

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

УДК [502.3:504.5:621.431:551.5](470.23-25)''451.10'' на правах рукописи

Лазарева Елена Олеговна

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ СИНОПТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель
докт. геогр. наук

Е.С. Попова

Научный консультант
канд. геогр. наук

И.Н. Липовицкая

Санкт-Петербург 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	СОКРАЩЕНИЯ.....	5
1	ВВЕДЕНИЕ.....	6
	Обзор научных трудов, посвящённых исследованиям взаимосвязи метеорологических условий и синоптических ситуаций в распространение антропогенных примесей воздушной среды города.....	13
1.1	Обзор исследований по прогнозированию загрязнения атмосферного воздуха за рубежом.....	13
1.2	Обзор исследований по прогнозированию загрязнения атмосферного воздуха на территории СССР.....	14
1.3	Исследования по прогнозированию загрязнения атмосферного воздуха в настоящее время.....	21
2	Климатическая характеристика г. Санкт-Петербург.....	27
2.1	Общегеографическая характеристика.....	27
2.2	Климатообразующие факторы	28
2.3	Характеристика основных метеорологических элементов в современных условиях.....	34
2.3.1	Описание базы метеорологических данных.....	34
2.3.2	Приземные метеорологические элементы.....	35
2.3.3	Температурные инверсии.....	50
3	Синоптические ситуации, характерные для сезонов года г. Санкт- Петербург.....	55
3.1	Характеристика классификаций синоптических процессов.....	55
3.2	Описание базы синоптических ситуаций.....	57
3.3	Общая характеристика метеорологических условий за период с 2006 по 2014 гг.....	61
3.4	Характерные группы синоптических процессов г. Санкт-Петербург.....	64

3.4.1	Синоптические процессы осенне-зимнего периода.....	64
3.4.2	Синоптические процессы весенне-летнего периода.....	67
4	Антропогенные примеси в атмосфере г. Санкт-Петербург.....	71
4.1	Основные источники загрязнения атмосферного воздуха города.....	71
4.2	Организация мониторинга состояния атмосферного воздуха города.....	72
4.3	Динамика состояния атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург за период с 1980 по 2014 гг.....	74
4.3.1	Состояние атмосферного воздуха города за период с 1980 по 2012 гг.....	74
4.3.2	Состояние атмосферного воздуха города за период с 2006 по 2014 гг.....	83
5	Оценка вклада комплекса метеорологических условий и характерных синоптических ситуаций в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.....	90
5.1	Метеорологические условия и характерные синоптические ситуации, оказывающие влияние на формирование уровня загрязнения воздуха для осенне-зимнего периода с 2006 по 2014 гг.....	90
5.2	Метеорологические условия и характерные синоптические ситуации, оказывающие влияние на формирование уровня загрязнения воздуха для весенне-летнего периода с 2006 по 2014 гг.....	101
5.3	Комплекс уточнений прогнозов загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.....	109
5.3.1	Правила уточнения методов прогноза загрязнения атмосферного воздуха.....	109
5.3.2	Определение ожидаемого уровня загрязнения атмосферного	

воздуха на основе метода «дерево принятия решения».....	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	118
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	120
Приложение А – База данных посуточных синоптических положений, определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг.....	134
Приложение Б – Характеристика групп синоптических процессов района г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг.....	143

СОКРАЩЕНИЯ

ПДК	– предельно допустимая концентрация вредного воздействия в окружающей природной среде;
«СЗ УГМС»	– Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»;
ГГО	– Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова;
М	– малоградиентное барическое поле;
ПЗА	– потенциал загрязнения атмосферы;
НМУ	– неблагоприятные метеорологические условия;
ЭВУЗВ	– экстремально высокий уровень загрязнения воздуха;
КАД	– кольцевая автомобильная дорога;
ОГМС	– объединённая гидрометеорологическая станция;
UTC	– всемирное скоординированное время;
АД	– аэрологическая диаграмма;
ВФЗ	– высотная фронтальная зона;
ЭЦМ	– элементарные циркуляционные механизмы;
ЕТР	– европейская территория России;
ЗА	– загрязнение атмосферы;
НП	– наибольшая повторяемость;
СИ	– стандартный индекс;
ИЗА	– индекс загрязнения атмосферы.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В современном мире геоэкологические проблемы приобретают первостепенное значение, и наиболее явно они выражены в крупных мегаполисах [1]. Функционирование мегаполисов из-за чрезмерной концентрации на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий приводит к химическому изменению воздушной среды [2]. Таким образом, проблему загрязнения атмосферного воздуха крупных городов относят к числу приоритетных геоэкологических проблем. Для Санкт-Петербурга ухудшение экологического состояния воздушного бассейна имеет особое значение, город является крупнейшим научным и промышленным центром мирового значения, крупнейшим транспортным узлом северо-запада России. Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха Санкт-Петербурга вносят выбросы автомобильного транспорта; в 2014 г вклад автотранспорта в суммарный выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух составил 86 % [3, 4].

Интерес к вопросу загрязнения атмосферного воздуха возник в середине прошлого века, что инициировало исследования данного направления в различных странах мира. Однако изменения современного мира под влиянием ряда причин обновляют перечень нерешённых проблем, что требует анализа для выработки мер, направленных на их решение. Так, например, погодно-климатический режим Санкт-Петербурга последнего десятилетия отличается своей неустойчивостью, что неоднократно упоминалось в научной литературе, поэтому актуальность темы обусловлена необходимостью разработки уточнений к существующему методу прогнозирования рассеивания примесей для Санкт-Петербурга.

Степень разработанности проблемы

К настоящему времени, в результате исследований, выполненных в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, разработаны эффективные

работы изучена динамика состояния загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга с целью выработки мер для сохранения качества атмосферного воздуха.

Апробация результатов

Результаты исследований докладывались и обсуждались на конференции в рамках III Международного полярного года (2008), на итоговой сессии ученого Совета РГГМУ (2015), на VII всероссийском метеорологическом съезде «Обеспечение гидрометеорологической безопасности России в условиях меняющегося климата» (2014).

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в формировании баз данных для реализации цели работы, выполнении расчётной части, а также оценке полученных результатов; выявлении закономерностей и формулировке комплекса уточнений к существующим прогнозам загрязнения атмосферного воздуха; разработке схемы «дерево принятия решения» для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Благодарности

Особую благодарность автор выражает к.г.н. доценту кафедры «Промысловой океанологии и охраны природных вод» Российского государственного гидрометеорологического университета С.М. Гордеевой, заведующему лабораторией радиолокационных метеорологических исследований и контроля активных воздействий ФГБУ «Главной геофизической обсерватории им. В.И. Воейкова», к.ф.-м.н. Е.В. Дорофееву, сотрудникам ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертационных исследований:

1. Лазарева, Е.О. Особенности пространственно-временной динамики антропогенных примесей воздуха г. Санкт-Петербурга за период времени с 1980 по 2012 гг. (на примере оксида углерода, диоксида азота, взвешенных веществ) / Е.О. Лазарева, Е.С. Попова // Учёные записки РГГМУ. – 2014. – № 37. – С.204 – 215.

2. Лазарева, Е.О. Влияние температурных инверсий на концентрацию примесей в приземном слое воздуха над Санкт-Петербургом в 2006 – 2014 гг. / Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая // Учёные записки РГГМУ. – 2015. – № 41. – С.149 – 155.

3. Лазарева, Е.О. Схема уточнения к модели прогнозирования рассеивания антропогенных примесей атмосферного воздуха для г. Санкт-Петербург / Е.О. Лазарева // Естественные и технические науки (в печати)

Публикации в других изданиях:

4. Милютина (Лазарева), Е.О. Влияние выбросов автотранспорта на изменение климата / Е.О. Милютина (Лазарева) // Конференция в рамках III Международного полярного года: Сборник трудов. 12-13 ноября 2008 года. – СПб.: РГГМУ, 2008. – С. 71 – 73.

5. Лазарева, Е.О. Анализ распространения антропогенных примесей в среде г. Санкт-Петербург, за период времени с 1980 по 2012 гг. / Е.О. Лазарева // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: Материалы III международной научно-практической конференции, том 2. – North Charleston, USA, 2014. – С. 63 – 67.

6. Попова, Е.С. Анализ временной изменчивости основных антропогенных примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга за период с 1980 г по 2012 г. / Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая, Е.О. Лазарева // Экологические проблемы постсоветского пространства: Международный сборник научных статей, вып. 1 / Под ред. А.В. Горбенко. – Липецк: Гравис, 2014. – С. 76 – 85.

7. Лазарева, Е.О. Синоптические условия распространения антропогенных примесей в воздухе г. Санкт-Петербург (на примере 1980 – 2012

г.) / Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сборник докладов IX международной конференции аспирантов и студентов / Под ред. К.Н. Маренич. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2015. – С. 123 – 125

8. Лазарева, Е.О. Межгодовая изменчивость и синоптические ситуации распространения примесей атмосферного воздуха г. Санкт – Петербург последнего десятилетия XXI в./ Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 12 – 16 октября 2015 г.

методы прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха. Они основаны на синоптико-статистических методах и математических моделях. Особое внимание уделяется предсказанию интегрального показателя загрязнения воздуха в городе отдельными веществами или их совокупностью (параметр P), метеорологических условий. Методы прогноза загрязнения атмосферного воздуха в России были изложены в «Руководстве по прогнозу загрязнения воздуха» РД 52.04.306-92. Однако неустойчивость погодных условий последнего десятилетия в Санкт-Петербурге побуждает к дальнейшим исследованиям.

Цель и задачи исследования

Цель диссертационного исследования – анализ вклада метеорологических условий и характерных синоптических ситуаций в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга; формирование комплекса уточнений к прогнозам загрязнения; разработка схем определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Для достижения цели поставлены следующие *задачи*:

- определить перечень параметров, характеризующих состояние загрязнения атмосферного воздуха, исходя из сложившихся теоретических и практических основ;
- сформировать базы исходных данных (метеорологические характеристики, характеристики загрязнённости атмосферы) для статистического и физического анализа;
- определить повторяемость характерных групп синоптических процессов Санкт-Петербурга с учётом погодных условий последнего десятилетия;
- провести комплекс расчетов и сформулировать комплекс уточнений к существующим прогнозам загрязнения атмосферного воздуха;
- разработать схемы определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Объект исследования – воздушный бассейн г. Санкт-Петербург.

Предмет исследования – зависимость формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха от метеорологических условий и синоптических ситуаций.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая базы исследования

Теоретическая база исследования основана на трудах Л.Р. Сонькина, М.Е. Берлянда, Э.Ю. Безуглой, Е.Л. Гениховича, А.С. Гаврилова, В.И. Кирилловой и др.

В исследовании проводится сопряженный анализ метеорологических характеристик и параметров загрязнения атмосферного воздуха города; используются статистические методы обработки информации. Критерием оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха являются предельно допустимые концентрации (ПДК); описание загрязнения воздуха в целом по городу выполнено при помощи интегрального показателя – параметра P .

