

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физической географии
и ландшафтной экологии

**Инверсии температуры в нижнем слое атмосферы
в период с 2010 по 2015 годы по данным аэрологической станции
«Саратов»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 2 курса 245 группы _____
направления (специальности) 05.04.06 Экология и природопользование
географического факультета
Филимоновой Елены Александровны

Научный руководитель
доцент, к.г.н.

М.Ю. Червяков

Зав. кафедрой
профессор, д.г.н., профессор

В.З. Макаров

Саратов 2017

Введение. Актуальность темы ежедневные аэрологические наблюдения (2 раза в сутки, 00 и 12 ч по Гринвичу) определяется, прежде всего, их важной ролью в решении ряда ключевых задач, таких как безопасность полетов, уточнение прогноза погоды, экологическое состояние городской среды.

Цель и задачи работы. Целью магистерской работы является анализ инверсии и изотермии (задерживающих слоев приземной атмосферы в приземном слое) в городской среде.

В соответствии с поставленной целью, в работе решались следующие задачи:

- 1 Тепловой режим свободной атмосферы.
- 2 Тропопауза и ее характеристики.
- 3 Инверсии и изотермии в нижнем слое тропосферы и особенности инверсионных слоев в тропосфере.
5. Влияние инверсий и изотермии на загрязнение атмосферного воздуха в городе Саратов
- 6 Радиозондирование атмосферы
7. Современные системы радиозондирования атмосферы АВК-1 («Титан») и МРЗ-3А, МАРЛ-А
8. Система радиозондирования МАРЛ-А на аэрологической станции Саратов
9. Особенности обработки аэрологических данных, полученных с помощью системы радиозондирования МАРЛ-А на аэрологической станции Саратов
10. Анализ аэрологических данных, полученных с помощью системы радиозондирования МАРЛ-А на АЭ «Саратов»

Фактический материал. В основу работы положены данные радиозондирования атмосферы полученные автором на Аэрологической станции "Саратов" за период 2010-2015 года, опубликованные работы по направлению данной темы.

При написании работы было проанализировано 3670 выпусков радиозондирования атмосферы

Структура и объем работы. Магистерская работа общим объемом 62 страниц состоит из введения, двух разделов, заключения, списка использованных источников (28 наименований) и шести приложений, куда входят Таблица результатов зондирования ТАЭ-3 и Аэрологическая телеграмма.

Основное содержание работы.

1 Тепловой режим свободной атмосферы.

Тепловой режим свободной атмосферы определяется совместным действием лучистого и турбулентного теплообмена отдельных воздушных слоев между собой и с земной поверхностью и адвективного переноса тепла и выделением или поглощением тепла при фазовых переходах воды в атмосфере.

Данные радиозондирования в настоящее время дают возможность получить весьма полное представление о вертикальном и горизонтальном распределении температуры воздуха в тропосфере и стратосфере до высот 30-35 км.

Характерной особенностью тропосферы является убывание в ней температуры воздуха с высотой, которое можно охарактеризовать вертикальным градиентом температуры:

$$\Gamma = - \partial T / \partial z.$$

Градиент считается положительным, если температура падает с высотой. Он обычно рассчитывается в градусах на 100 метров.

2 Тропопауза и ее характеристики.

Тропопаузой называется переходный слой между тропосферой и стратосферой. Этот слой играет большую роль, препятствуя обмену между тропосферой и стратосферой водяным паром, озоном, аэрозолями и так далее.

Подробная классификация типов тропопаузы предложена И.А. Клеминым, который различает четыре класса тропопаузы.

Не все типы тропопаузы встречаются одинаково часто. Наибольшую повторяемость имеют следующие типы: изотермический, инверсионный и с замедленным падением температуры с высотой: большое значение имеют неперiodические изменения высоты тропопаузы, связанные со сменой воздушных масс, циклонов и антициклонов. Теплым воздушным массам свойственны высокие тропопаузы с низкими температурами, а холодным - тропопаузы со сравнительно высокими температурами. Над антициклонами тропопауза выше, чем над циклонами. При активных синоптических процессах, характеризующихся быстрой сменой циклонов и антициклонов, наблюдаются дни (особенно весной), когда высота тропопаузы в течение суток изменяется на 5-6 км.

