩТ-50;
• обработки и управления (СОУ) – ЩТ-60;
• управления антенной (СУА) – ЩТ-70;
• автоматического контроля (САК) – ЩТ-90;
• электропитания (СЭП) – ЩТ-80.

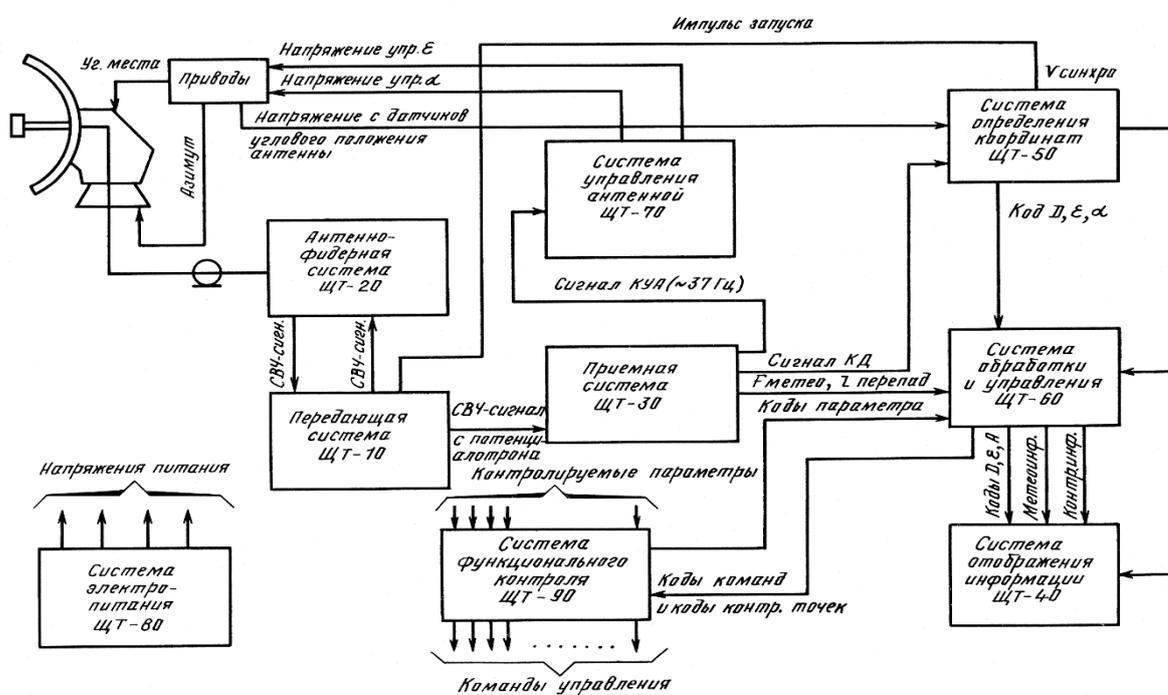


Рисунок 3.3 – Структурная схема АВК-1.

Передающая система (ЩТ-10) формирует короткие радиоимпульсы СВЧ (запросный импульс).

Антенно-фидерная система (ЩТ-20) предназначена для передачи СВЧ запросных импульсов к антенне которая, в свою очередь, излучает эту энергию, а также принимает сигнал от радиозонда. Для получения кругового сканирования диаграммы направленности антенны и, соответственно, обеспечения автоматического сопровождения цели по угловым координатам используется специальная конструкция вращающегося спирального излучателя.

Приёмная система (ЩТ-30) преобразует принятый антенной сигнал радиозонда, усиливает его до необходимого уровня для устойчивой работы всех систем.

Система определения координат (ЩТ-50) используется для определения дальности до радиозонда, углового положения антенны по азимуту и углу места и передачи этих значений в цифровом коде в систему обработки и управления. А также формирует синхронизирующие импульсы для передающей системы.

Система управления антенной (ЩТ-70) предназначена для размещения положения антенны по углу места.

Предусмотрены следующие режимы работы антенны:

- – режим ручного управления, используемый для наведения антенны на радиозонд перед переходом на автоматическое сопровождение;
- – режим автоматического сопровождения, используемый для определения координат в процессе полёта радиозонда методом равносигнальной зоны.

Значения азимута и угла выводятся на экран видеоконтрольного устройства в двух формах: цифровой и аналоговой.

Назначение системы отображения информации (ЩТ-40) – выводить информацию на видеоконтрольное устройство (ВКУ), а также на принтер и телетайп.

Система обработки и управления (ЩТ-60) предназначена для обработки радиолокационных и телеметрических данных и, а также управляет работой системы комплекса.

СОУ решает следующие задачи:

- обрабатывает радиолокационные координаты и метеорологические параметры;
- производит вычисление метеорологических величин в соответствии с задачей зондирования;
- подготавливает аэрологические телеграммы КН-03, КН-04, «Слой», «Приземный слой», «Шторм»;
- обрабатывает и выдаёт в систему отображения всей отображаемой и регистрируемой радиолокационной и метеорологической информации;
- вырабатывает команды по включению, изменению и выключению режимов систем комплекса в процессе подготовки и проведения зондирования атмосферы;
- – обеспечивает совместно с системой автоматического контроля функциональный контроль аппаратуры комплекса.

Назначение системы автоматического контроля (ЩТ-90) – обеспечение функционального контроля основных параметров аппаратуры комплекса и вывода этой информации по системно на экран ВКУ.

Система электропитания (ЩТ-80) обеспечивает все системы аппаратуры необходимым напряжением питания [7,8].

Комплекс АВК-1 имеет следующие основные характеристики, таблица 3.4:

Таблица 3.4 – Характеристики РЛС АВК-1

– дальность автоматического сопровождения радиозонда (км)	300;
– максимальная высота зондирования (км)	(40-50);
– максимальные ошибки измерения координат радиозонда:	

– наклонной дальности (м)	30;
– угловых координат	7.2';
– диапазон несущей частоты передатчиков РЛС (МГц)	1782±10;
длительность излучаемых импульсов запросного сигнала:	
– мощного передатчика (мкс)	1.1;
– маломощного передатчика (мкс)	0.5;
– частота повторения запросного сигнала (кГц)	457;
– ширина диаграммы направленности	6,5°;
– угол отклонения максимума диаграммы направленности от геометрической оси антенны (ду)	00-30;
– частота кругового сканирования ДН (Гц)	37;
– чувствительность приёмной антенны (дБ/Вт)	-127;
электропитание комплекса:	
– напряжение (В)	220;
– частота (Гц)	400, 50;
– потребляемая мощность (кВт)	8.



Рисунок 3.4 – Общий вид АВК-1 в рабочем помещении.

вательно–параллельное выполнение следующих функций, таблица 3.5:

Таблица 3.5 – Функции выполняемые в АВК-1

• обработка данных и команд, введенных вручную;
• управление работой аппаратуры АВК-1, обеспечивающей автоматическое сопровождение радиозонда и надежный прием исходной координатно-телеметрической информации;
• выдача в системе обработки информации ЦТ-40 служебной информации, характеризующей режим работы комплекса АВК-1, появление сбойных ситуаций и др.;
• обработка текущей координатной информации и вычисление первичных значений прямоугольных координат;
• обработка телеметрической информации радиозонда и вычисление значений температуры и влажности;
• расчет текущих значений температуры, относительной влажности, давления, скорости и направления ветра;
• вычисление метеорологических величин на стандартных и изобарических поверхностях, поиск и вычисление характеристик особых точек и тропопазы;
• выдача на печать АЦПУ результатов обработки;
• формирование и выдачу на телетайп аэрологических телеграмм КН-04 (ТЕМП) или КН-03 (ПИЛОТ).

Алгоритмы автоматической обработки данных имеют циклический характер и выполняются с прерываниями, обусловленными необходимостью одновременного выполнения различных вычислительных операций в реальном масштабе времени в условиях ограниченных возможностей А-15А.

Для повышения надежности первичной информации проводится фильтрация входной координатно-телеметрической информации в форме случай-

ной функции времени с учетом информационной избыточности сигнала радиозонда.

Алгоритм выделения и идентификации входных телеметрических данных основан на наличии априорных сведений о временной последовательности чередования канальных интервалов при передаче информации радиозондом. Канальным интервалом называется время передачи одного типа частоты: опорной, температурной или влажностной; период последовательной передачи четырехканальных интервалов частот (опорная – температурная – влажностная – температурная) называется циклом. Для более точной оценки используются методы статистической обработки входных данных в условиях малого отношения сигнала к шуму при длительных и глубоких замираниях сигнала и удалениях до 250 – 300 км.

Телеметрическая информация в виде значений длительностей периодов Q и импульсов метеочастот поступает в ОЗУ от преобразователя частот через селекторный канал. Вначале ведется поиск импульсов опорной частоты для определения начала цикла, затем производится разделение информации температурного и влажностного каналов и определение средних значений периодов в пакете и в канальном интервале. Пакет телеметрической информации включает 32 периода частоты. Они могут быть однородными (содержать импульсы и периоды повторения одного типа), либо смешанными (содержать импульсы и периоды повторения двух типов) при смене канальных интервалов внутри пакета.

Основной результат работы алгоритма обработки координат – высота, определяемая во времени, к которой привязываются в дальнейшем все метеорологические величины, а также скорость и направление ветра. Выходными параметрами программ обработки координат являются тройки прямоугольных координат X_j, Z_j, H_j и соответствующее им время.

Координатная информация, поступающая в ОЗУ с датчиков координат через МПК, обрабатывается в два этапа. Первичная обработка включает проверку текущих значений координат на достоверность, осреднение за 1 с и

сглаживание. Если от координатных датчиков АВК-1 поступает бракованный сигнал в течение более 5 с, такая ситуация квалифицируется системой ПО как аппаратный сбой и на экране ВКУ перед идентификаторами сферических координат D, E, A (D – дальность, E – угол места, A – азимут) может появиться символ “*” (недостоверные данные). Символ “*” на экране ВКУ появляется перед идентификатором D только при сбросе счетчика на 0. Перед идентификатором E символ “*” появляется в тот момент, когда антенна находится на верхнем или нижнем упорах. В функцию первичной обработки, кроме проверки на допустимость, входят, таблица 3.6:

Таблица 3.6 – Функции первичной обработки

<ul style="list-style-type: none"> • вычисление координат точки выпуска в режимах работы и индикация их на экран;
<ul style="list-style-type: none"> • выдача текущих значений координат на экран;
<ul style="list-style-type: none"> • вычисление и индикация на экран высоты радиозонда в режиме работы “Подготовка”;
<ul style="list-style-type: none"> • подготовка данных для обработки ветра.

Первый этап обработки координат кончается получением с дискретностью 4 раза в секунду тройки сферических координат D, E, A, прошедшие контроль на допустимость.

На втором этапе один раз в секунду система ПО производит вычисление, таблица 3.7:

Таблица 3.7 – Функции вторичной обработки

<ul style="list-style-type: none"> • прямоугольных координат и их сглаживание;
<ul style="list-style-type: none"> • вертикальной скорости подъема радиозонда;
<ul style="list-style-type: none"> • проверку на достоверность вычисленных значений высоты.

Если вертикальная скорость подъема более 15 м/с, на экране ВКУ перед идентификатором высоты Н появится символ “*”, недоверное значение не используется в обработке.

При сбоях в работе аппаратуры и при недопустимых значениях координат модуль вторичной обработки координат, таблица 3.8

Таблица 3.8 – Функции вторичной обработки при сбоях

• определяет количество пропущенных координат;
• восстанавливает их;
• производит усреднение координат за секунду;
• осуществляет сглаживание сферических координат;
• вычисляет прямоугольные координаты и сглаживает их.

Восстанавливаются все пропущенные или недопустимые значения координат в пределах 5 с. Если пропуск длится более 5 с, координаты не восстанавливаются.

При усреднении координат каждые четыре значения по каждой из координат усредняются и относятся к текущей секунде, значение которой берется из счетчика секунд. Полученные усредненные значения сглаживаются. Для сглаживания выбрана двух-шаговая схема усреднения соседних по времени элементов.