В работе изучены данные дискретных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды, принадлежащих Федеральному государственному бюджетному учреждению «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», за период с 1980 по 2012 гг. (среднемесячные и максимальные за месяц концентрации оксида углерода, диоксида азота и взвешенных веществ), за период с 2006 по 2014 гг. (срочные данные в виде параметра P). В работе также изучены срочные данные метеорологических параметров, данные радиозондирования атмосферы, приземные карты погоды Санкт-Петербурга за период с 2006 по 2014 гг.

Научные результаты, выносимые на защиту

- Закономерности временной изменчивости состояния загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.
- Повторяемость характерных групп синоптических процессов г. Санкт-Петербург последнего десятилетия.
- Уточнение прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.
- Схема «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.

Научная новизна исследования:

- Впервые получены общие по городу характеристики загрязнения атмосферного воздуха, во времени и при различных погодных условиях для оценки ожидаемого состояния загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург по материалам девяти лет.
- Впервые выполнено уточнение характерных групп синоптических процессов г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг, с учетом географического происхождения и траектории движения барических образований, что позволяет уточнить синоптические ситуации по соотношению степени воздействия метеорологических характеристик на уровень загрязнения атмосферного воздуха.
- Сформулированы уточнения к прогнозам загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.
- Впервые построены схемы «дерево принятия решения» для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы состоит в разработке оригинального комплекса уточнений прогнозов загрязнения атмосферного воздуха, что на практике позволяет повысить оправдываемость прогноза загрязнения атмосферного воздуха на основе стандартной метеорологической информации для Санкт-Петербурга. С практической точки зрения результаты работы могут быть полезны следующим организациям: Федеральному государственному бюджетному учреждению «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» («СЗ УГМС»); Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО), Комитету по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.36 «Геоэкология (Науки о Земле)» по пункту 1.12. «геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля», так как в рамках данной

работы изучена динамика состояния загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга с целью выработки мер для сохранения качества атмосферного воздуха.

Апробация результатов

Результаты исследований докладывались и обсуждались на конференции в рамках III Международного полярного года (2008), на итоговой сессии ученого Совета РГГМУ (2015), на VII всероссийском метеорологическом съезде «Обеспечение гидрометеорологической безопасности России в условиях меняющегося климата» (2014).

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в формировании баз данных для реализации цели работы, выполнении расчётной части, а также оценке полученных результатов; выявлении закономерностей и формулировке комплекса уточнений к существующим прогнозам загрязнения атмосферного воздуха; разработке схемы «дерево принятия решения» для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Благодарности

Особую благодарность автор выражает к.г.н. доценту кафедры «Промысловой океанологии и охраны природных вод» Российского государственного гидрометеорологического университета С.М. Гордеевой, заведующему лабораторией радиолокационных метеорологических исследований и контроля активных воздействий ФГБУ «Главной геофизической обсерватории им. В.И. Воейкова», к.ф.-м.н. Е.В. Дорофееву, сотрудникам ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертационных исследований:

1. Лазарева, Е.О. Особенности пространственно-временной динамики антропогенных примесей воздуха г. Санкт-Петербурга за период времени с 1980 по 2012 гг. (на примере оксида углерода, диоксида азота, взвешенных веществ) / Е.О. Лазарева, Е.С. Попова // Учёные записки РГГМУ. – 2014. – № 37. – С.204 – 215.

2. Лазарева, Е.О. Влияние температурных инверсий на концентрацию примесей в приземном слое воздуха над Санкт-Петербургом в 2006 – 2014 гг. / Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая // Учёные записки РГГМУ. – 2015. – № 41. – С.149 – 155.

3. Лазарева, Е.О. Схема уточнения к модели прогнозирования рассеивания антропогенных примесей атмосферного воздуха для г. Санкт-Петербург / Е.О. Лазарева // Естественные и технические науки (в печати)

Публикации в других изданиях:

4. Милютина (Лазарева), Е.О. Влияние выбросов автотранспорта на изменение климата / Е.О. Милютина (Лазарева) // Конференция в рамках III Международного полярного года: Сборник трудов. 12-13 ноября 2008 года. – СПб.: РГГМУ, 2008. – С. 71 – 73.

5. Лазарева, Е.О. Анализ распространения антропогенных примесей в среде г. Санкт-Петербург, за период времени с 1980 по 2012 гг. / Е.О. Лазарева // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: Материалы III международной научно-практической конференции, том 2. – North Charleston, USA, 2014. – С. 63 – 67.

6. Попова, Е.С. Анализ временной изменчивости основных антропогенных примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга за период с 1980 г по 2012 г. / Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая, Е.О. Лазарева // Экологические проблемы постсоветского пространства: Международный сборник научных статей, вып. 1 / Под ред. А.В. Горбенко. – Липецк: Гравис, 2014. – С. 76 – 85.

7. Лазарева, Е.О. Синоптические условия распространения антропогенных примесей в воздухе г. Санкт-Петербург (на примере 1980 – 2012

г.) / Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сборник докладов IX международной конференции аспирантов и студентов / Под ред. К.Н. Маренич. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2015. – С. 123 – 125

8. Лазарева, Е.О. Межгодовая изменчивость и синоптические ситуации распространения примесей атмосферного воздуха г. Санкт – Петербург последнего десятилетия XXI в./ Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 12 – 16 октября 2015 г.

1. Обзор научных трудов, посвящённых исследованиям взаимосвязи метеорологических условий и синоптических ситуаций в распространение антропогенных примесей воздушной среды города

1.1. Обзор исследований по прогнозированию загрязнения атмосферного воздуха за рубежом

Интерес к прогнозированию загрязнения атмосферного воздуха возник в середине 20 века, когда в ряде городов зарубежных стран были отмечены случаи катастрофического роста уровня концентраций ряда загрязняющих атмосферу веществ (гг. Лондон, Токио, Нью-Йорк).

Начало изучению вопроса прогнозирования загрязнения воздуха положено научными представителями Соединённых Штатов Америки, которые проводили опытное, затем оперативное прогнозирование, с использованием простейших критериев. Уместно упомянуть работы Боутгера и Смита, Миллера, Коупера и Хопера [6 – 8]. В 60-х – 70-х гг. 20 века, на основании работ Боутгера и Смита, Гросса, Хольцварта, Муна, Нимейера, выполненных в различных районах Америки, была создана система краткосрочного прогноза потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА) по территории страны [9 – 15]. Основным положением системы являлась ситуация застоя воздуха как необходимое условие возникновения относительно высоких концентраций ряда загрязняющих атмосферу веществ. Чаще всего подобные ситуации наблюдаются в стационарных антициклонах, при сочетании устойчивой стратификации, слабого ветра и отсутствия осадков. Кроме того, было введено понятие слоя перемешивания для оценки состояния устойчивости пограничного слоя атмосферы, учитывая городской «остров тепла». Однако в этом случае отсутствовала возможность прогноза высокого уровня загрязнения городского воздуха вне ситуации застоя, так как не учитывались некоторые закономерности влияния метеорологических условий на загрязнение.

Последующее изучение вопроса позволило выделить различные методы прогноза и модели загрязнения атмосферного воздуха: статистическая схема, теоретическая модель, учитывающая гауссовское распределение концентраций и качественный синоптический способ [16 – 18]. В развитие направления прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха внесли вклад представители различных стран мира, решение вопроса прогнозирования осуществлялось, преимущественно, при помощи статистических методов, базирующихся на основе метода линейной и логарифмической регрессии, корреляционного анализа, кроме того применялись временная авторегрессионная модель и метод группового учёта аргументов.

К настоящему времени разработаны и нашли применение методы прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха над городами, районами и регионами, а также оценки метеорологического ПЗА, в основе которых лежат синоптико-статистические методы и математические модели.

1.2 Обзор исследований по прогнозированию загрязнения атмосферного воздуха на территории СССР

На территории нашей страны разработка методов моделирования и расчета загрязнения атмосферы интенсифицировалась после создания в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) в начале 60-х годов под руководством М.Е. Берлянда отдела исследований атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Направление стало развиваться и в других институтах Росгидромета, в том числе, в Институте прикладной геофизики и в Институте экспериментальной метеорологии (А.Я. Прессман, Н.Л. Бызова, М.В. Гальперин).

Профессор М.Е. Берлянд сыграл выдающуюся роль в формировании научных основ и практической организации системы загрязнения воздуха. Фамилия профессора Л.Р. Сонькина связана с решением задач прогнозирования загрязнения воздуха.

Исследования начались с изучения результатов моделирования турбулентной диффузии от отдельных источников при изменении скорости ветра и коэффициента обмена. В основу моделирования загрязнения воздуха было положено численное решение уравнения атмосферной диффузии. Первые результаты моделирования были использованы Е.Л. Гениховичем и Р.И. Оникулом для разработки формулы расчёта концентрации в зависимости от геометрической высоты источника [19].

Дальнейшее развитие моделирования загрязнения воздуха велось по линии более детального учета типа и характеристик источников, оценки их суммарного действия М.Е. Берляндом, Е.Л. Гениховичем и Р.И. Оникулом.

Кроме того, важным направлением работ по атмосферной диффузии являлось исследование взаимосвязи между загрязнением атмосферы и изменениями климата, в том числе климата города. Полученные результаты позволили впервые теоретически оценить интенсивность городского «острова тепла», определить изменения скорости ветра и коэффициента обмена, а также их влияние на образование туманов в городах [20].

С целью прогноза загрязнения атмосферы параллельно с исследованиями по атмосферной диффузии изучались метеорологические и синоптические условия формирования высокого уровня загрязнения, чему посвящён ряд работ Л.Р. Сонькина, Э.Ю. Безуглой, Л.И. Елековой, Т.П. Ивлевой, Е.И. Ивановой [21 – 28].

Работы Л.Р. Сонькина направлены на выявление статистических связей между загрязнением атмосферы и метеорологическими параметрами для прогноза загрязнения атмосферы. В работах оценивалось влияние каждого метеопараметра на степень загрязнения, полученные результаты использовали для составления прогноза загрязнения [22, 23].

В работах Э.Ю. Безуглой исследуется влияние метеорологических условий на изменение содержания основных антропогенных примесей в приземном слое [26 – 28].

Отдельно рассматривались случаи аномально неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), тогда была начата разработка методов

оперативного прогнозирования загрязнения воздуха под руководством М.Е. Берлянда и Л.Р. Сонькина. Выполненные в ГГО теоретические и экспериментальные исследования закономерностей распространения примесей в атмосфере, обобщенные в монографии М.Е. Берлянда [29], позволили разработать модели и соответствующие им нормативные документы по расчету загрязнения атмосферы. Таким образом, итогом многолетней научной и практической работы в области прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха явилось составление РД 52.04.306-92 «Охрана природы. Атмосфера. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха» от 1992 г [5]. При этом все необходимые для прогноза расчеты проводятся в соответствии с нормативным документом «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (ОНД-86) [30].

Методика физико-статистического прогноза разработанная в «Руководстве по прогнозу загрязнения атмосферы» основана на изучении зависимостей между метеорологическими характеристиками и параметрами загрязнения воздуха. Для описания загрязнения воздуха в целом по городу введен параметр P , который представляет собой отношение количества существенно повышенных концентраций (относительно среднего значения) к общему числу измерений в течение дня. Кроме характеристики общего состояния загрязнения воздуха в городе, при наличии достаточного количества измерений параметр P может быть показателем городского загрязнения отдельными примесями [5].