Также, стоит отметить, что высота тропопаузы меняется в течении суток. Как правило высота тропопаузы днем отличается от ночной, изменяясь незначительно. Резкое изменение высоты в течении суток может произойти при прохождении атмосферного фронта, либо похолодания воздуха зимой, в следствии выхолаживания подстилающей поверхности.

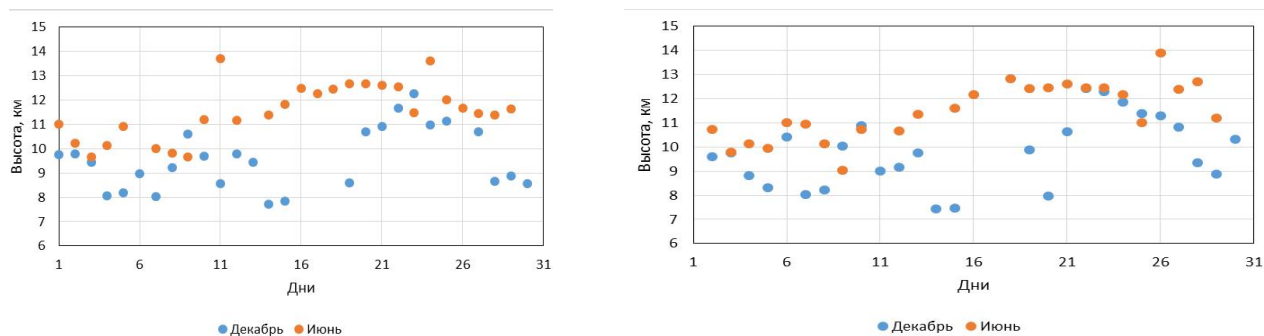


Рисунок. Высоты тропопауз по данным радиозондирования на станции Саратов срок 12:00 и 00:00 по Гринвичу для декабря и июня 2016 года (составлено автором)

Наибольшие перепады температуры воздуха у поверхности земли наблюдаются в летнее время, особенно в периоды наступления волн тепла.

Перепад температуры в течении ночь-день может достигать 10-12 градусов и приводить к мощным приземным инверсиям в ночное и предрассветное время суток. В качестве примера, на рисунке 1.4 и 1.5

приведены изменения температуры воздуха и температуры точки росы с высотой по данным радиозондирования в городе Саратов в период волны тепла 8 июня 2010 года (срок 12:00 по Гринвичу) и 9 июня 2010 года (срок 00:00 по Гринвичу). Перепад температуры составил примерно 8-9 градусов. Стоит отметить, что скорее всего в этот день разница достигала больших значений, так как рассвет (высота Солнца 15 градусов) произошел спустя 4 часа, во время которого происходило дальнейшее выхолаживание подстилающей поверхности.