Скорость и направление ветра система ПО вычисляет по значениям прямоугольных координат X_j , Z_j , H_j в зонах обработки, толщина которых в слое от Земли до 6000 м включительно составляет 200 м, в слое свыше 6000 м до 14000 м включительно составляет 400 м и свыше 14000 м составляет 800 м. Точно зафиксировать время получения значения верхней границы зоны трудно, поэтому используется некоторая окрестность вблизи верхней границы, которая до 6 км составляет 20 м, а выше – 40 м. Сначала фиксируется момент вхождения радиозонда в окрестность снизу. Если при последующих включениях текущая высота лучше приближает верхнюю границу, то в

качестве времени достижения верхней границы запоминается время ее получения. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не получится наиболее приближенное в верхней границе значение высоты. Соответствующее данной высоте время и прямоугольные координаты и используются для расчетов [6].

3.3 Работа АВК-1 с использованием аэрологического процессора

СЦВМ АВК-1 имеет жестко “защитую” программу, что существенно ограничивает возможности комплекса в отношении обработки данных радиозондирования. Аэрологический процессор (АП), разработанный на базе IBM-совместимого компьютера, заменяет СЦВМ в АВК-1 и позволяет оперативно переходить на более совершенные методы обработки данных и работать с новыми типами радиозондов. АП полностью обеспечивает управление работой комплекса при проведении радиозондирования, включая управление передатчиком, приемником, антенной, а также регистрирует телеметрическую информацию, обрабатывает и выдает таблицу результатов радиозондирования и аэрологическую телеграмму.

Установка АП не требует изменений и доработок в АВК-1. СЦВМ и связанные с ней блоки обесточиваются.

Структурная схема АП приведена на рисунке 3.6.

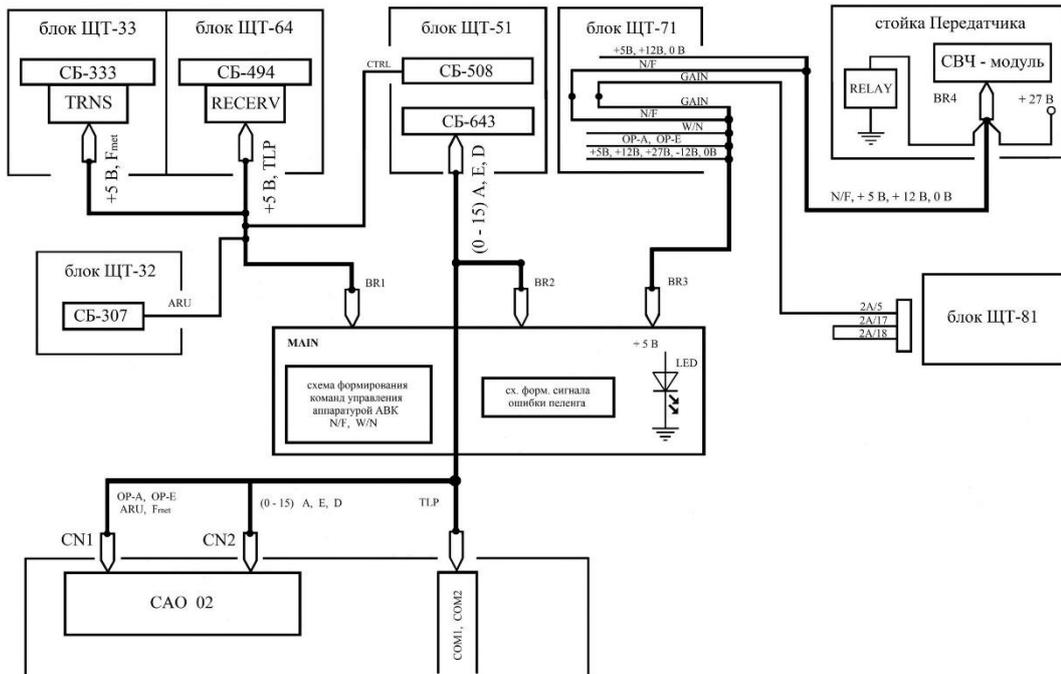


Рисунок 3.6 – Структурная схема АП.



Рисунок 3.7 – Общий вид АВК-1 с использованием АП.

АП выполняет следующие функции, таблица 3.9

Таблица 3.9 – Функции аэрологического процессора

• предполетную проверку радиозонда;
• определение координат и полетного времени радиозонда;
• первичную обработку телеметрической информации в реальном времени;
• сохранение на жестком диске ЭВМ первичной координатно–телеметрической информации для использования программ автоматической обработки при расчете температуры, влажности, давления, скорости и направления ветра на стандартных высотах, стандартных изобарических поверхностях и уровнях особых точек.

По параметрам принимаемой телеметрической информации АП совместим с радиозондами МРЗ-3А и МРЗ-3АМ.

Минимальная конфигурация и параметры системного блока ЭВМ, таблица 3.10:

Таблица 3.10 – Минимальные системные требования к ПК

• процессор Pentium 120,
• объем оперативной памяти 32 Мб,
• жесткий диск 2 Мб, гибкий диск 3,5 d,
• видеокарта SVGA 2 Мб,
• плата параллельного ввода–вывода,
• АЦП и факсмодемная плата.

Периферийные устройства ЭВМ: – монитор, принтер, клавиатура, мышь;

Математическое обеспечение: комплект программ, использующих программную среду Windows 98 и программные модули 1 Мб – HDD.

Параметры телеметрической информации представлены в таблице 3.11

Таблица 3.11 – Параметры телеметрической информации

• координаты радиозонда: азимут, угол места, дальность;
• частоты датчиков метеорологических величин радиозонда (последовательность метеорологических импульсов с выхода амплитудного детектора приемника АВК-1 амплитудой не менее 3В);
• диапазон измеряемых телеметрических частот от 100 до 10000 Гц;
• погрешность измерения телеметрической частоты не более 0.1 %;
• диапазон измеряемых длительностей импульсов телеметрической частоты от 10 до 1000 мкс;
• точность измеряемых длительностей импульсов телеметрической частоты не менее 1 %;
• способность работать при низком соотношении сигнала к шуму и обрабатывать слабые сигналы радиозондов с заниженной мощностью или при снижении чувствительности приемника АВК-1 (например, при старении потенциалотрона), что уменьшает количество неудачных выпусков.

Представление выходных данных, таблица 3.12

Таблица 3.12 – Выходные данные АП

• таблицы результатов радиозондирования ТАЭ-3;
• депеши КН-04 (ТЕМП) или КН-03 (ПИЛОТ).

Электропитание АП производится от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В. Потребляемая мощность – 0,3 кВт. На случай сбоев в электропитании АП снабжено бесперебойным источником питания.

При работе комплекса АВК-1 с АП сигнал радиозонда, принятый приемником РЛС, вводится непосредственно в ЭВМ и обрабатывается с помощью корреляционного анализа.

Аппаратно АП представляет собой магистрально–модульную систему на основе модулей промышленного стандарта ISA. Основным узлом в системе является процессорный модуль РЕАК–550 в составе процессора Pentium 120, оперативной и постоянной памяти, интегрированных в процессорный модуль систем ввода–вывода массовой памяти на основе жестких дисков IDE и коммуникационных СОМ портов.

Ввод–вывод в АП цифровых и позиционных сигналов производится модулем многоканального цифрового устройства L–032, а аналоговых сигналов – модулем многоканального аналого-цифрового устройства L–154, которые связаны с процессорным модулем пассивной объединительной панелью с ISA–шиной. Модуль L–154 вырабатывает также высокостабильные временные интервалы, используемые в работе универсального программного модуля обработки телеметрии радиозонда.

Цифровая система ввода АП представляет собой распределенный “кабельный” мультиплексор, состоящий из трех линий по 16 разрядов в одном канале, выходящий на 16 входных разрядов модуля L–032. Коды угла места, азимута и дальности передаются во времени по каналам от соответствующих преобразователей АВК-1. Управление каналом производится программно по трем выходным разрядам модуля L–032. Сигналы телеметрии подаются через кабельный мультиплексор непосредственно на один из входных разрядов модуля L–032. Позиционное управление аппаратурой АВК-1 производится релейными преобразователями с выходных разрядов модуля L–032.

Аналоговые сигналы “ошибки пеленга” системы сопровождения подаются через буферные “кабельные” усилители на два входа модуля L–154.

Схемное решение и временные характеристики системы сопряжения позволяют устанавливать процессорный блок АП на расстоянии 10–15 м от

модуля сопряжения при обязательном наличии общих с АВК-1 контуров рабочего и защитного заземления [5,9].

Вид рабочих окон программы «Эол» представлены на рисунках 3.7 – 3.11.

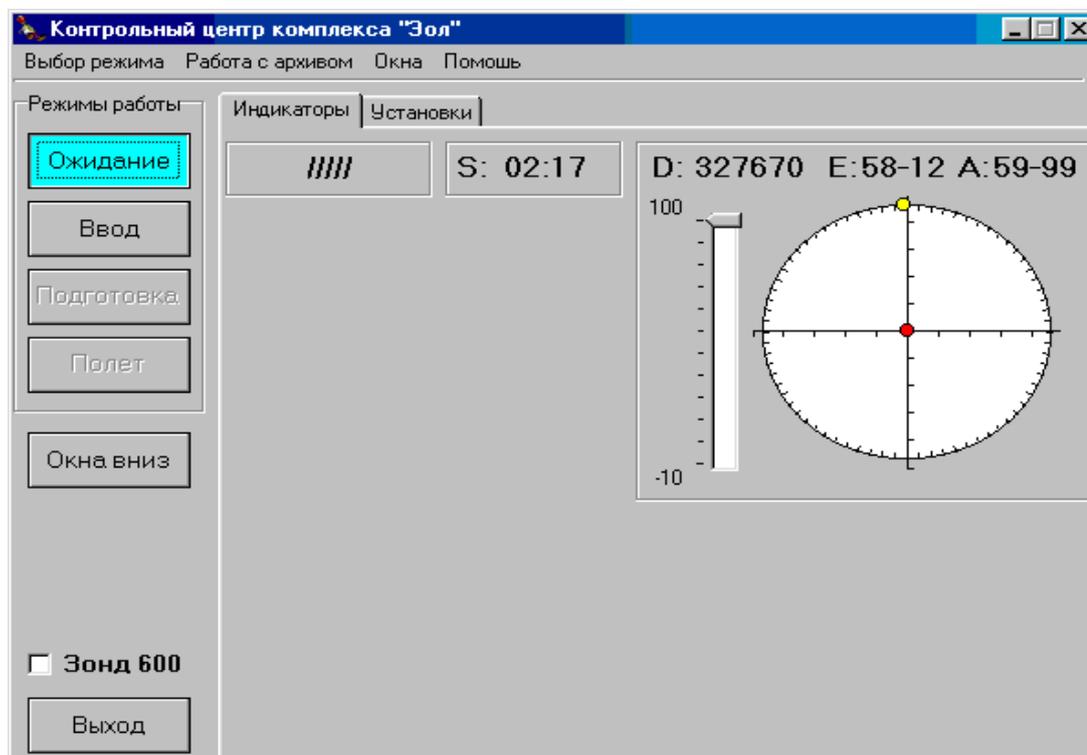


Рисунок 3.8 – Кадр рабочего экрана АП в режиме «Подготовка».