На основании статистического анализа обширного материала установлены связи параметра P с некоторыми метеорологическими элементами, а также с сочетаниями неблагоприятных метеорологических условий, таких как застой воздуха, приподнятая инверсия, опасная скорость ветра и др. Сформулированы прогностические правила по ряду городов России и показана их высокая оправдываемость [22].

В начале 1990-х годов была издана работа Л.Р. Сонькина «Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы», где отмечены результаты многолетних трудов, выполненных группами специалистов

по данным различных городов СССР [22]. В работе отражены основные направления и методы прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха.

Разработка прогноза загрязнения атмосферного воздуха развивается по двум направлениям: в районе отдельных источников и в целом по городу. При этом отдельные источники подразделяются на: высокие источники с горячими/холодными выбросами и низкие источники с неорганизованными выбросами, для которых максимальные концентрации примесей в приземном слое воздуха создаются условиями застоя воздуха.

Методы прогнозирования загрязнения воздуха по городу в целом основаны на результатах анализа влияния метеорологических и синоптических условий на концентрации примесей. При этом важной проблемой в решении задачи прогноза загрязнения воздуха в городе является учёт сложного характера связей между концентрациями и метеорологическими факторами. Поэтому при разработке прогностических схем большое значение имеет выбор метода, который позволил бы максимально учесть реальный вид указанных выше связей.

Важным этапом при разработке схем прогноза загрязнения атмосферы в городе является выбор предикторов; необходимо отбирать те характеристики, которые в наибольшей степени определяют изменения концентраций примесей в воздухе. Из всех возможных предикторов необходимо выбирать наиболее значимые, что позволяет учитывать особенности города по сезонам, связанные с климатическими условиями, рельефом, выбросами и другие.

К главным факторам, определяющим формирование уровня загрязнения атмосферы, относят: направление и скорость переноса примесей, атмосферную устойчивость (а также степень вертикального перемешивания примесей), термическое состояние воздушной массы, вымывание примесей осадками, аккумуляция примесей в туманах, инерционный фактор [22]. При этом возможность прогноза предикторов, также необходимо учитывать.

Для учёта атмосферной устойчивости используют:

- летом (H_n) – толщина слоя перемешивания,

- зимой (ΔT) – вертикальная разность температуры между уровнем земли и другим уровнем в пределах пограничного слоя атмосферы (точное установление слоя для определения ΔT не является обязательным).

- в период, когда часто наблюдаются низкорасположенные приподнятые инверсии (H_2) – высота нижней границы инверсии.

Таким образом, в качестве возможных предикторов могут быть предложены характеристики [22]:

- v_0 – Скорость ветра на высоте флюгера (м/с);
- d – направление ветра ($^\circ$ или румбы);
- v_1 – скорость ветра на уровне изобарической поверхности 925 гПа (м/с);
- ΔT – разность между значениями температуры на уровне земли и поверхности 925 гПа ($^\circ\text{C}$);
- T_0 – температура воздуха у земли ($^\circ\text{C}$);
- H – толщина слоя приземной инверсии (м), при её отсутствии $H=0$;
- $H_{\text{п}}$ – толщина слоя перемешивания (м);
- H_2 – нижняя граница приподнятой инверсии (м), если инверсия приземная, то $H_2=0$;
- $\Delta p/\Delta n$ – градиент приземного давления (гПа/ 1° меридиана);
- P' – исходное значение параметра P .

Могут использоваться и другие предикторы. Кроме того могут быть учтены комплексные метеорологические предикторы, полученные на основе статистических разработок, к числу которых относят и количественный синоптический предиктор (S_n), представляющий численную характеристику синоптической ситуации, использование которого в схемах прогноза является эффективным [5]. Однако установление S_n связано с типизацией синоптических процессов.

В качестве предиктантов применяются интегральные показатели загрязнения воздуха в городе, это параметр P , рассчитанный как для

совокупности примесей, так и для отдельных примесей. Кроме того, предиктантами могут быть нормированная средняя по городу концентрация примеси и коэффициенты разложения концентраций на естественные и ортогональные функции.

При выборе предикторов для разработки схем прогноза по материалам выполненных наблюдений за предыдущие годы проводится анализ связей между загрязнением воздуха в городе и отдельными метеорологическими параметрами, а также их различными комплексами. Отбираются те предикторы, которые в наибольшей степени коррелированы с характеристиками загрязнения.

Прогнозирование загрязнения воздуха осуществляется следующими основными методами [22]: распознавания образов, последовательной графической регрессии, линейного регрессионного анализа.

Прогнозирование загрязнения воздуха методом распознавания образов

Метод состоит в определении сходства конкретной ситуации, характерной для какой либо группы загрязнения. Оправдываемость метода составляет 75 % [22].

Метод последовательной графической регрессии

Метод позволяет наиболее полно учесть известные закономерности и выявленные по материалам наблюдений связи между концентрациями примесей в воздухе и метеорологическими параметрами. Количество предикторов не ограничивается. Ограничений к выбору пар предикторов в методе – нет. Схема позволяет прогнозировать значение параметра Р. Главным преимуществом метода является учёт связей между загрязнением воздуха и метеорологическими условиями и предшествующим уровнем концентраций. Построенные по фактическим материалам графики являются прогностическими, а оправдываемость прогнозов составляет 80 – 90 % [22].

Метод линейного регрессионного анализа

Связи между загрязнением воздуха и метеорологическими параметрами являются сложными и нелинейными, что затрудняет применение метода линейной регрессии для разработки прогностических схем. Поэтому, условием

применения данного метода является наличие достаточной линейной связи между характеристиками загрязнения воздуха и отдельными предикторами. Для построения уравнения, как правило, необходимо вычислить коэффициенты регрессии, используя метод наименьших квадратов.

Схема прогноза загрязнения воздуха по методу *множественной линейной регрессии* является более эффективной в случае проведения предварительного исключения нелинейности связей между характеристиками загрязнения и метеорологическими параметрами. Для этого выполняется преобразование предикторов с учётом реального вида связей между ними и предиктантом по материалам наблюдений в городе. Оправдываемость прогнозов составляет 80 – 90 % [22].

Интерес к вопросу прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха весьма выражен, поэтому и предлагались различные способы прогноза загрязнения воздуха по материалам наблюдений в городах страны.

Например, И.А.Шевчук предлагала способ, предполагающий качественный учёт зависимостей между концентрацией примесей в городе и отдельными метеорологическими параметрами (по материалам наблюдений в гг. Новосибирск и Кемерово). Главной особенностью способа является использование комплексного показателя, учитывающего совместное влияние термической устойчивости и градиента давления в пограничном слое атмосферы на содержание примесей в воздухе [31, 32].

И.Н. Пономаренко разработал схему по методу последовательной графической регрессии отдельно для случаев приземной инверсии, приподнятых инверсий с нижней границы до 1000 м над уровнем земли и безинверсионного состояния в нижнем километровом слое; для летнего сезона – отдельно при наличии и отсутствии слоя перемешивания (по материалам наблюдений в г. Киев) [33].

Оценка эффективности методов прогноза загрязнения воздуха, связана с расчётом коэффициента корреляции между прогностическими и рассчитанными по фактическим данным значениям обобщённого показателя загрязнения воздуха

в городе. Эффективность метода прогноза загрязнения воздуха можно считать удовлетворительной, если коэффициент корреляции не менее 0.7.

1.3 Исследования по прогнозированию загрязнения атмосферного воздуха в настоящее время

С момента ввода в действие ОНД-86 в России произошел ряд изменений в структуре антропогенных выбросов, изменилась система организации воздухоохраных работ, появился ряд новых научных результатов, существенно увеличилась мощность компьютеров. В связи с этим в ГГО при участии (в части нормирования выбросов) НИИ «Атмосфера» разработана взамен ОНД-86, прошла согласование в Росгидромете и находится в министерстве природных ресурсов на рассмотрении и утверждении новая редакция методики расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, от 2012 г. В этом документе применительно к расчету максимальных разовых концентраций сохранены основные положения ОНД-86, но существенно расширена сфера применения расчетных формул к различным типам реальных источников [34].

Кроме того, в общем, работы последнего времени включают [35 – 46]:

- совершенствование методов расчета концентраций, осредненных за длительные периоды;
- разработку метода оперативного прогнозирования загрязнения воздуха с использованием детерминированных моделей атмосферной диффузии;
- оценку влияния возможных изменений климата до середины XXI века на параметр, учитывающий влияние атмосферной турбулентности в методике расчета загрязнения атмосферы;
- моделирование осаждения примеси на подстилающую поверхность,
- уточнение используемых моделей структуры пограничного слоя и расчет загрязнения воздуха в фиксированные моменты времени.

С целью решения задач моделирования и прогноза загрязнения воздуха в региональном и глобальном масштабе в ГГО разработана химическая транспортная модель (ХТМ). В разработанной эйлеровой ХТМ реализовано численное решение уравнений атмосферной диффузии методом дробных шагов [38]. Эта модель работает в режиме «офлайн»; в качестве метеорологических драйверов для нее используются модели численного прогноза погоды (MM5, WRF и др.). Одновременно в ГГО ведется работа с региональными/глобальными ХТМ, разработанными за рубежом. В частности, запущены разработанные в FMI (Финляндия) ХТМ SILAM (обсерватория принимала участие в разработке отдельных блоков этой модели) и система IS4FIRE. Ведутся работы по оценке влияния возможных изменений климата на характеристики загрязнения воздуха.

В Москве сотрудниками Гидрометцентра России (Г.В. Сурковой, А.П. Ревокатовой, А.А. Кирсановым, С.Г. Ривиным) ведутся работы по краткосрочному прогнозированию концентраций загрязняющих веществ в атмосфере мегаполисов (на примере г. Москва) с использованием ХТМ COSMO-RU7-ART. Отличительной особенностью COSMO-Ru7-ART является совместный расчет метеорологических величин и химических преобразований на каждом шаге по времени, то есть используется «онлайн» подход. Авторы предлагают метод расчета эмиссий загрязняющих веществ в реальном времени и доказывают его применимость, в одной из работ, на угарном газе [41, 42].

Обеспечением качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге занимаются и сотрудники Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности города (Д. А. Франк-Каменецкий). При этом для моделирования рассеивания загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников специалисты указанной организации используют программный комплекс «Эколог-Город-Санкт-Петербург» входящий в состав программных средств государственной информационной системы «Экологический паспорт территории Санкт-Петербурга». В состав программного комплекса входят модули расчета максимально разовых концентраций, средних приземных концентраций,

актуальных концентраций, выпадений загрязняющих веществ из атмосферного воздуха и рисков для здоровья населения в зависимости от уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Для расчета выбросов от передвижных источников в 2012 году были разработаны и внедрены региональные методические документы, получившие положительное заключение государственной экологической экспертизы: методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга (Распоряжение Комитета от 17.02.2012 № 23-р); методика расчета годовых выбросов передвижных источников на автомагистралях Санкт-Петербурга на основе обследования структуры транспортных потоков (Распоряжение Комитета от 17.02.2012 N 22-р), разработана впервые в России. Расчетные формулы, использованные в этом документе, позволяют учитывать суточную, недельную и сезонную вариации интенсивности транспортных потоков. Для различных типов магистралей Санкт-Петербурга на основе обобщения данных временной изменчивости интенсивностей автотранспортных потоков получены коэффициенты пересчета, учитывающие нестационарность дорожного движения [43].