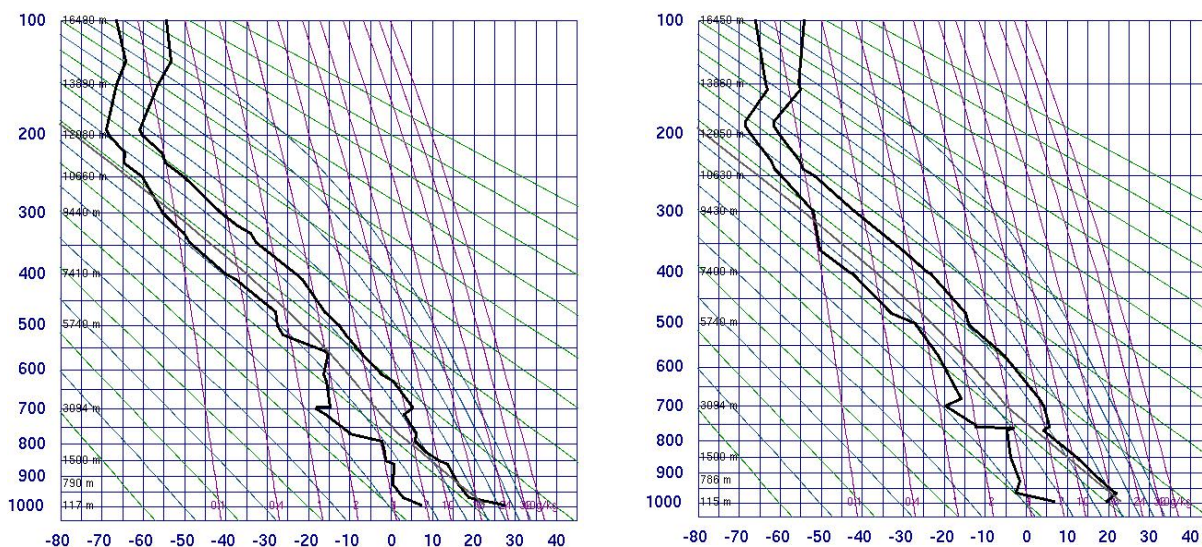


Рисунок Изменение температуры воздуха и температуры точки росы с высотой по данным радиозондирования в городе Саратов в период волны тепла 8 июня 2010 года (срок 12:00 и 00:00 по Гринвичу) (составлено автором).

3 Инверсии и изотермии в нижнем слое тропосферы и особенности инверсионных слоев в тропосфере.

Важную роль в тропосфере играют слои с инверсией температуры. Эти слои препятствуют развитию вертикальных движений и турбулентности, с которыми связан перенос тепла, водяного пара и различных примесей к атмосферному воздуху (пыли, ядер конденсации и т.п.) и поэтому их называют иногда задерживающими слоями тропосферы.

Инверсии температуры встречаются как у поверхности Земли, так и на всех высотах в тропосфере. Для их характеристики используют следующие параметры:

- а) высоту инверсии, т.е. высоту ее нижней границы;

б) мощность инверсии, т.е. толщину слоя инверсии;

в) интенсивность инверсии, т.е. разность между температурами воздуха на ее верхней и нижней границах.

С высотой плотность воздуха в атмосфере всегда уменьшается, но во внутреннем слое инверсии наблюдается скачок вертикального градиента плотности. Происходит резкое, чем обычно уменьшение плотности воздуха с высотой.

В атмосферном слое, в котором растет температура воздуха с высотой и градиент меньше нуля, убывание плотности происходит быстрее, чем в тех слоях, в которых температура убывает и градиент больше нуля.

На границах слоя инверсии наблюдается также резкое изменение вектора скорости ветра. При этом на границах инверсионного слоя могут возникнуть волны, длина которых зависит от скачка температуры и ветра.

Непосредственно под слоем инверсии и в тонком слое над его верхней границей, как правило, наблюдаются большие вертикальные градиенты температуры. Эта особенность благоприятствует развитию неупорядоченных движений воздуха под и над инверсией.

Наиболее часто инверсии температуры наблюдаются в приземном слое воздуха, а с высотой повторяемость их уменьшается. Кроме того, зимой они наблюдаются чаще и интенсивность их большая, чем летом.

Инверсии различают в зависимости от их высоты и процессов, приводящих к их образованию. По высоте различают приземные инверсии и инверсии свободной атмосферы. Приземные инверсии по условиям их образования чаще всего имеют радиационное происхождение или связаны с адвекцией теплого воздуха.

Радиационные инверсии всегда образуются у поверхности Земли, когда она излучает много тепла (в ночные часы или зимой в безветренную и безоблачную погоду) и сильно охлаждается, а вместе с ней охлаждаются прилегающие слои воздуха. Мощность таких инверсий обычно невелика, но

может изредка достигать 500-1000 м (особенно зимой), а интенсивность – нескольких градусов.

Инверсии теплого воздуха образуются при натекании последнего на относительно холодную подстилающую поверхность, (на холодный материк зимой), при котором нижние слои воздуха отдают часть своего тепла подстилающей поверхности и охлаждаются, а температура выше лежащих слоев меняется мало.

Инверсии трения возникают в дневные часы на высоте в несколько сотен метров над поверхностью Земли около верхней границы планетарного пограничного слоя (слоя трения).

Динамические инверсии образуются в слоях с большими скоростями ветра, особенно с подветренных сторон гор.

Важную роль в атмосфере играют антициклонические инверсии, обусловленные динамическим оседанием воздуха в антициклоне.

Инверсии оседания могут образоваться на любых высотах, их мощность колеблется от нескольких десятков до несколько сотен метров. Интенсивность их может достигать до 4-5 градусов.

4. Влияние инверсий и изотермии на загрязнение атмосферного воздуха в городе Саратов

Экстремальные уровни загрязнения воздуха на территории крупного города в значительной степени обусловлены развитием синоптических процессов. Выявлены следующие типы неблагоприятных синоптических ситуаций:

- а) малоподвижный антициклон или гребень
- б) малоградиентное барическое поле
- в) некоторые периферии антициклона

В Саратове в 77 % случаев при высоком уровне загрязнения был антициклонический характер барического поля.