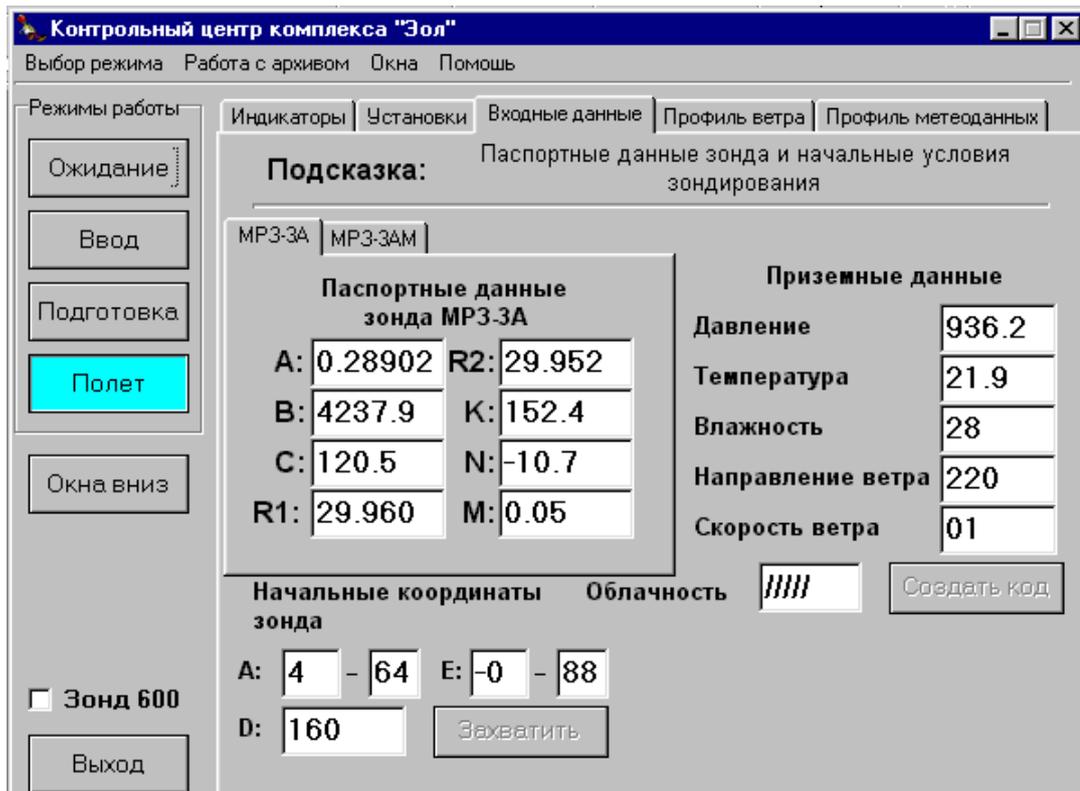


Рисунок 3.9 – Кадр рабочего экрана АП в режиме «Ввод данных».

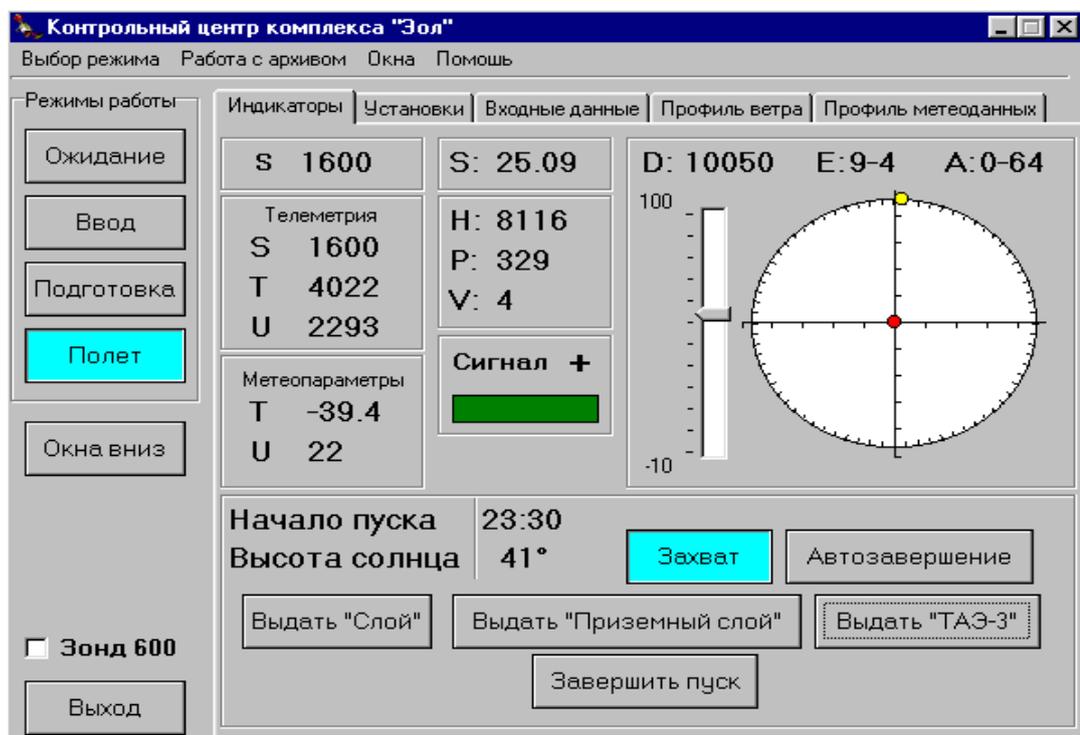


Рисунок 3.10 – Кадр рабочего экрана АП в режиме «Полет».

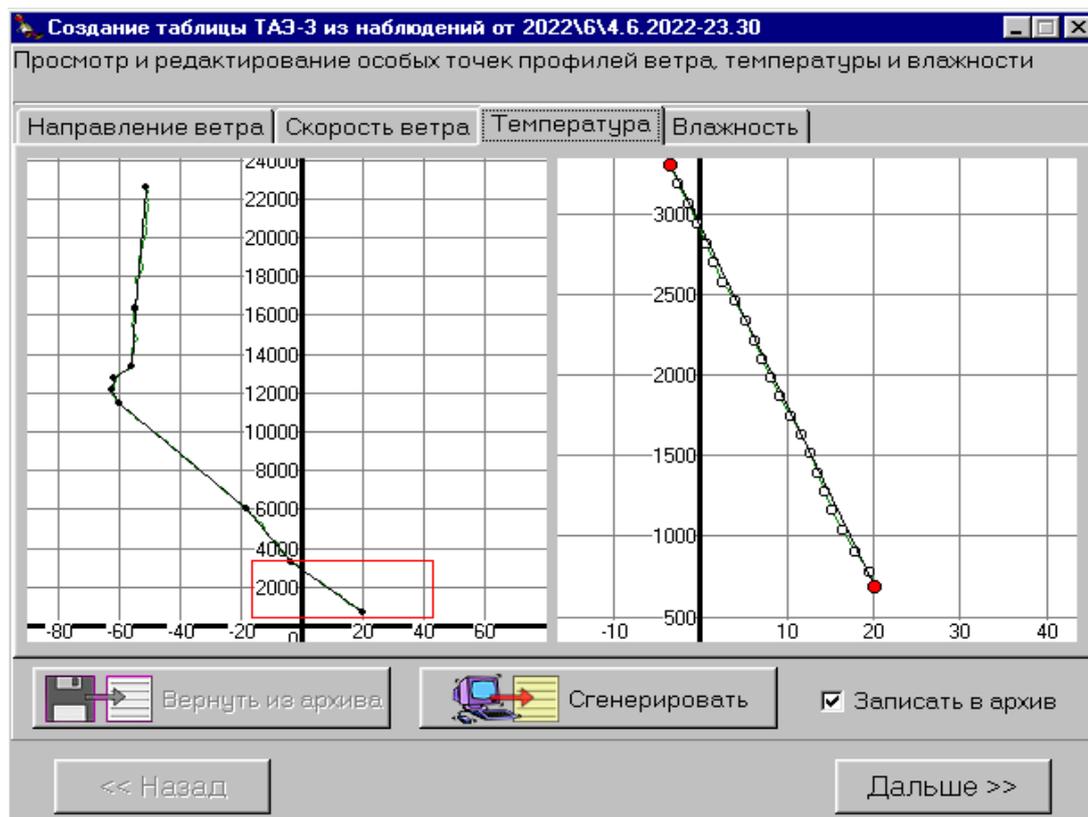


Рисунок 3.11 – Кадр рабочего экрана АП в режиме «Вывод данных».

3.4 Адаптация архива зондирования за 2021 год для проведения расчетов

Для начала работы были переведены исходные файлы результатов зондирования за 2021 год из текстового формата в формат EXEL. Для ускорения этой процедуры была использована программа Batch Text Replacer (рисунок 3.12).

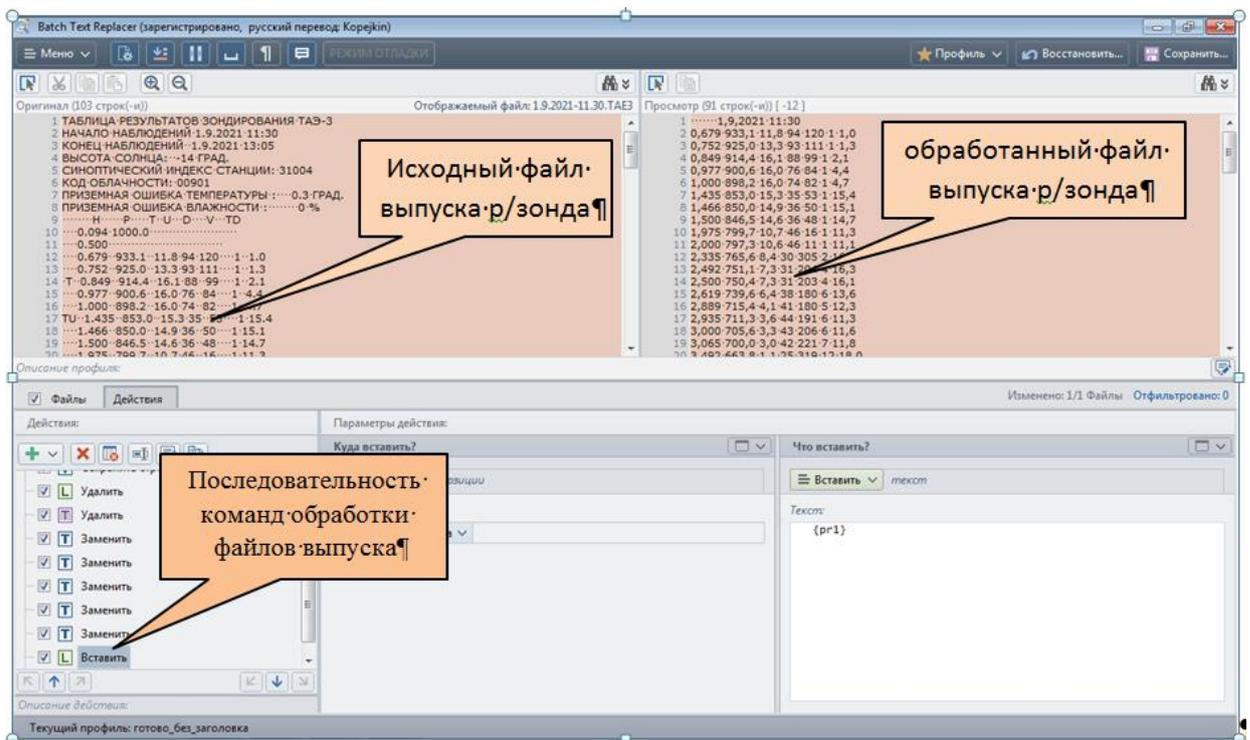


Рисунок 3.12 – Диалог окна программы Batch Text Replacer.

Данная программа дает возможность обработать текстовый файл, удалив из него ненужные в дальнейшей работе данные и упростив этим самым перевод в формат EXEL с помощью пакета программ Power Query. Этот пакет программ является составной частью MS Office (рисунок 3.13) и позволяет обрабатывать данные за весь месяц за один прием.