Развивается и направление среднесрочного прогнозирования загрязнения воздуха. Например, Л.Р. Сонькин в соавторстве с Т.В. Костаревой разработали схему прогноза загрязнения воздуха в городе на три дня на основе численного метеорологического прогноза, с использованием прогностических карт погоды. В качестве предикторов авторами выбраны предсказанные метеорологические характеристики и синоптические ситуации. В работе была выявлена тесная корреляция между синоптическим предиктором, установленным по прогностическим картам и интегральным показателем загрязнения воздуха (в г. Пермь). Прогностические схемы были разработаны с использованием методов графической регрессии и множественной линейной регрессии с предварительным исключением нелинейности связей. Для оценки эффективности разработанных схем был рассчитан критерий Багрова (H^*), который показал высокую

эффективность (оправдываемость около 90 %). Кроме того, считается возможным распространение данного подхода на другие города [44].

Актуальным является прогнозирование экстремально высоких уровней загрязнения воздуха (ЭВУЗВ). В этом направлении (на примере городов Урала) успешно работал коллектив авторов в составе Т.В. Костаревой, В.Н. Кирилловой, В.Д. Николаева, Л.Р. Сонькина. Для выделения редких и опасных случаев ЭВУЗВ используется параметр P , который в среднем составляет 0.2; когда $P > 0.5$ – отмечают ЭВУЗВ. В дни с ЭВУЗВ концентрации вредных веществ в воздухе превышают ПДК, особенно – специфические примеси. В работе авторами были выявлены наиболее неблагоприятные синоптические ситуации, особенности синоптических процессов способствующих формированию ЭВУЗВ и сформированы правила для прогноза ЭВУЗВ, соответственно. Работа была выполнена с использованием: метода множественной линейной регрессии с предварительным исключением нелинейности связей; метода графической регрессии, с использованием двух предикторов S_n и P , достигая при этом наибольшей эффективности; S_n – для разработки синоптико-статистических схем прогноза ЭВУЗВ. Кроме того, были получены общие по региону характеристики загрязнения воздуха с использованием метода разложения по естественным ортогональным функциям [45].

Очевидно, что города с ограниченной сетью мониторинга загрязнения атмосферы также нуждаются в прогнозировании качества воздуха. В связи с этим тем же коллективом, в соавторстве с Г.В. Бехтеревой, Л.В. Когачевой и Е.Е. Ярлынской (на примете г. Петрозаводск) предложена методология прогнозирования качества воздуха при ограниченной сети мониторинга загрязнения атмосферы. Методология включила новые положения и подходы, используемые при построении прогностических схем и разработке комплексов НМУ. В результате выполненных в ГГО в последние годы исследований были созданы методические основы для организации прогнозирования суточных максимумов концентраций вредных веществ в воздухе города. Для разработки прогностической модели применялся метод множественной линейной регрессии с

предварительным исключением нелинейности связей. Опытным путём отмечена эффективность разработанных схем (оправдываемость около 95 %) [46].

Кроме того авторами разработан комплекс НМУ для автотрасс различных групп и рекомендации для составления предупреждений об уровне загрязнения воздуха.

Основные выводы

Используемые в настоящее время в оперативной практике Росгидромета методы прогноза загрязнения воздуха характеризуют общее состояние воздушного бассейна в городах и выявляют воздействие на атмосферу отдельных источников выбросов вредных веществ. При прогнозировании предсказывается интегральный показатель загрязнения воздуха совокупностью вредных веществ (параметр P) по городу в целом и комплекс НМУ, относящийся к группе источников выбросов.

Единое понимание физики процессов, определяющих загрязнение атмосферы, должно быть основой, как прогнозирования, так и моделирования загрязнения атмосферного воздуха. Фильтрация шумов является залогом качества результатов. Кроме того, использование детерминированных моделей предпочтительнее в долгосрочном прогнозировании, а в оперативном – стохастических. При этом аппарат стохастического моделирования должен обеспечивать возможность учета реальных особенностей протекающих в атмосфере процессов.

Методология моделирования и прогноза загрязнения воздуха во всём мире развивается интенсивными темпами, однако до сих пор имеется ряд нерешенных проблем, рассмотрение которых требует активизации научного поиска. Одним из актуальных направлений деятельности должно быть поэтапное расширение работ в области мониторинга и прогноза загрязнения атмосферы, что частично подлежит реализации в рамках данного исследования (формирование комплекса уточнений прогноза загрязнения атмосферы, разработка схем «дерево принятия решений» для определения ожидаемого уровня загрязнения воздуха). Развитие этого направления, в первую очередь, требует создания необходимых баз данных

и обеспечения доступа к содержащейся в них информации. Таким образом, в работе будут сформированы базы данных содержащие информацию, как о состоянии атмосферного воздуха, так и по метеорологическим характеристикам, в объёме достаточном для реализации цели и задач исследования, указанных во введении к данной работе.

2 Климатическая характеристика г. Санкт-Петербург

2.1 Общегеографическая характеристика

Город федерального значения Российской Федерации, административный центр Северо-Западного федерального округа – Санкт-Петербург представляет собой важный культурный, научный и промышленный центр мирового значения, а также крупнейший транспортный узел северо-запада страны.

Санкт-Петербург расположен на северо-западе страны, в западной части Приневской низменности, при впадении р. Нева в Финский залив Балтийского моря, на 42 островах разветвленной дельты р. Нева. Высота города над уровнем моря составляет: для центральных районов — 1 – 5 м, северных периферийных районов — 5 – 30 м, южных и юго-западных периферийных районов — 5 – 22 м. Самое высокое место в черте города — Дудергофские высоты в районе Красного Села с максимальной высотой 176 м [47]. Город без учёта пригородов расположен между $60^{\circ}5'$ (Промзона Парнас) и $59^{\circ}48'$ с.ш. (Авиагородок). Протяжённость Санкт-Петербурга в административных границах: с севера на юг в пределах кольцевой автодороги (КАД) — 32 км (за пределами КАД – 52 км), с северо-запада на юго-восток за пределами КАД, — около 90 км. Таким образом, географический центр Санкт-Петербурга находится в Финском заливе, недалеко от пос. Ольгино и имеет координаты: $59^{\circ}57'$ с.ш, $30^{\circ}19'$ в.д. Высокоширотное положение города обуславливает явление так называемых «белых ночей».

Площадь территории города составляет 1439 км² [48]. Территория Санкт-Петербурга, в соответствии с законом г. Санкт-Петербург от 25 июля 2005 года № 411-68 «О территориальном устройстве Санкт-Петербурга» (с изменениями и дополнениями вступившими в силу 01.01.2014 г), делится на 18 районов, как показано на рисунке 2.1 [49].



Рисунок 2.1 – Районы г. Санкт-Петербург, 2014 г [49]

Таким образом, в пределах города выделяют следующие районы: Адмиралтейский; Василеостровский; Выборгский; Калининский; Кировский; Колпинский; Красногвардейский; Красносельский; Кронштадтский; Курортный; Московский; Невский; Петроградский; Петродворцовый; Приморский; Пушкинский; Фрунзенский; Центральный [49].

2.2 Климатообразующие факторы

Приход и расход солнечной радиации

Солнечная радиация является одним из главных климатообразующих факторов. Интенсивность солнечной радиации определяется характером циркуляции атмосферы [50].

Основными элементами радиационного режима являются прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную солнечным лучам поверхность, рассеянная радиация неба, суммарная солнечная радиация, отраженная земной

поверхностью радиация, радиационный баланс; кроме того, расчётные: прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность, поглощённая коротковолновая радиация, альbedo, эффективное излучение [51].

Среднегодовое значение суммарной солнечной радиации составляет 3070 МДж/м², из которых на прямую солнечную радиацию приходится 1560 МДж/м² [51]. В годовом ходе при реальных значениях облачности максимум суммарной радиации приходится на июнь – 578 МДж/м², минимум – на декабрь (8 МДж/м²). Для прямой радиации максимум также наблюдается в июне – 344 МДж/м², а в декабре прямая солнечная радиация практически не поступает [51]. Суточный ход суммарной и прямой радиации определяется высотой солнца.

Годовой ход радиационного баланса определяется суммарной радиацией, эффективным излучением и альbedo подстилающей поверхности (рисунок 2.2) и выражен отрицательными значениями с ноября по март (холодный период), положительными – с апреля по октябрь (тёплый период).

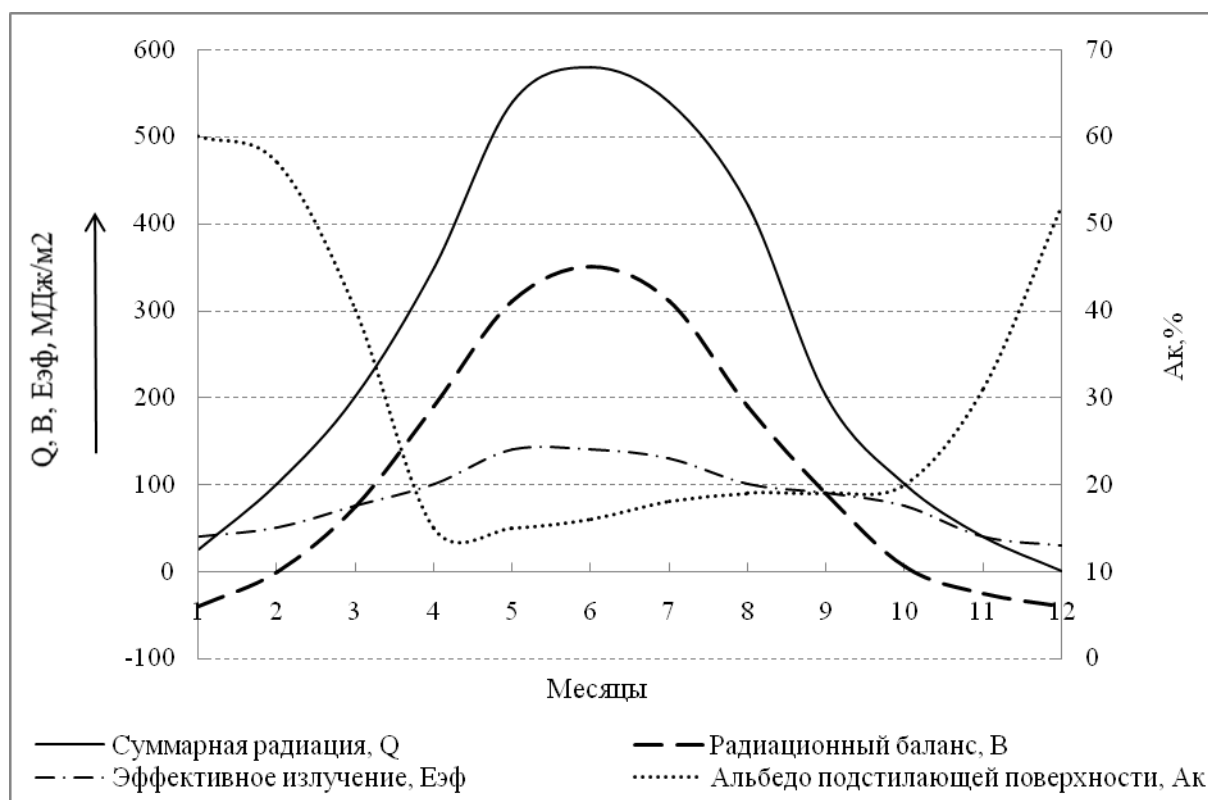


Рисунок 2.2 – Годовой ход составляющих радиационного баланса и альbedo подстилающей поверхности г. Санкт-Петербург [51]

В черте города, из-за изменения альбедных характеристик, поглощение коротковолновой радиации увеличивается на 20 – 50 %, что может привести к увеличению радиационного баланса. Однако радиационный баланс уменьшается при преобладающей роли ослабления солнечной радиации антропогенными примесями в атмосферном воздухе. В загрязненной атмосфере больших городов умеренных широт коротковолновая радиация незначительно меньше длинноволновой; в городе наблюдается слабый радиационный дефицит, в сравнении с сельской местностью. Город влечёт изменения всех составляющих радиационного баланса, однако его суммарное изменение – незначительно, что объясняется взаимной компенсацией изменений отдельных компонентов [52].