Низкий уровень загрязнения 68 % случаев связан с циклоническим характером поля.

Влияние скоростей ветра на фоновое загрязнение воздуха Саратова проявляется достаточно четко. Так при экстремально высоких значениях P слабые скорости ветра встречаются чаще, сильные – гораздо реже.

Таким образом, экстремально высокий уровень загрязнения воздуха формируется при антициклоническом характере барического поля, при инверсионном распределении температуры с высотой, слабым ветре, тумане. Экстремально низкий уровень загрязнения воздуха обусловлен циклоническим характером барического поля, повышенной скоростью ветра, выпадением осадков.

Год	Сроки	Месяцы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	12:00	30	28	29	18	24	30	26	25	27	29	29	31
	0:00	29	27	29	27	29	29	30	30	29	28	27	30
2011	12:00	31	24	15	17	27	28	29	28	22	27	27	30
	0:00	30	26	18	23	30	30	30	30	25	28	28	31
2012	12:00	30	26	27	27	27	28	29	31	26	31	27	31
	0:00	31	28	25	29	28	27	30	30	26	30	24	31
2013	12:00	30	28	29	30	29	30	29	31	29	31	30	31
	0:00	30	26	30	28	30	29	30	30	28	30	29	29
2014	12:00	30	28	27	27	31	27	26	30	24	28	29	29
	0:00	30	27	29	29	30	29	28	30	29	29	29	30
2015	12:00	30	28	27	24	28	30	31	31	29	30	30	31
	0:00	30	27	30	25	28	29	30	30	28	29	28	30

Таблица - Количество инверсий всех типов, наблюдаемых в период с 2010 по 2015 годы в Саратове по данным радиозондирования в дневные и ночные сроки (составлена автором)

Год	Сроки	Месяцы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010	12:00	11	11	6	7	1	2	4	6	4	2	6	2
	0:00	19	18	17	13	13	20	24	22	14	15	8	7
2011	12:00	4	3	2	2	7	5	1	8	9	2	1	3
	0:00	21	13	13	15	20	21	23	21	13	10	5	10
2012	12:00	5	2	2	6	4	8	9	16	5	4	2	2
	0:00	11	11	7	16	23	16	19	14	13	12	3	9
2013	12:00	4	2	4	4	15	5	8	10	15	4	6	1
	0:00	18	15	6	12	16	24	23	21	14	9	9	6
2014	12:00	2	7	7	8	9	6	6	5	2	4	4	1
	0:00	7	13	10	16	23	20	21	18	21	8	10	8
2015	12:00	2	4	6	4	5	6	4	8	5	2	4	3
	0:00	14	8	14	13	19	24	20	20	21	10	10	4

Таблица Количество приземных инверсий, наблюдаемых в период с 2010 по 2015 годы в Саратове по данным радиозондирования в дневные и ночные сроки (составлена автором)

По полученным данным радиозондирования на Аэрологической станции Саратов за период 2010-2015г.г. сроки выпусков радиозондов – 23.30 и 11.30 по Гринвичу было обработано 3670 результатов выпусков радиозондирования атмосферы. По данным результатов радиозондирования за этот период были проведен анализ приземных и приподнятых инверсий.

Было выделено общее количество инверсий как приподнятых, так и приземных и только приземных за период 2010-2015г.г. По этим данным радиозондирования сделан график дневных и ночных инверсий.