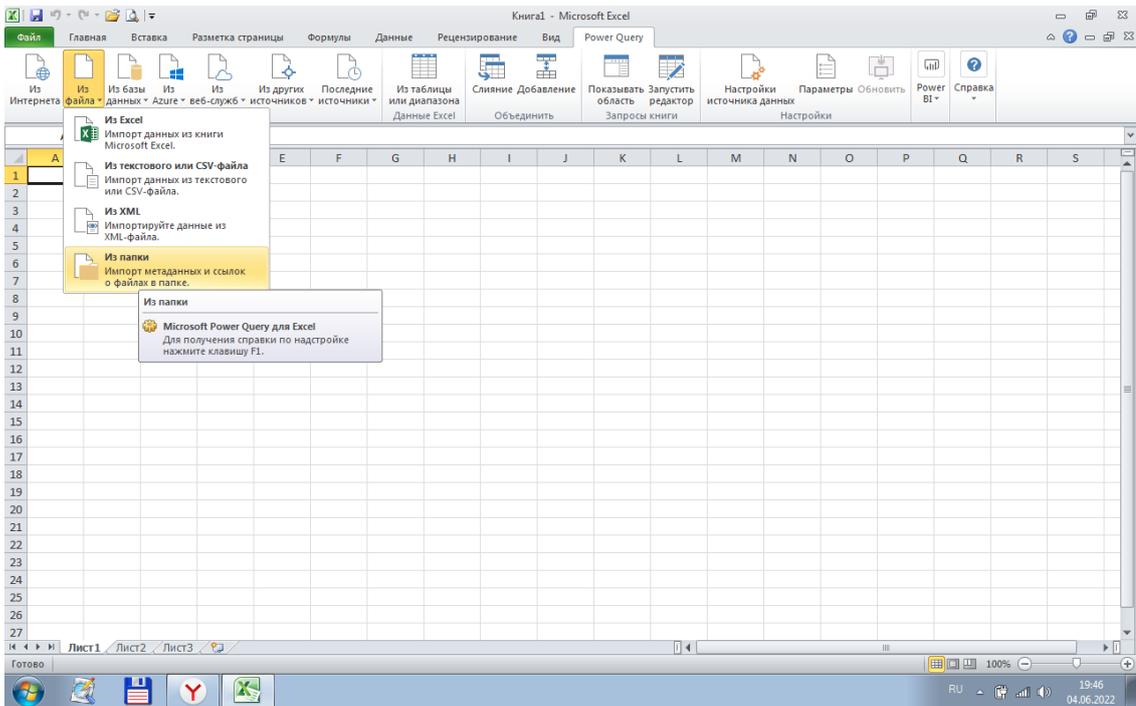


Рисунок 3.13 – Пакет программ Power Query MS Office EXEL.

Для этого достаточно указать путь к папке с месячными данными (рисунок 3.14).

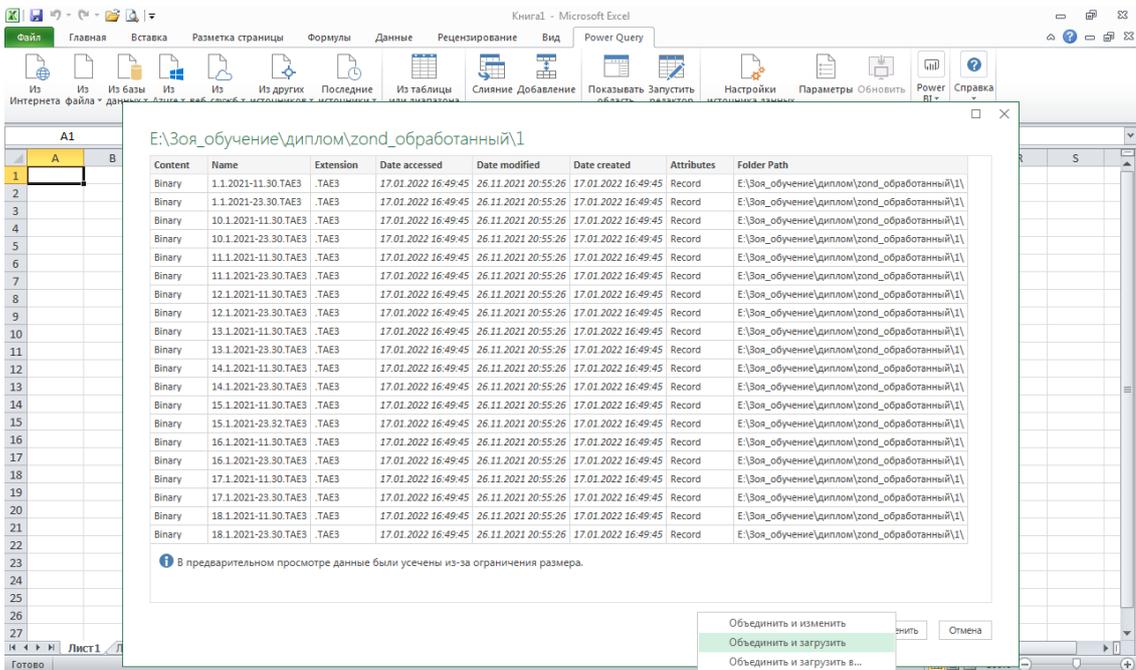


Рисунок 3.14 – Выбор данных из папки в Power Query MS Office EXEL.

Выбрав необходимые данные в окошках программы (рисунок 3.15).

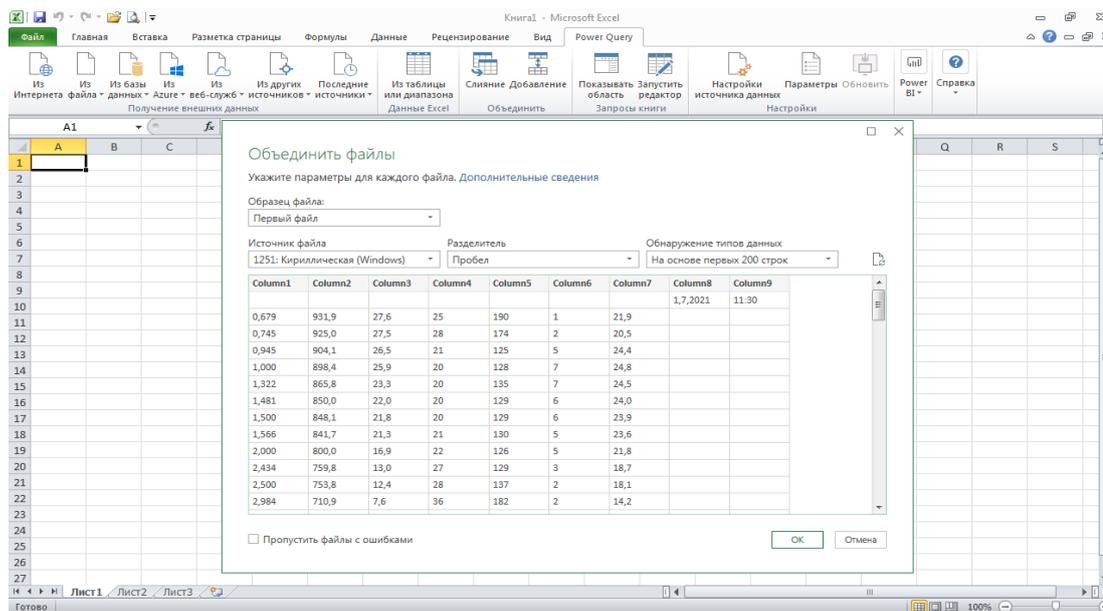


Рисунок 3.15 – Настройка программы Power Query для преобразования текстовых файлов в формат EXEL.

Получаем данные зондирования в таблице EXEL (рисунок 3.16).

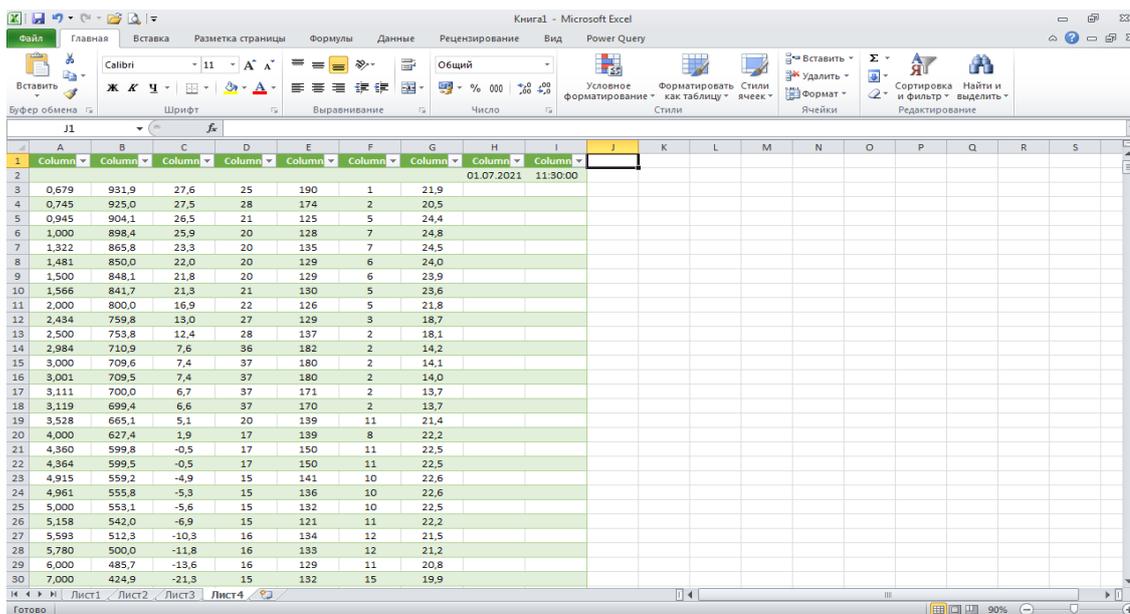


Рисунок 3.16 – Данные зондирования в таблице EXEL.

Таким образом, были обработаны результаты всех выпусков за 2021 год. Для удобства каждый месяц сформирован на отдельном листе (рисунок 3.17)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Н, км	Р, гПа	Т, С	F, %	д, град	в, м/с	Тд, С	Дата	Время	
2								01.01.2021	11:30:00	
3	0,679	938,2	-30,0	71	270	1	3,8			
4	0,780	925,0	-30,8	78	274	3	2,8			
5	1,000	896,5	-32,8	75	274	8	3,1			
6	1,024	893,5	-33,0	75	273	9	3,1			
7	1,174	874,5	-34,3	74	287	11	3,3			
8	1,372	850,0	-35,3	73	301	9	3,3			
9	1,414	845,0	-35,5	73	300	9	3,3			
10	1,500	834,5	-34,9	73	307	10	3,4			
11	1,536	830,3	-34,6	73	311	11	3,4			
12	1,749	805,5	-28,3	80	331	14	2,5			
13	1,773	802,9	-27,6	81	332	14	2,3			
14	2,000	777,8	-28,4	85	338	16	1,7			
15	2,010	776,8	-28,4	85	339	16	1,7			
16	2,110	766,0	-28,1	86	342	16	1,7			
17	2,382	737,3	-27,9	85	348	17	1,8			
18	2,500	725,4	-27,4	84	351	15	2,0			
19	2,560	719,3	-27,3	84	353	14	2,0			
20	2,697	705,7	-27,6	82	358	15	2,2			
21	2,756	700,0	-27,8	79	356	14	2,6			
22	3,000	676,5	-28,8	69	351	13	4,2			
23	3,745	609,0	-33,0	58	342	11	5,6			
24	4,000	587,2	-34,1	58	349	12	5,6			
25	4,837	520,4	-37,6	40	345	13	8,8			
26	5,000	508,3	-38,9	39	343	12	9,1			
27	5,043	505,1	-39,3	39	344	12	9,1			
28	5,112	500,0	-39,7	39	346	12	9,0			
29	6,000	438,3	-45,1	40	336	14	8,5			
30	6,605	400,0	-48,3	38	337	13	8,6			
31	7,000	376,5	-51,1	37	333	14	8,4			
32	7,862	329,1	-57,1	36	336	15	8,1			
33	8,000	322,0	-58,2	35	336	14	8,4			
34	8,011	321,4	-58,3	35	336	14	8,4			
35	8,442	300,0	-60,2	35	336	13	8,4			

Рисунок 3.17 – Результаты зондирования преобразованные в формат EXCEL.