Циркуляция атмосферы

Циркуляция атмосферы представляет собой совокупность основных воздушных течений. В системе атмосферной циркуляции на территорию Санкт-Петербурга перемещаются воздушные массы, сформировавшиеся над различными районами и имеющие разные метеорологические характеристики. Для Санкт-Петербурга, расположенного на северо-западе европейской части России характерно преобладание западного переноса воздушных масс; основной чертой циркуляционных процессов является возникновение, перемещение и эволюция крупномасштабных атмосферных вихрей – циклонов и антициклонов. В теплый период года Санкт-Петербург находится под влиянием климатологического полярного фронта, разделяющего умеренную и тропическую воздушные массы, что объясняет преобладание неустойчивых погодных условий и активную циклоническую деятельность, в холодный – часто влияние арктического фронта. Существенное влияние на циркуляцию атмосферы изучаемой территории оказывают постоянные барические системы: Азорский, Арктический и Гренландский максимумы; Исландский и сезонный Южно-Азиатский минимумы [53].

Подстилающая поверхность

Особенности подстилающей поверхности оказывают влияние, кроме прочего, на облачность, влажность, осадки, тепловой и ветровой режим местности.

Санкт-Петербург располагается в западной части Приневской низины и со всех сторон граничит с Ленинградской областью, которая, в свою очередь, расположена в переходной лесной зоне от Скандинавского (Балтийского) щита к Русской плите. В рельефе четко выделяются три ступени: наиболее пониженная вдоль долины р. Нева, берегов Финского залива и Ладожского озера; южная – за уступом Балтийско-Ладожского глинта (Ордовикское плато); самые южные и восточные – отроги более высокой Валдайской возвышенности, отделенные Валдайским уступом («карбонным глинтом») [47].

Зеленые насаждения в городе выполняют различные функции, главнейшими из которых является оздоровление воздушного бассейна города и улучшение микроклимата. Общая площадь зеленых насаждений города, которые включает в себя насаждения общего пользования (парки, сады, скверы, озелененные улицы), ведомственные насаждения ограниченного и специального использования (озеленение учреждений, предприятий, внутриквартальное озеленение), лесопарковый защитный пояс города, более 30 тыс. га [54]. Деревья и кустарники, произрастающие на площади 1 га, за год улавливают 60 т пыли. В вегетационный период древесные насаждения уменьшают запыленность воздуха на 42.2 %, при отсутствии лиственного покрова на 37.5 % [48]. Кроме того зелёные насаждения влияют на радиационный баланс и скорость ветра, на режим температуры и влажности приземного слоя воздуха, на его аэрозольный состав.

Таким образом, ландшафт города своеобразен и искусственен; его создают массивы жилых, общественных и промышленных строений, чередование бетонированных и асфальтированных улиц и площадей с водными бассейнами и зелеными насаждениями. Поэтому городская среда представляет собой систему улиц, набережных, площадей, парков, скверов, акваторий, зданий, сооружений и других элементов, формирующих урбанизированное пространство, в границах

которого осуществляется многообразная жизнедеятельность городского населения.

Особенности городской застройки и улично-дорожной сети оказывают влияние, кроме прочего, на распространение антропогенных примесей в атмосферном воздухе города.

Элементами планировочной структуры исторически сложившихся районов Санкт-Петербурга являются земельные участки и кварталы, объединённые в средовые районы, расположенные как в историческом центре города, так и на участках периферийных районов, застройка которых ведётся и сегодня, а планировка не учитывает климатических особенностей города [49].

Для всей территории Санкт-Петербурга типичными элементами городской инфраструктуры являются городские автомагистрали, автостоянки, уличные каньоны, городские перекрёстки, дворовые территории.

В работах В.Н. Денисова начала 21 века отмечается тенденция резкого убывания концентраций примесей по высоте уличного каньона (автомагистрали, стесненной с двух сторон зданиями), закономерность уровня загрязнения воздуха от ширины каньона (чем меньше ширина каньона, тем более высокие концентрации загрязняющих веществ) [55, 56]. Таким образом, малая ширина каньона и высокая плотность застройки, характерные для исторического центра города (Адмиралтейский, Василеостровский, Петроградский и Центральный административные районы) препятствуют рассеянию примесей. Значительное ухудшение условий рассеивания загрязняющих веществ по территории районов исторического центра города связано с наличием характерных дворов-«колодцев» и «глухих» дворов, где в безветренную погоду практически отсутствует ветровой перенос примесей, поэтому рассеяние их осуществляется только за счет естественной конвекции, что способствует образованию так называемых застойных зон в условиях стеснённой застройки.

Географическое положение Санкт-Петербурга обусловило планировочную систему улично-дорожной сети, которая представляет собой сочетание

прямоугольной и радиальной схем магистральных улиц и дорог с отсутствием прямоугольной и радиальной схем исторического центра, что приводит к излишней концентрации транспорта на центральных магистралях города. Недостатком в планировочной системе города является ограниченное число мостов через р. Нева и её рукава.

Застройка периферийных районов города характеризуется своеобразным микроклиматом; в пределах данной территории скорости ветра – несколько завышены в сравнении с центральной частью, что создает в жилых кварталах сквозное проветривание.

Поле ветра в городе деформируется в зависимости от микроклиматических условий в каждой точке. Вдоль фасадов зданий ветровые характеристики изменяются следующим образом: при перпендикулярных к фасаду ветрах воздушный поток изменяет свое направление вблизи зданий на 90° , направляясь вдоль фасада; при этом скорость ветра незначительно увеличивается, а направление ветра всегда совпадает с основным. Наличие древесно-кустарниковой растительности у фасада зданий снижает скорость ветра на 20 – 30 % [57].

Таким образом, основная застройка Санкт-Петербурга характеризуется высокой плотностью, небольшими размерами кварталов и компактностью внутриквартальных пространств, а также высокой плотностью улично-дорожной сети; кроме того, транспортные коммуникации, особенно в историческом центре города, не справляются с непрерывно возрастающей нагрузкой от автотранспортных средств, что способствует накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города.

2.3 Характеристика основных метеорологических элементов в современных условиях

2.3.1 Описание базы метеорологических данных

Изучение погодных условий Санкт-Петербурга за период времени с 2006 по 2014 гг, с целью оценки их соответствия среднесезонным значениям, выявления отклонений от климатической нормы, осуществлялось по данным метеорологических наблюдений, выполненных на объединённой гидрометеорологической станции (ОГМС) под синоптическим индексом – 26063. Метеоплощадка с 1970 г. расположена по адресу: ул. Профессора Попова, д. 48 (Песочная набережная, Аптекарского острова) – Петроградский район г. Санкт-Петербург. Станция находится в ведении «СЗ УГМС».

Гидрометеорологические наблюдения ведутся по единой международной программе и включают измерение температуры, давления и влажности воздуха, температуры почвы, скорости и направления ветра, видимости, высоты нижней границы облаков, различных характеристик солнечной радиации, атмосферных осадков и метеорологических явлений. Наблюдения осуществляются каждые 3 часа (8 раз в сутки: 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 и 21:00 ч. по московскому времени), ежесуточно, в течение всего года.

В работе изучены и обработаны срочные (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 и 21:00) данные метеорологических наблюдений, за период с 2006 по 2014 гг, выполненные на станции 26063 [58]. В рамках данного исследования из базы метеорологических данных за рассматриваемый период времени для анализа были отобраны следующие характеристики: атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха, значение точки росы, скорость и направление ветра у земли, количество осадков, а также явления погоды (туманы). Перечисленные составляющие определяют климатическую характеристику города последнего десятилетия, кроме того, являются основными метеорологическими параметрами, в общем, оказывающими влияние на диффузию примесей.

Сведения о распределении температуры, давления, влажности воздуха и ветра на высотах до 40 км получают с помощью радиозондирования. Таким образом, данные по вертикальному профилю атмосферы, в рамках исследования, позволяют определить наличие явления температурной инверсии, для оценки вклада явления в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха. Радиозондирование атмосферы г. Санкт-Петербург производится регулярно, дважды в сутки (за сроки 00:00 и 12:00 всемирного скоординированного времени (UTC)) на станции Воейково (расположена северо-восточнее Санкт-Петербурга, на удалении 20 км).

2.3.2 Приземные метеорологические элементы

Атмосферное давление.

В каждой точке земной поверхности атмосферное давление не остается постоянным. Характер изменений определяется термическими и динамическими причинами. Особенностью годового режима атмосферного давления в Санкт-Петербурге является большая изменчивость во времени, особенно в осенне-зимний период, обусловленная интенсивной циклонической деятельностью.

Диапазон изменения атмосферного давления в городе широкий – от 953.8 до 1064.3 гПа. Изучение работ Ц.А. Швера позволило вычислить среднегодовое значение давления атмосферного воздуха города (за период с 1881 по 1965 гг) – 1012.8 гПа. В годовом ходе атмосферного давления (рисунок 2.3) наименьшие значения отмечены в период летних месяцев, максимальные – в мае, что связано с перестройкой барического поля атмосферы с зимнего режима на летний (в мае исчезает азиатский антициклон, начинает прогреваться континент). Годовая амплитуда атмосферного давления составляет 4.5 гПа [51].

С целью оценки годового хода атмосферного давления за период с 2006 по 2014 гг.; выявления отличий в годовом ходе атмосферного давления последнего десятилетия от среднемноголетней нормы (период с 1881 по 1965 гг) [51] для 12 месяцев за 9 рассматриваемых лет вычислено среднее значение атмосферного

давления. Полученные результаты представлены в графическом виде на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Годовой ход атмосферного давления Санкт-Петербурга за периоды 2006 – 2014 и 1881 – 1965 гг. (по [51])

Среднегодовое значение атмосферного давления за период с 2006 по 2014 г составило 1012,7 гПа, что на 0,1 меньше среднего многолетнего за период с 1881 по 1965 гг. Однако анализ графика годового хода атмосферного давления последнего десятилетия (рисунок 2.3), показывает сдвиги относительно периода 1881 – 1965 гг. – максимальное значение смещено на февраль, что связано с ростом в последнее десятилетие повторяемости антициклонов в феврале (см. далее, рисунок 3.4).