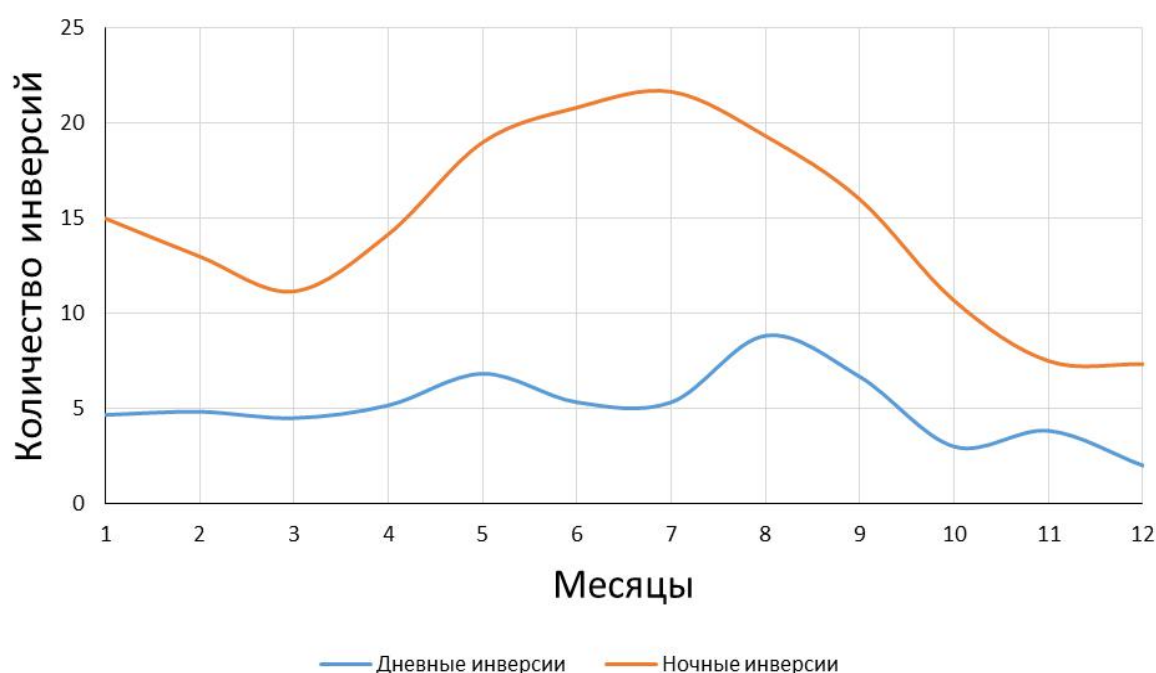


Рисунок Временной ход количества приземных инверсий, осредненных в период с 2010 по 2015 годы по данным радиозондирования в городе Саратов (составлено автором)

При анализе графика видно, что количество летних ночных инверсий значительно больше, чем зимой. Следовательно, загрязнение приземного слоя городской атмосферы в г. Саратове в летний период, будет наблюдаться чаще, чем в зимней период.

территория Саратова имеет сложный рельеф: котловинный в центральной и южной частях и холмисто-балочный равнинный в северной части города.

Проблемам чистоты атмосферного воздуха в последние годы уделяется повышенное внимание. Антропогенные загрязнения атмосферы, в отличие от

природных, концентрируются на сравнительно небольших участках земной поверхности (в промышленных районах, городских агломерациях).

Исследование качества воздуха в крупнейших городах России показало, что в 16 из них наблюдается очень высокий уровень загрязнения атмосферы. К их числу относится и Саратов.

Выбросы разделяются на три основные группы:

- а) организованные;
- б) неорганизованные;
- в) распределенные.

Организованные выбросы производятся их труб промышленных предприятий. Характеризуются большой высотой, а также значительными концентрациями и объемами загрязняющих веществ.

Неорганизованные выбросы характеризуются поступлениями токсикантов в атмосферу из производственных помещений, от небольших котельных, печных труб, концентрации и объемом которых существенно меньше, а высота выброса небольшая.

Распределенные выбросы в основном связаны с транспортом, а также с обработкой сельскохозяйственных территорий ядохимикатами с помощью авиации.

Высокие выбросы наносят меньше вреда, чем низкие, потому что разбавляются атмосферным воздухом прежде, чем достигнут поверхности земли. Поэтому причинами неблагоприятной экологической обстановки чаще являются низкие источники.

В Саратове как в одном из крупнейших промышленных центров России присутствуют все перечисленные типы выбросов.

К числу специфических загрязнителей, поступающих в городскую атмосферу с отработавшими газами автомобилей, относятся свинец, бензапирен, летучие углеводороды.

Влияние сложных городских условий Саратова (рельефа, плотности застройки, расположения промышленных предприятий) на уровень

загрязнения воздуха наиболее ярко должно проявляться в малоградиентных полях давления воздуха в особенностях его суточного хода, когда наиболее четкими становятся микроклиматические различия. Таким образом, в условиях сложного рельефа городской котловины, неоднородности застройки и наличия промышленных источников в разных районах формируется особый режим загрязнения приземного слоя воздуха.