Подготовив исходные файлы, перешли непосредственно к расчетам. На первом этапе были проинтерполированы исходные данные температуры и влажности на регулярную сетку по давлению с помощью специальной программы, представляющей собой Макрос для MS EXCEL, в следующей последовательности:

- открыла файл «Сплайн аэрология»;
- в колонку «А» вставила давление из своих наблюдений за один срок;
- в колонку «В» вставила данные по температуре за тот же срок;
- в ячейку «С1» вставила результаты измерения приземного давления (рисунок 3.18).

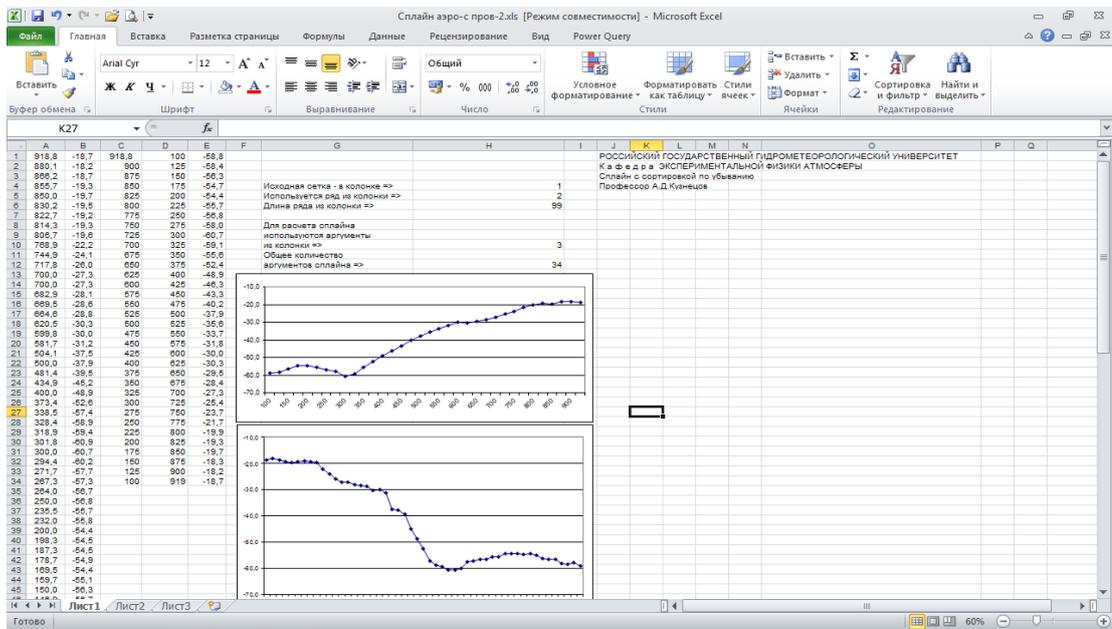


Рисунок 3.18 – Расчет данных с помощью макроса «Сплайн аэрология».

Затем была запущена программа расчета. Полученные в результате этого значения были внесены в файл с данными зондирования (рисунок 3.19). Аналогично поступаем с данными остальных выпусков.

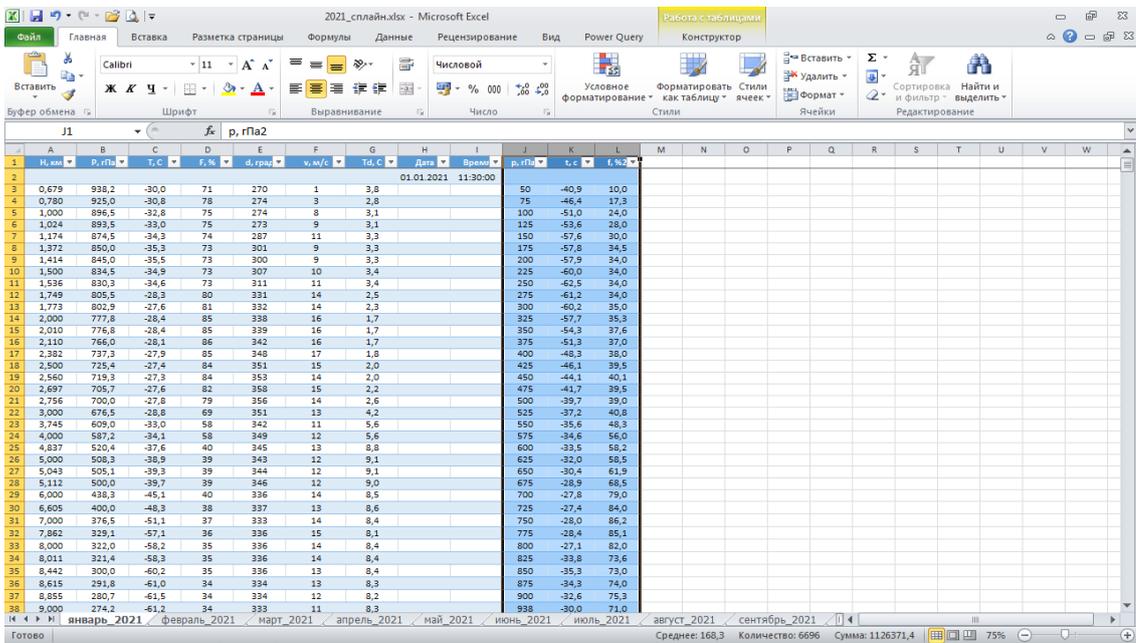


Рисунок 3.19 – Расчетные данные, внесенные в общую таблицу.

На следующем этапе с помощью программы расчета профиля индекса коэффициента преломления были рассчитаны средние профили индекса коэффициента преломления, минимальных значений, максимальных значений.

На Лист 2 были записаны данные зондирования (исключая пропуски) (рисунок 3.20);

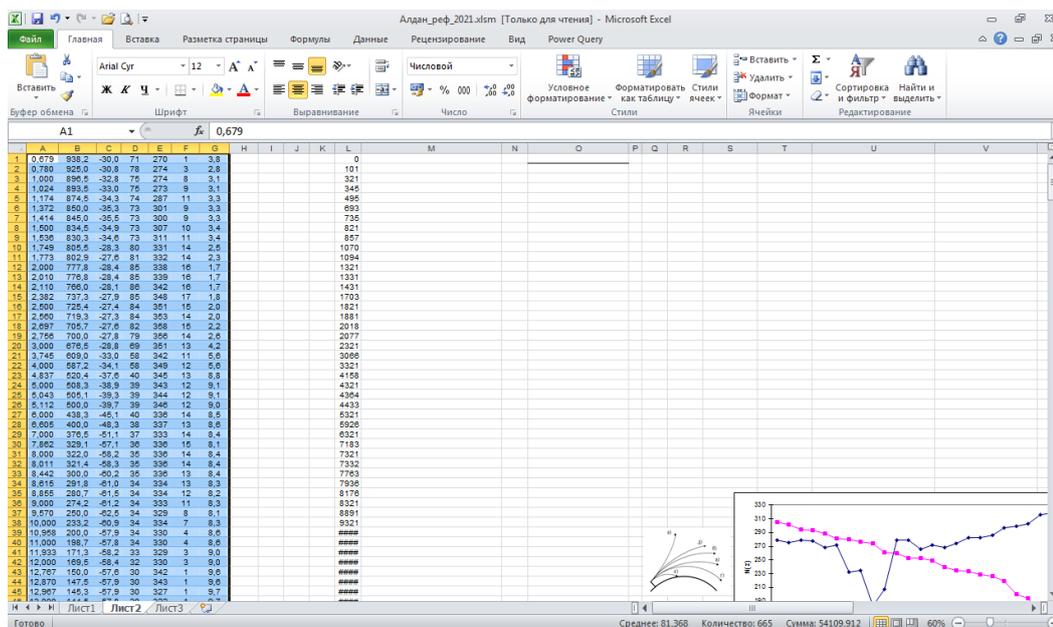


Рисунок 3.20 – Внесенные данные выпуска для расчета.

Была запущена программа расчета, по окончании которого были получены данные за один срок наблюдения, отраженные на рисунке 3.21.

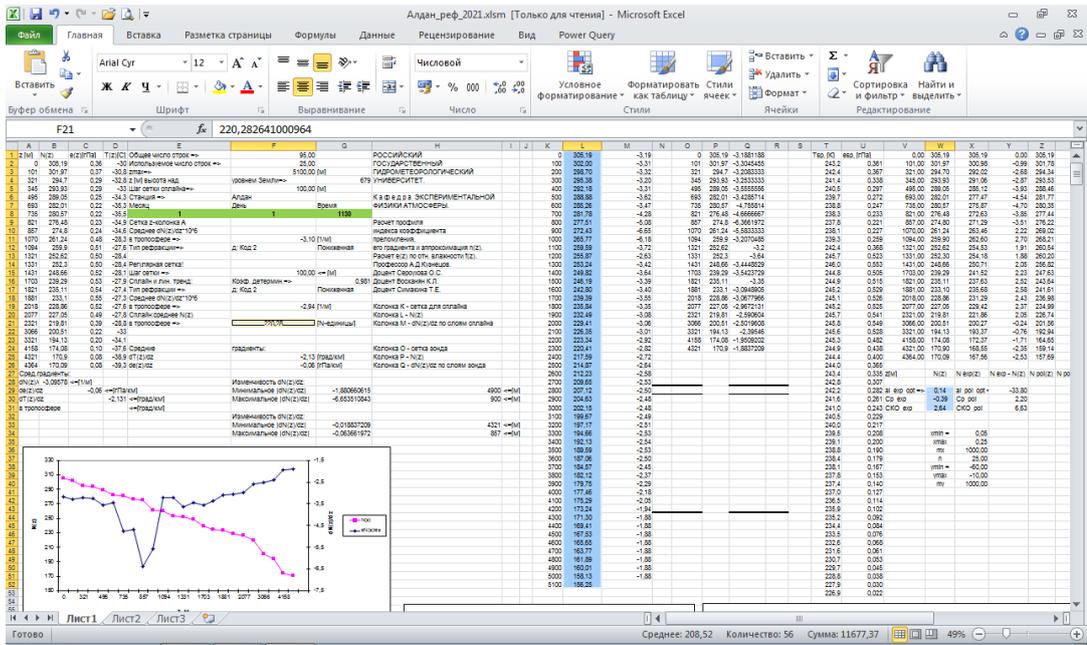


Рисунок 3.21 – Расчитанный индекс коэффициента преломления N.

По аналогии рассчитываем данные за весь год и сводим все данные в таблицу (рисунок 3.22).

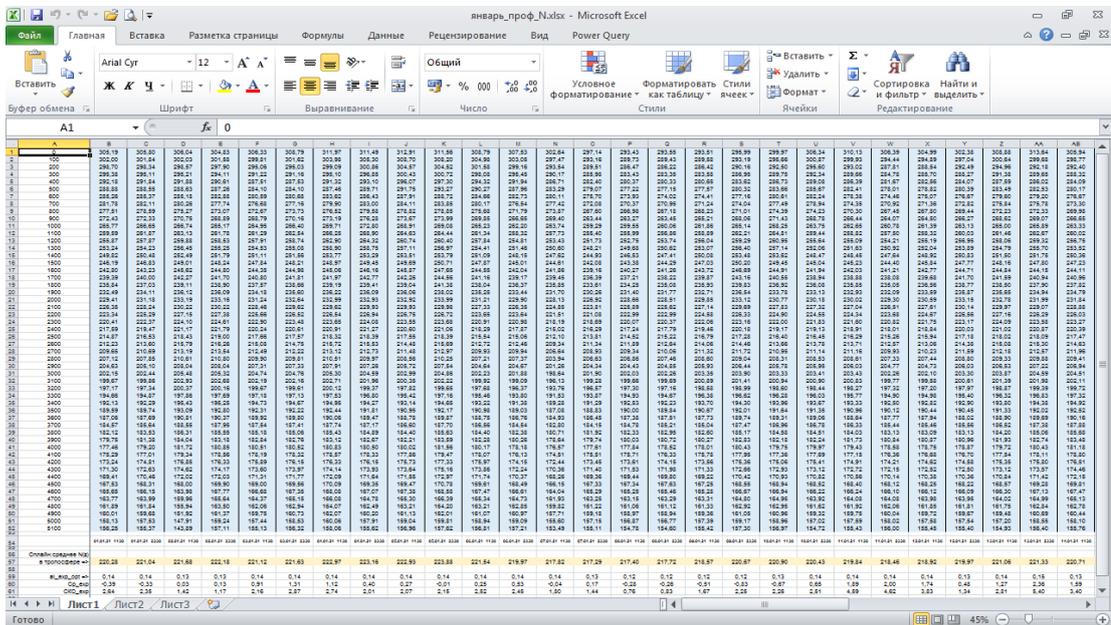


Рисунок 3.22 – Рассчитанные данные за месяц, сведенные в общую таблицу.