Диапазон изменения значений среднесуточного давления воздуха внутри каждого месяца имеет большие пределы. В то же время изменения атмосферного давления в течение суток – выражены слабо, однако при быстром прохождении барических систем давление воздуха может резко за несколько часов понизиться или повыситься и вызвать тем самым в отдельные дни большие суточные амплитуды [51].

Температура воздуха

Температурный режим является одной из важнейших характеристик климата. Естественный ход температуры воздуха, зависящий от широтного пояса, обычно нарушается под воздействием атмосферной циркуляции. Типичная для Санкт-Петербурга частая смена воздушных масс различного происхождения обычно обуславливает большую изменчивость погоды и, соответственно, значительные колебания температуры воздуха. В ряде случаев на температурном режиме сказывается также «эффект урбанизации»: в холодные зимы город становится своеобразным «островом тепла», вследствие интенсивного отопления зданий, а летом городские сооружения и дорожные покрытия, нагреваясь на солнце, могут стать дополнительным источником значительного повышения температуры окружающего воздуха [57].

Большое влияние на формирование климата Санкт-Петербурга оказывает основная водная артерия – р. Нева, а также Финский залив и Балтийское море. Климат города влажный, близкий к морскому, с умеренно теплым летом и продолжительной умеренно холодной зимой. В зимнее время черты морского климата преобладают над континентальным, летом – более характерны черты континентального климата. Благодаря частому проникновению теплых воздушных масс с Атлантического океана зимы города, как правило, не суровые. Морской климат приводит к сдвигу температурного минимума, который вместо января приходится на февраль. Таким образом, самым холодным месяцем является февраль. Абсолютный минимум температуры составляет $-35.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (январь 1883 г), чаще обусловлен затоком холодных северо-восточных воздушных масс [51]. Самый теплый месяц – июль. Абсолютный максимум температуры составляет $+37.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (август 2010 г) [59]. Среднегодовая температура согласно климатической норме (1961 – 1990 гг) для Санкт-Петербурга составляет $+5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ [59]. Температура воздуха характеризуется ярко выраженным годовым ходом (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Годовой ход температуры воздуха г. Санкт-Петербург за периоды 2006 – 2014 и 1961 – 1990 гг. (по [58])

Ноябрь – первый месяц со средней температурой ниже нуля (переход через ноль к отрицательным значениям, в среднем с середины месяца, 12-17 ноября). Период с отрицательными температурами длится около 135 дней – до конца марта. Зимний период, как правило, прерывают кратковременные оттепели [51, 59]. В декабре среднемесячная температура составляет $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, вследствие дополнительного к радиационному притоку тепла с Атлантического океана, повышающему температуру воздуха в отдельные дни до положительных значений. В январе морозы усиливаются и наблюдаются чаще; средняя температура января и февраля в Санкт-Петербурге различаются мало и составляют $-7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Зимняя температура в среднем колеблется от -5.0 до $-10.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [51, 59].

Приход весны в Санкт-Петербурге привязывают к середине марта. От марта к апрелю происходит самый большой в году скачок средней месячной температуры воздуха (примерно на $5.0 - 7.0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и она становится положительной (около $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$), чему благоприятствуют увеличение количества солнечного тепла, возрастающий прогрев почвы, освобождающийся от снежного покрова к началу апреля. Весной определяющую роль в формировании температурного режима приобретает радиационный фактор.

Начало лета приходится на июнь месяц; конец смещается на середину сентября. Повышение температуры воздуха происходит в среднем до 21 июня, а наиболее теплыми являются вторая третья декады июля. В июле среднемесячная (период 1961 – 1990 гг) температура достигает 17.8 °С, превышая температуру июня и августа на 2.0- 3.0 °С [59].

Осеннее понижение температуры заметно от сентября к октябрю (6.0 °С), когда при ослабевающей инсоляции оно нередко усиливается холодной адвекцией. В среднем температура воздуха в осенний период колеблется от + 4.3 до 0.0 °С [51, 59].

Для оценки термического режима Санкт-Петербурга за период с 2006 по 2014 гг вычислены средние значения температуры воздуха для каждого месяца года за 9 исследуемых лет, графическое отображение которых представлено на рисунке 2.4. Анализ рисунка 2.4 позволяет отметить повышение температуры воздуха по городу, относительно прошлых лет (период 1961 – 1990 гг) на 2.0 °С. При этом значение среднегодовой температуры воздуха Санкт-Петербурга за период времени с 1961 по 1990 гг равно 5.0 °С, что принято за климатическую норму [59], а за период с 2006 по 2014 гг повысилась до 6.6 °С. Полученные результаты подтверждает и график межгодовой изменчивости среднегодовой температуры воздуха по Санкт-Петербургу за период с 2006 по 2014 гг, представленный на рисунке 2.5.

При анализе графика межгодовой изменчивости (рисунок 2.5) отмечены 2010 и 2012 гг. как годы с минимальным значением среднегодовой температуры за рассматриваемый период, несмотря на это значение температуры в указанные годы превышает климатическую норму на 0.6 и 0.7 °С, соответственно. При этом 2010 г характеризуется экстремально длительным периодом высоких летних температур, когда в августе зафиксирован абсолютный максимум, а также отрицательными значениями аномалий температуры воздуха зимой.



Рисунок 2.5 – Изменчивость среднегодовых значений температуры воздуха г. Санкт-Петербург за период 2006 – 2014 гг.

Суточный ход температуры воздуха зимой, когда преобладает плотная, низкая облачность, выражен слабо. Таким образом, зимой суточная амплитуда Санкт-Петербурга не превышает $0.6 - 1.1$ °С, увеличиваясь летом до 6.4 °С, что связано с большим количеством ясных дней. В суточном ходе температуры минимум, в зависимости от времени года, отмечается перед восходом солнца [51].

К числу специфических особенностей микроклимата Санкт-Петербурга и других крупных городов следует отнести наличие так называемого «острова тепла», в центральных частях города по Г.Е. Ландсбергу [57], где температура воздуха, в среднем на $0.5 - 1.0$ °С выше температуры окрестностей. «Остров тепла» является отражением суммы микроклиматических изменений, связанных с антропогенными преобразованиями городской поверхности (например, городские постройки, заасфальтированные поверхности влекут малое испарение). Существование «острова тепла» приводит к тому, что последние весенние заморозки могут прекращаться на несколько недель раньше, а первые осенние начинаются на несколько недель позже, в сравнение с районами, где «остров тепла» отсутствует [51]. При этом центр городского «острова тепла» обычно сдвинут от центра города в сторону направления преобладающих ветров. Таким

образом, ядро «острова тепла» в Санкт-Петербурге находится, предположительно, в Центральном и Адмиралтейском районах.

Ветер

На ветровой режим Санкт-Петербурга, кроме прочего, оказывают влияние Финский залив и характер застройки города. В зависимости от расположения и плотности застройки кварталов, преобладающий воздушный поток может существенно деформироваться, а скорость его ослабевать или усиливаться.

Так, ветровой режим города характеризуется преимущественно западным, юго-западным и южным направлениями, совокупная повторяемость которых за год превышает 50 %. Ветра восточных и северных направлений в Санкт-Петербурге наблюдаются реже.

Средние скорости ветра в Санкт-Петербурге, по данным многолетних наблюдений (1936 – 1976 гг), составляют около 3 м/с (таблица 2.1). Холодный период года характеризуется усилением скорости ветра, с максимальными значениями в декабре-январе; в теплый период, напротив, скорости ветра ослабевают, штилевые значения преобладают в июле и сентябре. Анализ таблицы 2.1 позволяет отметить снижение средних скоростей ветра на 1 м/с: с 3 м/с (период с 1936 по 1976 гг) до 2 м/с (период с 2006 по 2014 гг), как среднегодовых значений, так и среднемесячных. При этом повторяемость штилевых значений ветра в годовом распределении периода 2006 – 2014 гг уменьшилась относительно годового хода периода 1936 – 1976 гг, как показано на рисунке 2.6. Данное снижение скоростного режима ветра объясняется увеличением площади городской застройки без учета розы ветров, а также снижением повторяемости циклонов (сопровождается усилением скорости ветра, особенно при прохождении фронтальной зоны) и увеличением повторяемости антициклонов для Санкт-Петербурга (см. далее, рисунок 3.5).

Таблица 2.1 – Средняя и максимальная скорость ветра г. Санкт-Петербург за периоды 1936 – 1976 гг^(*)(по[51]) и 2006 – 2014 гг^(**)

Скорость ветра, м/с	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя*	3.4	3.1	3.0	2.9	2.8	2.9	2.6	2.4	2.7	3.2	3.3	3.4
Средняя**	2.2	1.8	2.0	2.0	1.8	1.8	1.7	1.7	1.8	2.2	2.4	2.6
Максимальная	12	12	17	12	17	12	12	12	17	14	12	17

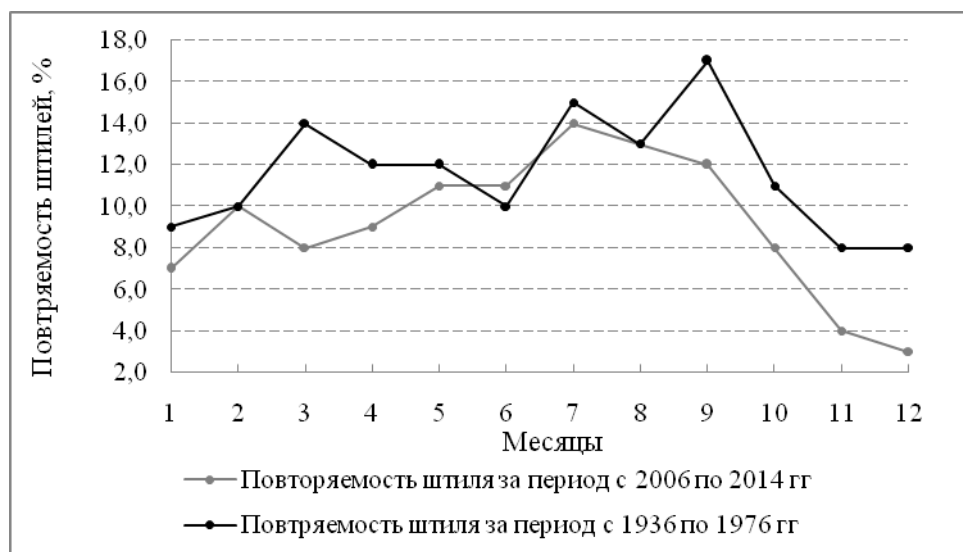


Рисунок 2.6 – Годовой ход повторяемости штилевых значений ветра г. Санкт-Петербург за периоды 2006 – 2014 и 1936 – 1976 гг (по [51])

В отдельные дни, когда барические градиенты при прохождении циклонических образований бывают значительными, скорость ветра резко усиливается; в любой из месяцев максимальный порыв ветра составляет от 18 – 20 м/с и более [51].