Загрязняющие вещества	ПДКм.р., мг/м ³	Концентрация, мг/м ³					
		Заводской р-н		Ленинский р-н		Волжский р-н	Кировский р-н
		ПНЗ №1	ПНЗ №2	ПНЗ №6	ПНЗ №7	ПНЗ №5	ПНЗ №8
Пыль	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Диоксид серы	0,50	0,004	*	*	*	0,005	*
Оксид углерода	5,0	2,7	2,4	2,2	1,9	1,7	2,4
Диоксид азота	0,20	0,050	0,030	0,023	0,025	0,038	0,058
Оксид азот	0,40	0,007	0,009	*	*	*	*
Сероводород	0,008	0,000	0,000	*	*	0,000	*
Фенол	0,010	*	0,000	0,002	0,005	0,004	0,003
Фторид водорода	0,020	*	*	0,000	*	*	0,000
Хлорид водорода	0,20	0,09	*	*	0,07	*	*
Аммиак	0,20	*	0,02	*	0,02	*	*
Формальдегид	0,050	0,004	0,026	0,008	0,009	0,019	0,011
Радиация, мкЗв/ч		0,12					

* Отбор проб примеси на данном ПНЗ не проводится.

Таблица Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в городе Саратов 24 мая 2017 года за 07 часов (Составлена автором по материалам ФГБУ Приволжское УГМС)

5 Радиозондирование атмосферы и современные системы радиозондирования атмосферы АВК-1 («Титан») и МРЗ-3А, МАРЛ-А

Радиозондирование (аэрологическое зондирование) – получение информации о вертикальном распределении метеорологических элементов в свободной атмосфере с помощью выпуска радиозондов.

В настоящее время российская аэрологическая сеть насчитывает более 150 станций, из них две станции находятся в Антарктиде.

Применение радиозондов позволило создать оперативную аэрологическую сеть, а затем и принципиально новый метод трёхмерного анализа атмосферных процессов, который стал основой прогнозирования погоды и исследований в области физики атмосферы.

Аэрологические измерения представляют собой часть одной из самостоятельных метеорологических дисциплин аэрологии. Целью аэрологических измерений является получение физических величин, характеризующих состояние атмосферы на различных высотах. Результаты аэрологических измерений широко используются, прежде всего, службой погоды для составления аэрологических или высотных карт.

Значение аэрологических измерений в службе погоды определяет их роль в удовлетворении запросов в различные области народного хозяйства.

Выпускаются радиозонды одновременно во всём мире дважды в день в 00.00 и 12.00 мирового времени.

В настоящее время на аэрологической сети Росгидромета применяются системы радиозондирования, основанные на радиолокационном принципе определения координат радиозонда.

Применение радиозондов позволило создать оперативную аэрологическую сеть, а затем и принципиально новый метод трёхмерного анализа атмосферных процессов, который стал основой прогнозирования погоды и исследований в области физики атмосферы.

Используемая в этом радиозонде система зондирования “АВК-МРЗ” производит автономную автоматическую обработку результатов.

Крупным шагом в развитии систем радиозондирования явилась разработка в период 1980-90 гг. нового автоматизированного вычислительного комплекса (АВК) системы радиозондирования АВК-1-МРЗ в соответствии с рисунком 2.4, использующей радиозонды МРЗ. Данная система является полностью автономной, автоматизированная обработка

данных радиозондирования непосредственно на аэрологических станциях обеспечивала также выдачу в центры сбора информации стандартных аэрологических телеграмм

Система МАРЛ-А разработана для замены устаревшей техники и поэтапного переоснащения сети АЭ новыми современными средствами радиозондирования, соответствующими мировому уровню.

МАРЛ-А предназначен для работы в составе малогабаритной системы сетевого аэрологического зондирования и выполняет следующие функции:

- слежение за угловыми координатами и дальностью выпущенного в свободный полет радиозонда;
- прием телеметрической информации от радиозонда о метеорологических параметрах атмосферы (температура, влажность, давление) в точке полета радиозонда;
- вычисление скорости и направления ветра в точке полета радиозонда; формирование стандартных аэрологических телеграмм.

Малогабаритный микроэлектронный аэрологический радиолокатор (МАРЛ-А) был разработан совместно в ЦАО и МИЭТ, производится на Солнечногорском приборном заводе.

Результаты зондирования могут быть направлены потребителям по любым каналам связи. Система использует рабочую радиочастоту 1680 МГц, выделенную Международным союзом электросвязи для целей радиозондирования.