Используя программу «Средний профиль», был построен ансамбль профилей по месяцам (рисунок 3.23).

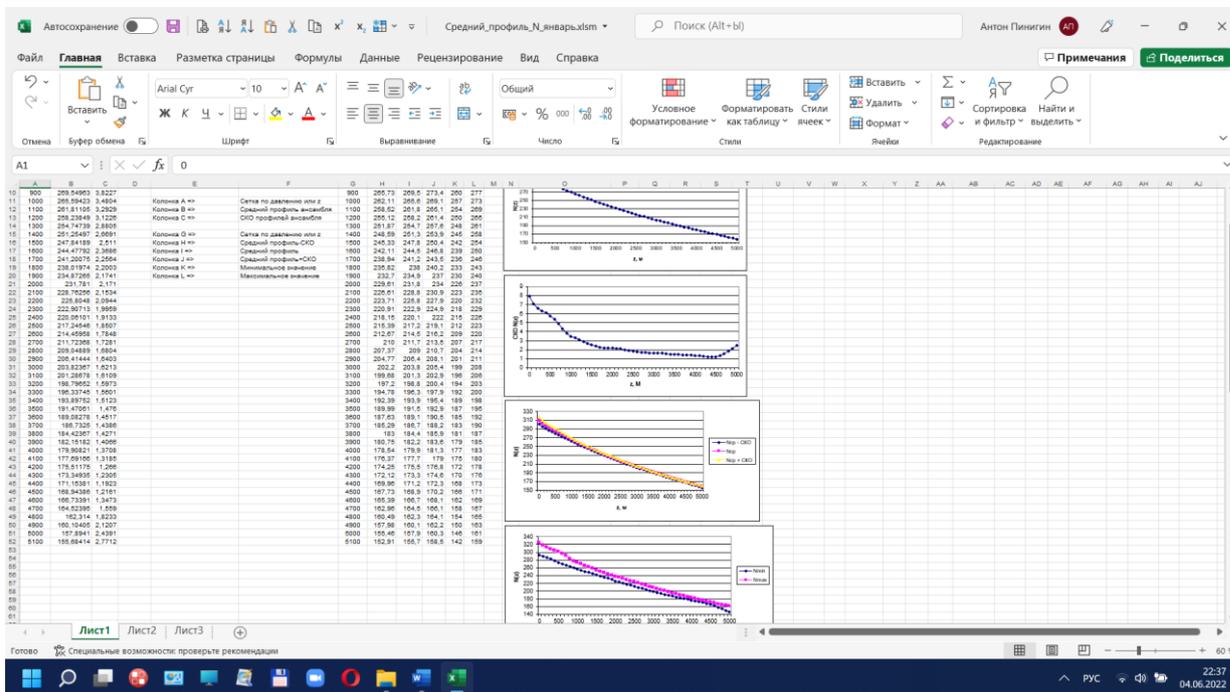


Рисунок 3.23 – Построение графиков с помощью программы «Средний профиль»,

3.5 Анализ полученных данных

Скомпоновав профили по сезонам (рисунки 3.24 – 3.31), был проведен анализ.

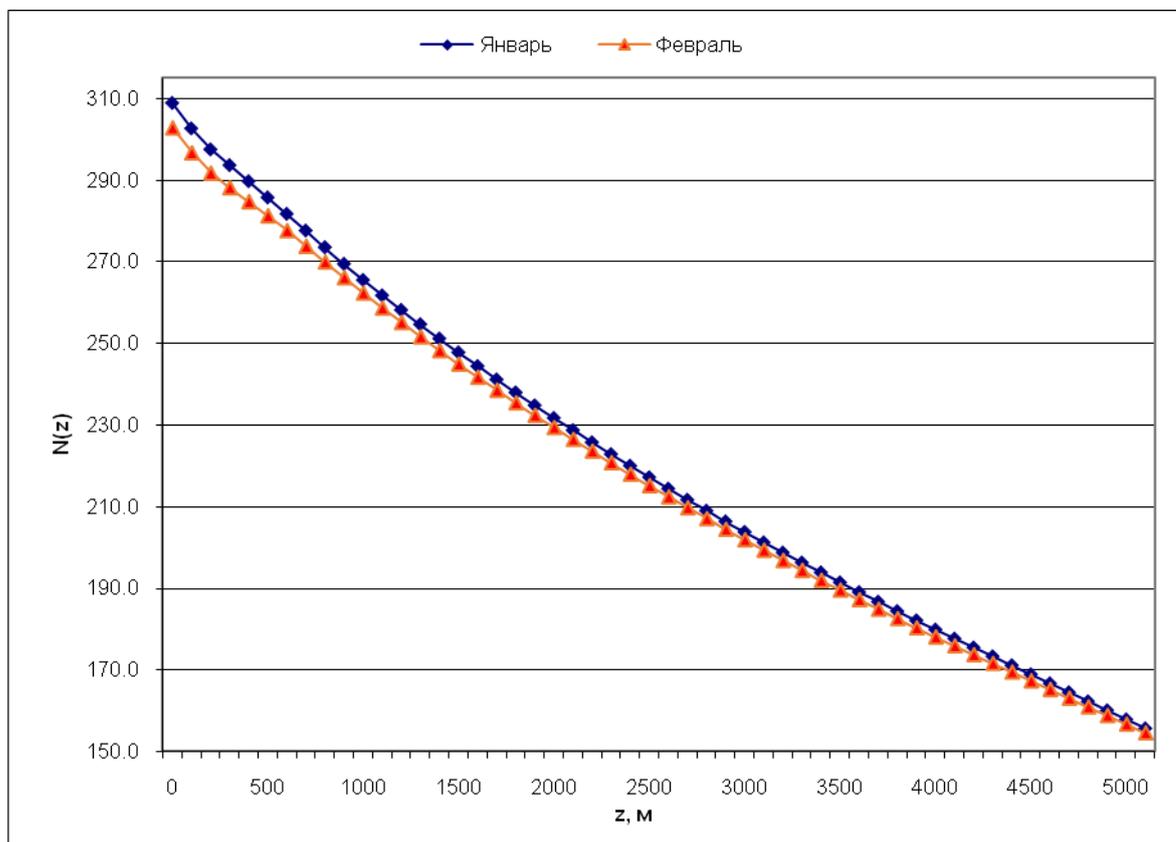


Рисунок 3.24 – Индекс коэффициента преломления за январь – февраль 2021 г.

На рисунке 3.24 представлен график изменения индекса коэффициента преломления за январь-февраль 2021 года. Наиболее ярко выражена разница у поверхности земли. В феврале изменчивость индекса преломления гораздо ниже январских показателей. Примерно в высоте 500 метров они приближаются по значениям и далее, на остальных высотах, изменчивость индекса преломления в январе была больше, чем в феврале.

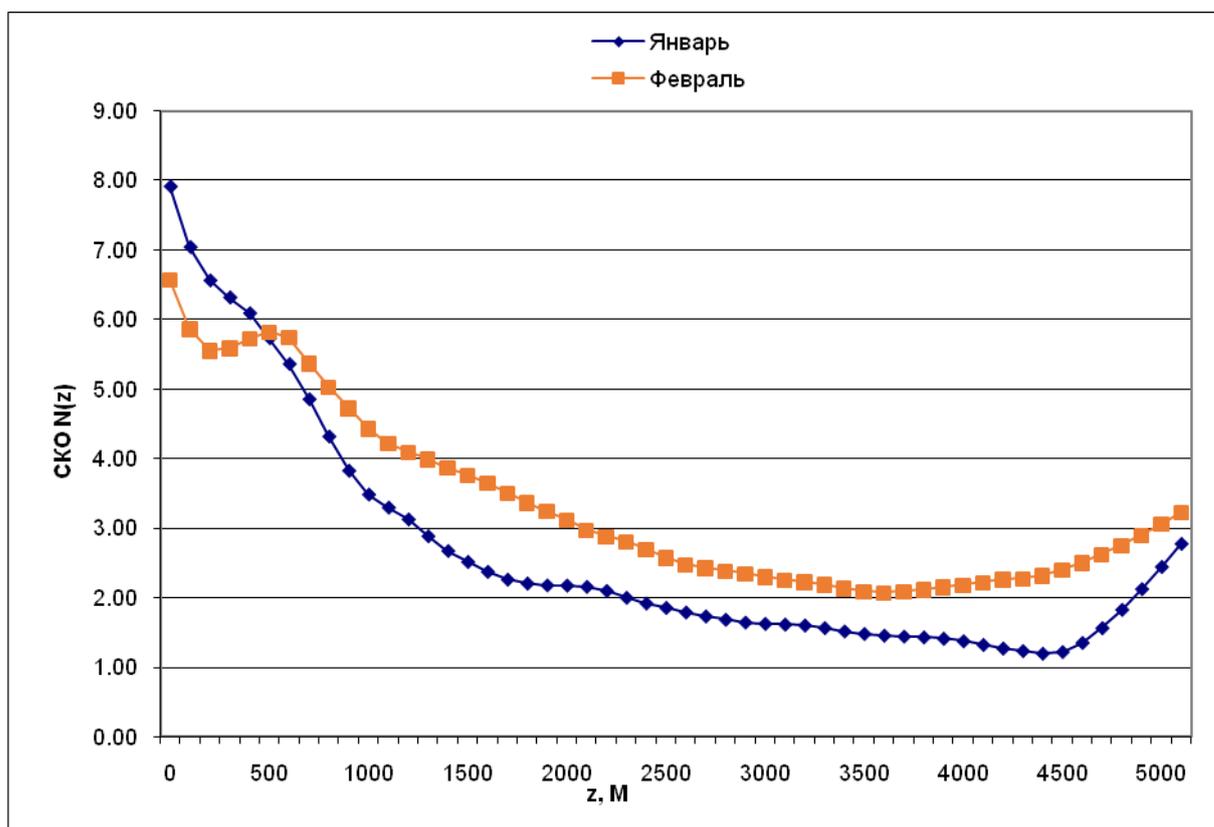


Рисунок 3.25 – SKO индекса коэффициента преломления за январь – февраль 2021 г.

На рисунке 3.25 изображено SKO индекса коэффициента преломления за те же месяцы. Если сравнивать среднеквадратичное отклонение от среднего на разных высотах за январь и февраль, то в слое до 500 метров февральские значения существенно ниже январских, но затем, в более высоких слоях, картина меняется: сравнившись на уровне примерно 500 метров далее значения февраля становятся гораздо выше январских. Эта тенденция сохраняется на всех высотах, возрастая к отметке 5000.