С целью оценки преобладающего направления ветра за период с 2006 по 2014 гг выполнено суммирование всех случаев каждого направления (западное, восточное, южное, северное, юго-западное, юго-восточное, северо-западное, северо-восточное, штиль), после чего произведён пересчёт в процентное отношение. Таким образом, преобладающими направлениями ветра за рассматриваемый период являются: юго-западное (32 %), северо-восточное (17 %), юго-восточное (14 %), западное (11 %), что отражает климатическую

норму, однако в рассматриваемый период времени отмечена высокая повторяемость северо-восточного направления ветра (максимальные значения которой зафиксированы в 2009 и 2010 гг). Как известно, северо-восточное направление ветра по Санкт-Петербургу является неблагоприятным для очищения атмосферного воздуха от загрязняющих веществ [60], кроме того небольшие скорости ветра способствуют росту загрязнения воздуха.

Влажность воздуха

Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяного пара. Содержание влаги в воздухе меняется в зависимости от температуры воздуха (сезона, времени суток), физико-географических условий окружающей местности, окружающей циркуляции и состояния подстилающей поверхности. Чем выше его температура, тем больше испарение, а значит и содержание абсолютной влаги в воздухе; относительная влажность отличается обратной связью, которая характеризует степень увлажнения воздуха. На практике широкое применение нашли показатели относительной влажности [51].

Вследствие преобладания в течение всего года морских воздушных масс, поступающих с Атлантики относительная влажность в Санкт-Петербурге во все месяцы высокая, составляет 70 – 90 %.

Годовой ход величины относительной влажности характеризуют следующим образом (рисунок 2.7): самые высокие среднемесячные значения относительной влажности воздуха отмечаются в холодный период с ноября по январь, когда приход солнечного тепла минимальный, а испарение очень мало, и составляет около 87 % – в течение всех суток. С февраля по апрель, среднемесячные значения относительной влажности в дневные часы уменьшаются; наименьшие ее значения в течение года – в мае, в среднем, не ниже 60 %. С июня дневные значения относительной влажности воздуха постепенно повышаются, особенно существенно в осенние месяцы. Таким образом, в годовом ходе среднемесячные значения относительной влажности воздуха понижаются от января к маю, после чего возрастают к декабрю. Годовой ход относительной влажности противоположен годовому ходу температуры воздуха,

что говорит об уменьшении относительной влажности с ростом температуры воздуха.



Рисунок 2.7 – Годовой ход относительной влажности воздуха г. Санкт-Петербург за периоды 2006 – 2014 и 1961 – 1990 гг (по [51]).

С целью выявления отклонений от многолетней нормы, вызванных ростом температуры воздуха, на рисунке 2.7 отражён график годового хода относительной влажности за период с 2006 по 2014 гг (представлен среднемесячными значениями за исследуемые 9 лет). Анализ рисунка 2.7, на котором представлено распределение среднегодовых значений относительной влажности за периоды: с 1961 по 1990 и с 2006 по 2014, позволяет сделать вывод о незначительном понижении относительной влажности в течение года за период с 2006 по 2014 гг относительно годового хода за период с 1936 по 1978 гг. Максимальное понижение среднемесячного значения влажности приходится на апрель; в целом понижение среднемесячных значений влажности – не пропорционально повышению значений температуры, о чем свидетельствует сравнительный анализ рисунков 2.7 и 2.4 соответственно. Данный результат объясняется увеличением количества выпавших за исследуемый период времени осадков (см. далее, рисунок 2.8, рисунок 2.9), что характеризует общий режим увлажнения города.

Суточный ход относительной влажности наиболее резко выражен в теплое время года, с апреля по сентябрь, когда максимальные значения относительной влажности воздуха наблюдаются в 4 – 5 часов, минимальные – в 14 – 16 часов, а суточная амплитуда при этом составляет 15 – 30 %. В переходные месяцы (март, октябрь) амплитуда уменьшается до 10-15 %. Зимой суточная амплитуда составляет около 1 – 5 %. Число дней, когда влажность воздуха в течение суток выше 80 %, составляет в среднем за год 140 – 155 дней. Сухие дни (с влажностью 30 % и менее) довольно редки и составляют в сумме за год всего от 4 до 12 дней [51].

Атмосферные осадки

Режим увлажнения в основном определяется выпадающими осадками, которые характеризуются количеством и фазовым состоянием (жидкие, твёрдые и смешанные), интенсивностью и продолжительностью выпадения. Количество осадков измеряется толщиной слоя выпавшей воды в миллиметрах при отсутствии стока, просачивания и испарения. Выпадение осадков отличается большой изменчивостью во времени и пространстве, в течение года и внутри каждого месяца [51].

Осадки в городе выпадают часто: среднее число дней с осадками составляет 194 за год. В среднем за год количество выпавших осадков колеблется от 517 до 557 мм (с поправками на смачивание и ветровой недоучёт 637-666 м). Известный максимум выпавших осадков приходится на 2012 г. и составляет 863 мм, минимум – 395 мм в 1982 г. Общая продолжительность выпадения осадков за год колеблется от 1515 до 1550 часов [51, 59]. Основная часть осадков выпадает в жидком виде.

В зависимости от вида атмосферных осадков год принято делить на два периода: холодный – когда осадки выпадают преимущественно в твердом виде; теплый – с преобладанием жидких осадков. На описываемой территории холодный период длится с ноября по март, а теплый – с апреля по октябрь. В теплый период выпадает 70 % и более от годового количества осадков, в холодный соответственно 30 % и менее. Максимум осадков в городе приходится

обычно на август, иногда на сентябрь, когда выпадает 70 – 85 мм осадков; минимум – на март, апрель выпадает 35 – 40 мм (рисунок 2.8). Однако в отдельные годы данная закономерность нарушается: максимум и минимум осадков могут наблюдаться в разные годы. Так рисунок 2.8 отражает среднемесячные значения количества осадков за периоды с 2006 по 2014 гг и с 1961 по 1990 гг [51].



Рисунок 2.8 – Годовой ход количества осадков г. Санкт-Петербург за периоды 2006 – 2014 и 1961 – 1990 гг (по [51]).

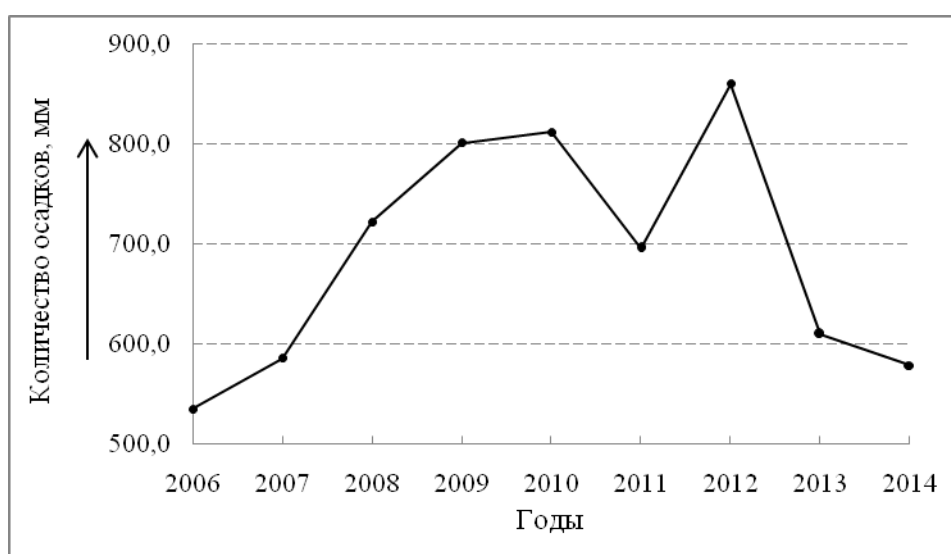


Рисунок 2.9 – Изменчивость количества осадков г. Санкт-Петербург за период 2006 – 2014 гг.

Анализ рисунка 2.9 иллюстрирует повышение суммарного количества годовых осадков от 2006 г к 2010 г, максимальное количество – в 2012 г и последующий их спад. При этом с 2008 по 2012 гг годовое количество осадков превышало среднегодовое климатической нормы периода 1961 – 1990 гг. Важно отметить, что наличие осадков оказывает влияние на формирование уровня загрязнения воздуха. При выпадении осадков наблюдаются условия, благоприятные для очищения воздуха от большинства вредных примесей.

Территория Санкт-Петербурга относится к зоне избыточного увлажнения, что объясняется хорошо развитой циклонической деятельностью, влияющей на формирования и выпадения атмосферных осадков.

Явления погоды

Для Санкт-Петербурга характерны следующие явления погоды: туман, дымка, дождь, ливневой дождь, морось, гроза, метель, порывистый ветер, гололед и изморозь. Как и атмосферные осадки, *туман* оказывает влияние на формирование уровня загрязнения воздуха. Совокупность взвешенных в воздухе капель воды или кристаллов льда, образуют туман, ухудшающий видимость до значений менее 1 км; значение влажности, при этом, составляет 100 % [51].

В Санкт-Петербурге туманы определяются особенностями атмосферной циркуляции Северо-Запада Европейской территории России: развитием циклонической деятельности в течение всего года (особенно в холодный период). По происхождению туманы могут быть адвективными и радиационными. Адвективные образуются при перемещении относительно теплого и морского воздуха с Атлантики на более холодную подстилающую поверхность суши и его охлаждении; радиационные – связаны с охлаждением слоя воздуха от земной поверхности в ночные часы при ясной и безветренной погоде [51].

В среднем, по многолетним (1938 – 1976 гг) данным, за год на описываемой территории отмечается 29 дней с туманами. В отдельные годы в зависимости от особенностей атмосферной циркуляции число дней с туманами может существенно отличаться от среднего многолетнего. Средняя суммарная

продолжительность туманов за год составляет 107 часов. В холодный период суммарная продолжительность равна 80 часам, в три раза больше, чем в теплый период.

Наиболее благоприятные условия для развития туманов в городе создаются в холодный период, на который приходится 72 % годового числа дней с туманами. Преобладают адвективные туманы (60 % дней от общего числа в этот период), благодаря интенсивному и частному выносу теплого влажного воздуха западными и юго-западными потоками на холодную поверхность суши. В тёплый период туманы в городе образуются реже, с преобладанием радиационных (65 % дней от общего числа за этот период); образуются в устойчивых воздушных массах [51].

Таким образом, дальнейшее исследование погодных условий Санкт-Петербурга, направленное на исследование повторяемости туманов, позволяет сделать вывод о сокращении годового количества дней с указанным явлением, в среднем, с 29 (1881 – 1965 гг) до 12 (2006 – 2014 гг), что нашло отражение на рисунке 2.10, характеризующего усреднённые месячные данные за 9 лет.