6. Система радиозондирования МАРЛ-А на аэрологической станции Саратов

В целях получения аэрологической информации для обеспечения безопасности полетов, в июле 1942 года был организован пункт зондирования атмосферы при АМСГ Саратов. Наблюдения велись только за ветром и проводились в любую погоду системой зондирования атмосферы «СОН 2-РЗ- 049».

С ноября 2008 года в результате модернизации аэрологической сети Росгидромета была введена в эксплуатацию новая система радиозондирования атмосферы МАРЛ-А.

7. Особенности обработки аэрологических данных, полученных с помощью системы радиозондирования МАРЛ-А на аэрологической станции Саратов

На аэрологической станции Саратов, как и на большинстве станций сети, радиозондирование атмосферы производится два раза в сутки в 00:00 и 12:00 по Гринвичу, ежедневно не смотря на погодные условия.

На ПК открываем программу ЭОЛ-МАРЛ-А, устанавливаем антенну на место выпуска радиозонда.

Параметры станции индекс станции, долгота, широта и высота станции над уровнем моря остаются постоянными. После этого вносим приземные данные по давлению, температуре, влажности и скорости и направления ветра. Проверяем параметры самого радиозонда. Готовим радиозонд к выпуску, проверяем по параметрам температуру и влажность на месте выпуска соответствующие наземным данным. При готовности радиозонда к выпуску привязываем прибор к оболочке. Выпуск радиозонда производится точно по срокам.

При полете радиозонда идет автоматическая обработка параметров радиозонда по температуре, влажности и ветра, которые выводятся на монитор компьютера в виде графиков по температуре, влажности и ветра. Так же автоматически составляется таблица результатов радиозондирования ТАЭ-3 и телеграмма по коду КН-04.

По данным результатов радиозондирования составляется аэрологическая диаграмма для уточнения прогнозов погоды. Данные радиозондирования автоматически сохраняются в архиве компьютера. В обязанность техника аэролога также входит сообщать службе безопасности полетов аэропорта – азимут, удаление и высоту радиозонда.

8. Анализ аэрологических данных, полученных с помощью системы радиозондирования МАРЛ-А на АЭ «Саратов»

Большой интерес представляет анализ данных радиозондирования атмосферы, полученных с помощью системы радиозондирования МАРЛ-А на АЭ «Саратов». Была проанализирована информация, полученная по данным радиозондирования атмосферы за период с 2010 по 2015 гг. За указанный период было обработано 3670 выпусков радиозонда.

Были выделены приземные и приподнятые дневные и ночные инверсии. По полученным данным был произведен анализ данных радиозондирования. Определены количество инверсий как приземных, так и приподнятых, их мощность и высота.

Были оценены летние и зимние инверсии. Эти данные полученные в результате радиозондирования атмосферы дают возможность с учетом направления ветра дать прогноз о возможности загрязнения воздушной среды в городе Саратове.

В связи увеличением в городе транспорта и плотной высотной застройки в центре города наблюдается смог и оседание вредных микрочастиц при отсутствии ветра.

Заключение. На основе исследований, выполненных в магистерской работе, можно сформулировать следующие основные результаты.

На Аэрологической станции "Саратов" за период 2010-2015 года по полученным данным радиозондирования атмосферы было проанализировано 3670 выпусков радиозондирования атмосферы.

По данным полученных в результате радиозондирования атмосферы был произведен анализ приземных и приподнятых инверсий.

Определено количество инверсий как приземных, так и приподнятых, их мощность и высота. Были оценены летние и зимние инверсии.

Результаты исследования, полученные по данным радиозондирования атмосферы на аэрологической станции Саратов, дают возможность с учетом синоптической ситуации и метеорологических условий дать прогноз о

возможности загрязнения воздушной среды в городе Саратове с учетом условиями рельефа и градостроительной освоенностью.

Основные положения магистерской работы представлены в следующей публикации:

1. Филимонова Е.А., Червяков М.Ю. Температурные инверсии в г. Саратове в период с 2010 по 2015 гг. по данным радиозондирования на аэрологической станции «Саратов» // Международная научно-практическая конференция «Проблемы, перспективы и направления инновационного развития науки»: сборник научных статей. Выпуск 33. Пермь: АЭТЕРНА, 2017. С. 291-294. (в печати)