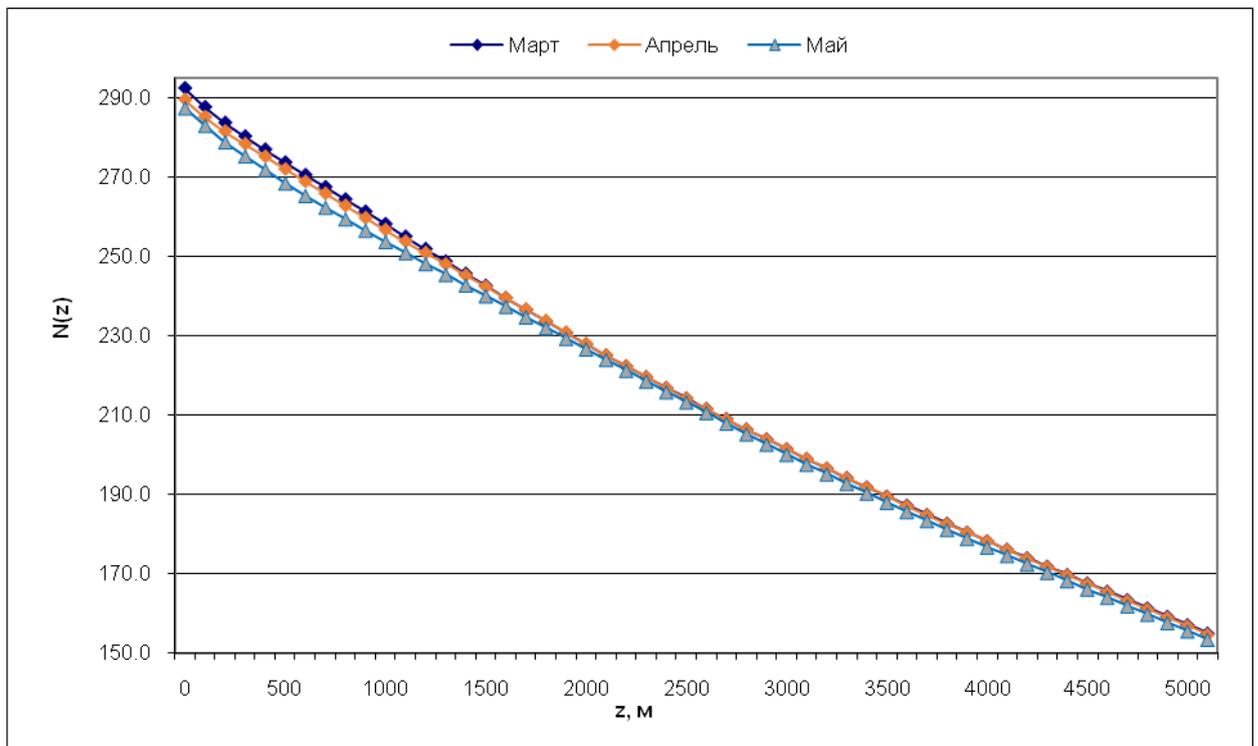


Рисунок 3.26 – Индекс коэффициента преломления за март – апрель – май 2021 г.

На рисунке 3.26 находятся значения изменения индекса коэффициента преломления за март, апрель и май 2021 года. Самые низкие значения наблюдаются в мае, что, видимо связано с более низкими значениями влажности, нежели, например, в марте. Апрель имеет показатели ниже значений марта, но выше майских значений. Наиболее отчетливо различия также видны в приземном слое. В высоте примерно 1500 значения практически сравниваются, но к отметке 5000 опять становится заметным более низкие показатели изменения коэффициента преломления, чем в марте и апреле.

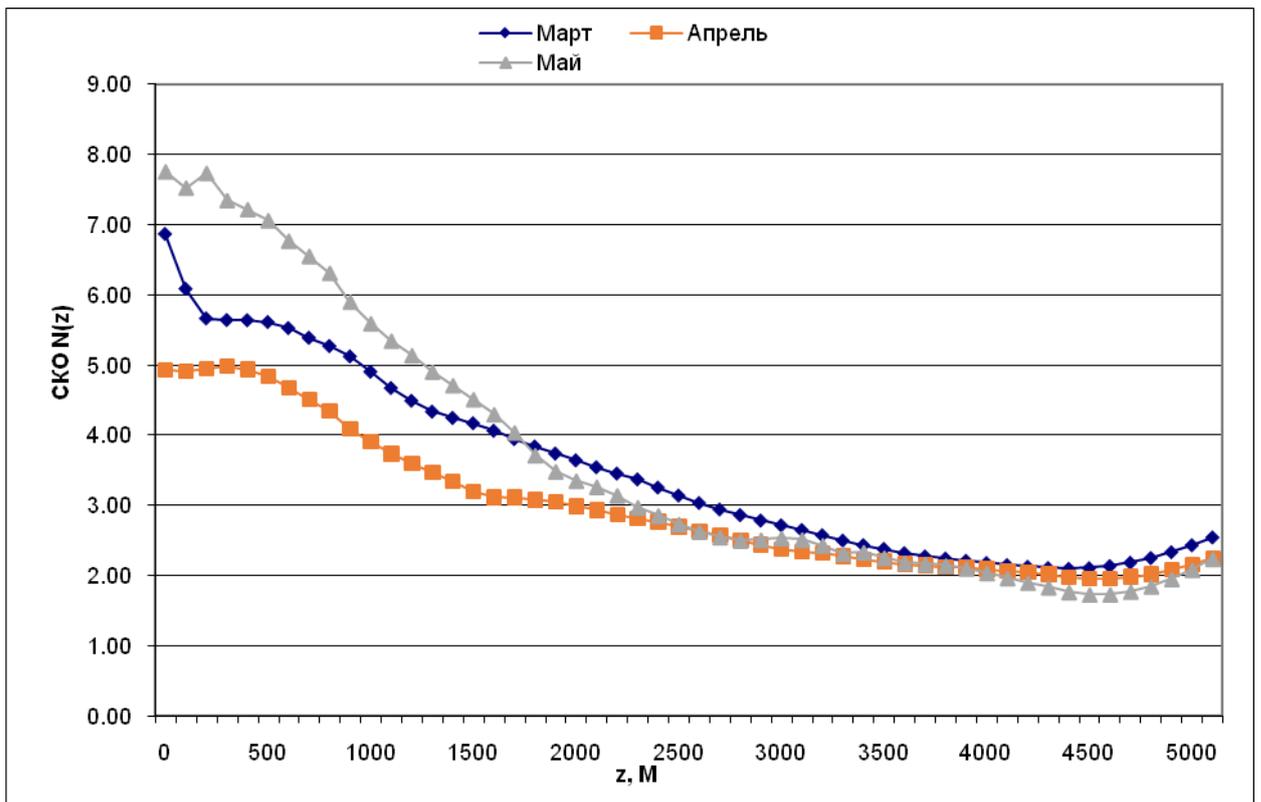


Рисунок 3.27 – СКО индекса коэффициента преломления за март – апрель – май 2021 г.

В графике, изображенном на рисунке 3.27, представляющем средне-квадратичное отклонение индекса коэффициента преломления за те же месяцы, сравнивая разные высоты, очевидно, что у поверхности земли СКО от среднего в мае значительно превышает СКО в марте, и еще более значительно превышает СКО в апреле. Такая существенная разница также наблюдается в приземном слое, постепенно уменьшаясь и примерно сравнивается к высоте 3000. После этого рубежа тенденция несколько меняется: к отметке 4500 самые низкие значения наблюдаются в мае, самые высокие-в марте.

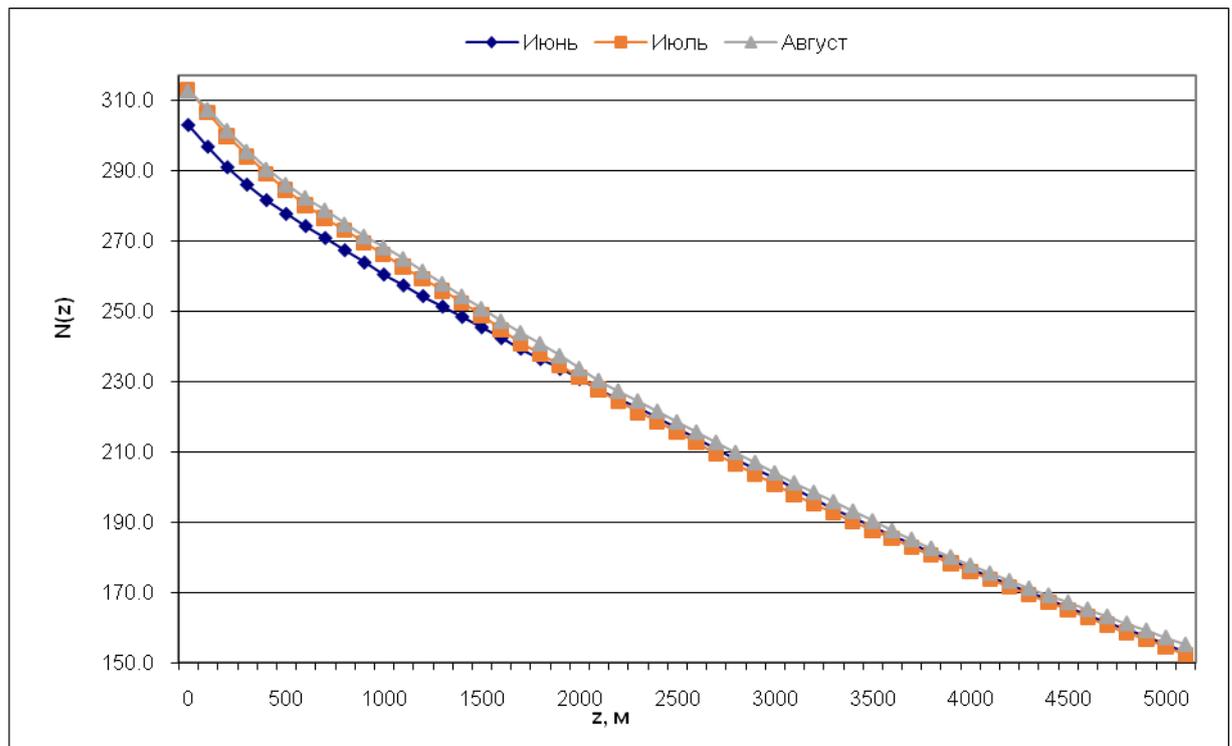


Рисунок 3.28 – Индекс коэффициента преломления
за июнь – июль – август 2021 г.

На рисунке 3.28 показаны изменения индекса коэффициента преломления за июнь, июль и август 2021 года. У поверхности земли изменчивость индекса коэффициента преломления гораздо выше в июле и августе, они практически одинаковы, июньские значения гораздо ниже, далее, к высоте 1500 они приблизительно сравниваются и к 5000 метров почти сравнялись.

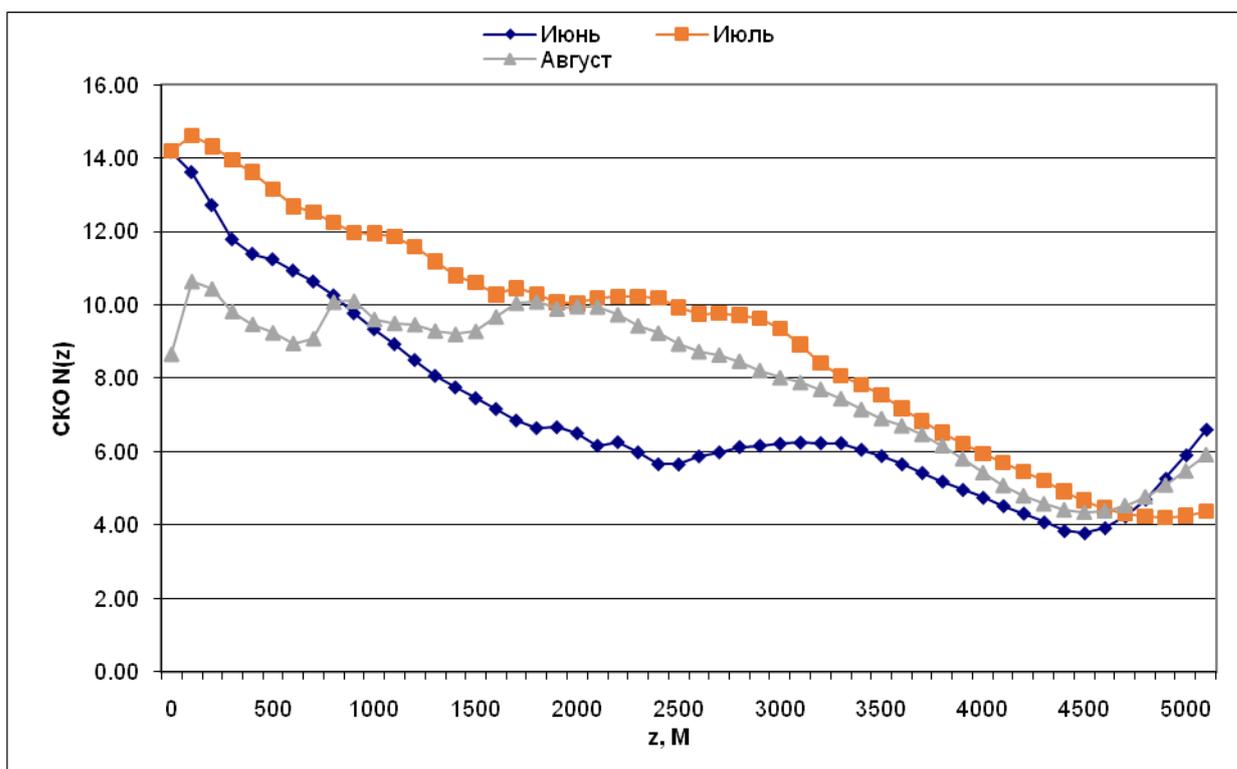


Рисунок 3.29 – SKO индекса коэффициента преломления за июнь – июль – август 2021 г.

Рисунок 3.29 представляет SKO индекса коэффициента преломления за июнь, июль и август 2021 года. Если сравнивать среднеквадратичное отклонение от среднего на разных высотах, можно видеть, что у поверхности земли значения сильно разнятся. Наибольшее значение индекса коэффициента преломления наблюдается в июле, наименьшее - в августе. Июньские значения индекса коэффициента преломления являются средними между августом и июлем. В высоте примерно 500 метров значения июня и августа совпадают, а затем, до высоты примерно 4500, августовские значения значительно превышают июньские. В высоте 1500 метров значения индекса коэффициента преломления за август совпадают со значениями июля и затем, на всех высотах, июльские значения превышают величину значений за август. Но к высоте 5000 все меняется: наименьшим индексом коэффициента преломления обладает июль, наибольшим июнь, август имеет средние значения относительно этих двух месяцев.

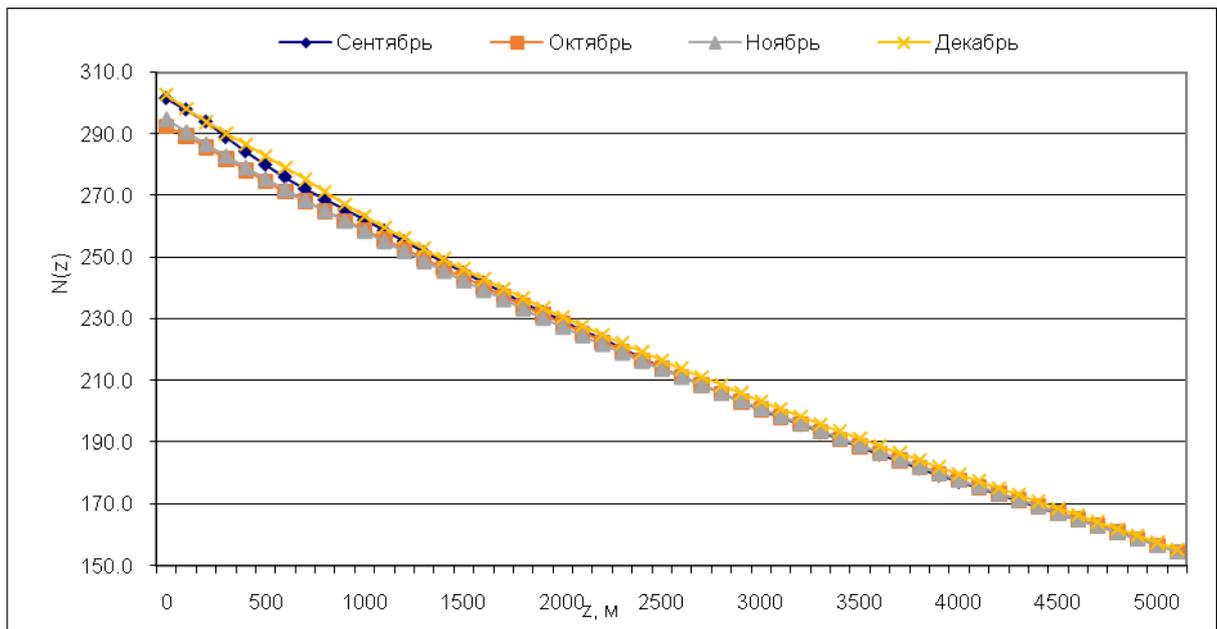


Рисунок 3.30 – Индекс коэффициента преломления за сентябрь – октябрь – ноябрь – декабрь 2021 г.

На рисунке 3.30 предоставлены данные за сентябрь, октябрь, ноябрь и декабрь 2021 года. В нашем регионе сентябрь-октябрь относятся к осенним месяцам, а ноябрь-декабрь уже к зимним. Здесь отчетливо видно, что значения изменения коэффициента индекса преломления за сентябрь и декабрь практически совпадают на всех высотах и превышают значения за октябрь-ноябрь, которые тоже почти совпадают.

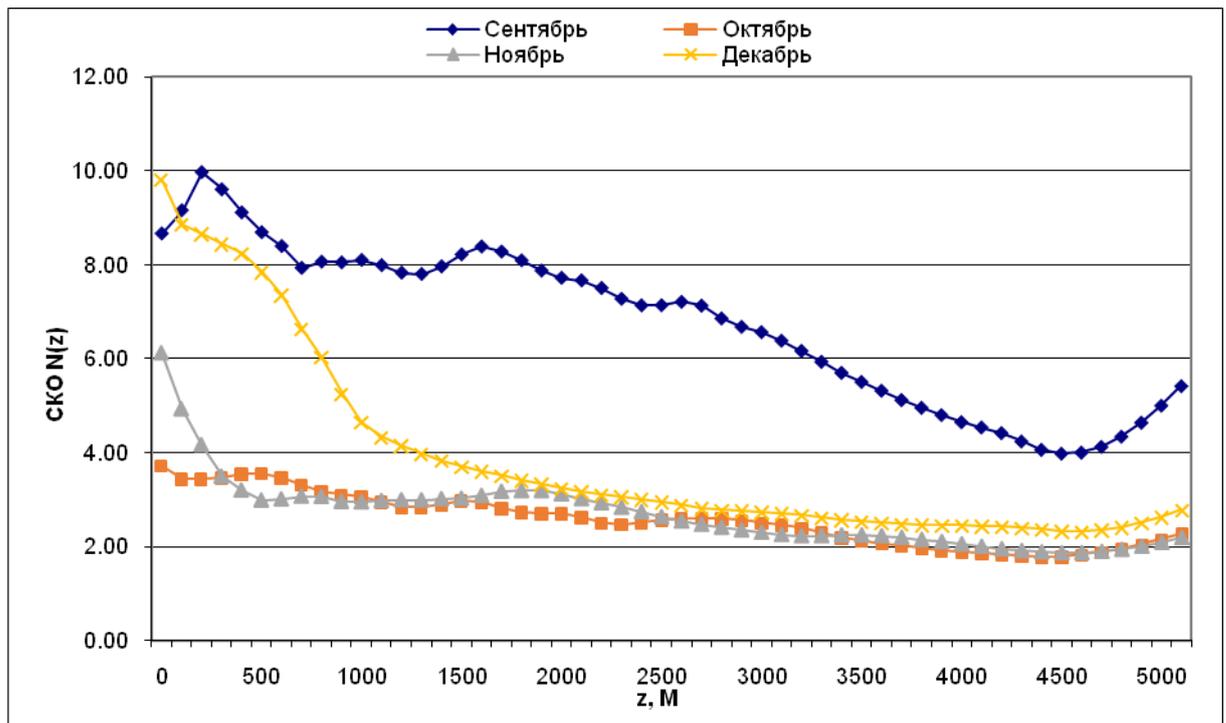


Рисунок 3.31 – СКО индекса коэффициента преломления за сентябрь – октябрь – ноябрь – декабрь 2021 г.

Рисунок 3.31 отображает СКО индекса коэффициента преломления за сентябрь, октябрь, ноябрь и декабрь 2021 года. Здесь наиболее сильно отличается своими значениями СКО сентябрь. Начиная с 500 метров его значения значительно превышают значения остальных трех месяцев, особенно резко повышаясь на высотах 300, 1300, примерно 2700 и к отметке 5000. Декабрь и ноябрь в приземном слое также имеют значения намного превышающие значения октября. Примерно на уровне 300 метров значения октября и ноября совпадают и далее примерно сравниваются, периодически совпадая на высотах 100, 2500, 3500 и 4500. СКО индекса коэффициента преломления за декабрь примерно к высоте 1500 приближается по значениям к значениям октября и ноября и далее на всех высотах имеют ненамного большее значение СКО чем эти два месяца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе этой работы были рассмотрены радиолокационные станции метеорологического назначения и системы аэрологического зондирования атмосферы от истоков до современных радиолокационных комплексов.

Было рассмотрено влияние атмосферы и ее составляющих на распространение радиолокационного импульса. Рассмотрены виды рефракции и методы их расчета.

Был адаптирован архив данных радиозондирования Аэрологической станции Алдан Саха (Якутия) за 2021 год для проведения расчетов. В нем данные были с интерполированы на высоты через каждые 100 метров от поверхности земли в пределах приземного слоя.

На основе созданного нами архива были построены графики профиля индекса коэффициента преломления. Далее создан общий архив на основе всех этих данных. Затем были рассчитаны средние профили индекса коэффициента преломления. Был выполнен анализ изменения профилей сезонно и по месяцам.

В ходе анализа стало очевидно, что для АЭ Алдан, для различных сезонов года, характер вертикальных профилей индекса коэффициента преломления в среднем отличается несущественно. Основные отличия наблюдаются у поверхности земли, в слое до 500 метров. Так, например, значение N_0 для зимнего сезона, в частности для января, составляет в среднем 309 единиц, для апреля – 289. Летом, достигает максимума, например, в июле-августе – 313 единиц, к осени, в сентябре – 303 единицы. Но, надо отметить, индекс коэффициента преломления, независимо от сезона, к высоте 5000 метров асимптотически приближается к значению 150 единиц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. Г. И. Слабкович – Л. Гидрометеоздат, 1974г.
2. Методические указания по производству метеорологических радиолокационных наблюдений ДМРЛ-С на сети Росгидромета – С. Петербург 2013.
3. Червяков М.Ю. Ч45 Зондирование атмосферы: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению 05.03.05 Прикладная гидрометеорология / М.Ю. Червяков. – Саратов: ИЦ «Наука», 2019 – 62 с.
4. Антенны и распространение радиоволн: учебник / В.Т. Ерёмченко [и др.]. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017. – 329 с.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 4. аэрологические наблюдения на станциях. Часть III. Температурно-ветровое зондирование атмосферы – Долгопрудный Л.: Гидрометеоздат, 2003.
6. Руководство по производству радиозондирования атмосферы системой «АВК-1 – МРЗ». – Долгопрудный, 1990.
7. Изделие АВК-1. Техническое описание (БЕ 400 061 ТО).
8. Изделие АВК-1. Инструкция по эксплуатации (БЕ 400 061 ИЭ).
9. Аэрологический процессор «ЭОЛ», Инструкция оператора /Научно-технический Центр Радиозондирования – Долгопрудный, 2003.
10. А. Д. Кузнецов, О. С. Сероухова, Т. Е. Симакина, С. В. Крюкова Оценка повторяемости типов тропосферной рефракции // Труды XXVII Всероссийской открытой научной конференции [Электронный ресурс <https://disk.yandex.ru/d/ADSWFCLyOKrR1Q>] : научное электронное издание. — Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2021, часть 7, С. 776 – 779.