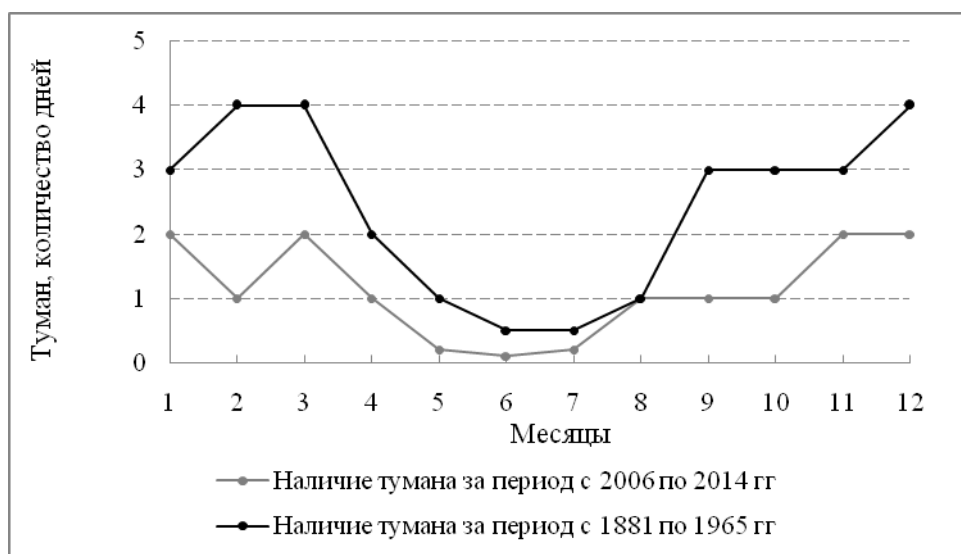


Рисунок 2.10 – Годовой ход повторяемости тумана г. Санкт-Петербург за периоды 2006 – 2014 и 1881 – 1965 гг (по [51]).

Суточный ход продолжительности туманов во все месяцы года выражен довольно четко: продолжительность туманов второй половины ночи и первой половины дня больше продолжительности туманов остальной части суток. В холодный период туманы чаще всего (35 часов) отмечаются с 6 до 12 часов, в теплый период (14 часов) – после полуночи и наибольшего развития достигают в предрассветные часы, что отмечено автором путём многолетних наблюдений фактической погоды в городе, и совпадает с данными печатных изданий [51, 61].

Близким по физической природе туману образованием является *дымка*, когда горизонтальная видимость в зависимости от интенсивности составляет 1-10 км; влажность – менее 100 %. Дымка в Санкт-Петербурге отмечается чаще тумана, в среднем каждый второй день; может возникать как самостоятельное атмосферное явление и быть продолжительнее тумана (суммарная длительность в год, в среднем, 1897 ч) [51].

Облачность

Определяющую роль в формировании облачности играет циркуляция. Количество облачности оценивают по десятибалльной шкале и различают три состояния неба: ясное, облачное, пасмурное. Выделяют 3 яруса облачности, в зависимости от высоты, для каждого из которых характерны свои формы облачности: верхний (выше 6 км), средний (2 – 6 км), нижний (ниже 2 км); также выделяют облака вертикального развития.

В Санкт-Петербурге облачность значительна в течение всего года, особенно в осенне-зимний период, когда частое прохождение циклонов, а с ними и фронтов влечёт значительное увеличение нижней облачности, снижение высоты нижней границы облаков и выпадение осадков.

По многолетним наблюдениям состояния погоды облачность следует описать следующим образом. Наибольшее количество облачности в году приходится на ноябрь и декабрь и составляет 7 – 10 баллов. С января количество облачности постепенно уменьшается, достигая наименьших значений в мае-июне – около 5 – 6 баллов.

Доля облаков нижнего яруса – велика в течение всего года, имеет чётко выраженный годовой ход: в тёплое полугодие – уменьшается, зимой – возрастает. Суточный ход облачности зимой выражен слабо, в тёплый период – отчётлив, когда выделяют два максимума: в послеполуденные часы (конвективные) и в ранние утренние часы (слоистые).

В городе пасмурная погода преобладает, как по общей, так и по нижней облачности и составляет, в среднем в холодный период – в 70 – 90 %, в тёплый – 40 – 60 %. Выражается в пасмурных днях в год, которые в среднем составляют: 171 – по общей облачности; 109 – по нижней. В зависимости от характера атмосферной циркуляции число пасмурных дней изменяется в очень широких пределах. Ясная погода для Санкт-Петербурга – редкость, отмечается в основном летом; для тёплого периода характерно также полужасное состояние.

Для осенне-зимнего периода г. Санкт-Петербург характерна слоисто-кучевая, слоисто-дождевая форма облачности, высотой нижней границы 300 – 500 м, для тёплого – кучевая, кучево-дождевая – 500 – 800 м [51].

2.3.3 Температурные инверсии

Одним из основных метеорологических параметров, оказывающих влияние на диффузию примесей, является вертикальное распределение температуры воздуха. В случаях, когда температура воздуха нехарактерно увеличивается с высотой в условиях устойчивой стратификации нижнего слоя атмосферы, отмечают явление инверсии. Инверсии возникают под воздействием радиационных и адвективных факторов, кроме того, рельеф местности, крупные водоемы и парки создают дополнительные условия для их образования [62].

Инверсию температуры характеризуют высотой нижней границы, т. е. высотой, с которой начинается повышение температуры; толщиной слоя, в котором наблюдается повышение температуры с высотой; и разностью температур на верхней и нижней границах инверсионного слоя — скачком температуры. Наиболее часты инверсии в пределах нижних 2 км. Толщина

инверсионного слоя может быть различной — от десятков до сотен метров. Скачок температуры на инверсии может колебаться от 1 °С и меньше до 10-15 °С и больше.

Инверсионный слой препятствует вертикальному перемешиванию воздуха, задерживая, таким образом, рассеивание примесей в атмосфере, что, особенно, при штилевых условиях, способствует возникновению явления застоя воздуха, усиливающего эффект высокого уровня загрязнения воздушного бассейна и так называемых городских «островов тепла». Кроме того, повышение температуры воздуха также влечёт повышение уровня загрязнения атмосферного воздуха [63].

По высоте все тропосферные инверсии можно разделить на инверсии приземные и инверсии в свободной атмосфере (приподнятые) [62, 64].

Приземная (радиационная) инверсия начинается непосредственно от подстилающей поверхности. Образуется на заходе солнца, в результате выхолаживания подстилающей поверхности и разрушается через 1 – 2 часа после восхода, так как ночное охлаждение почвы сменяется прогреванием. Верхняя граница приземной инверсии определяется по преобладающей величине за время существования или в период максимального развития. Формируется приземная инверсия менее чем за 1 час, а разрушение её происходит в течение 1 – 2 часов; продолжительность определяется в часах с момента установления инверсионного профиля температуры до времени перехода к конвективному перемешиванию в нижнем слое. Данный тип инверсии характеризуется малым значением дефицита точки росы на ее нижней границе и его увеличением по направлению к верхней границе слоя. Выше радиационной инверсии, как правило, бывает малооблачно.

Необходимым условием образования приземной инверсии является маловетренная ясная ночь в малоградиентном барическом поле (М) или в антициклоне. При стационарном атмосферном процессе инверсия усиливается от ночи к ночи, увеличивается ее слоя и повышается верхняя граница. Весной теплый воздух над снежным покровом охлаждается, так как тепло идет на таяние снега. Кроме того, весной и осенью с образованием приземной инверсии, как правило, связано явление заморозков.

Инверсия в свободной атмосфере (приподнятая) наблюдается в некотором слое воздуха, лежащего на той или иной высоте над земной поверхностью. Основание инверсии может находиться на любом уровне в тропосфере и определяется по преобладающей высоте за время существования инверсии (в случае нахождения нижней границы в пределах 100 – 150 м) или путём осреднения (в случае нахождения нижней границы в пределах широкого диапазона). Большинство инверсий в свободной атмосфере являются *инверсиями оседания*. Они возникают вследствие нисходящего движения воздуха и его адиабатического нагревания. Инверсии оседания образуются именно в устойчивых воздушных массах антициклонов, где воздух обладает нисходящими составляющими движения. Обычно инверсия оседания образуется на высотах 1 – 2 км. В случаях активной фазы антициклона эффект нисходящих токов можно наблюдать и в нижнем 600-метровом слое в усилении радиационной инверсии. Кроме инверсий оседания в тропосфере наблюдаются *фронтальные инверсии*, *адвективные инверсии* температуры (частный случай фронтальной инверсии). Кроме того, явление инверсии можно отметить при тепловом воздействии большого города на радиационные процессы, когда под влиянием антропогенного тепла поверхность эффективного излучения приподнимается над конвективно-неустойчивым приземным городским слоем – *«городская» инверсия*.

В некоторых ситуациях наблюдается неоднократный переход приземной инверсии в приподнятую. Подобное явление свидетельствует о нестационарности атмосферных процессов – воздействии на термическую структуру нижних слоев атмосферы локальных мезомасштабных факторов или о предстоящих изменениях крупномасштабных процессов.

Увеличение числа как приземных, так и приподнятых инверсий, как отмечалось ранее, наблюдается при антициклональной погоде; разрушаются они при возникновении сильных ветров и циклоническом характере погоды. В годовом ходе метеопараметров в Санкт-Петербурге, представленном осреднёнными за период с 2006 по 2014 гг. максимальными количествами дней с

инверсией, соответствует максимальное количество дней со штилем – весна, лето, а минимальному – зима, осень, как показано на рисунке 2.11.

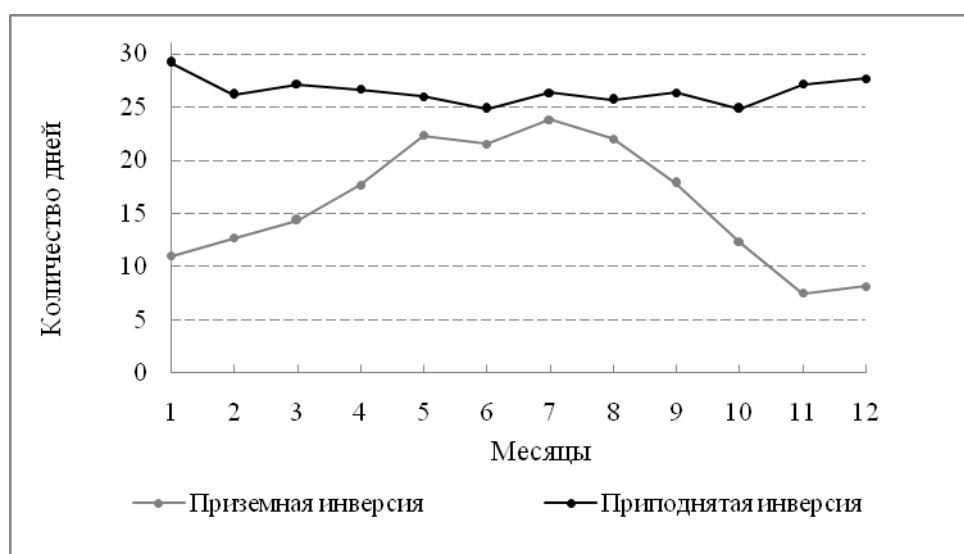


Рисунок 2.11 – Годовой ход повторяемости инверсии г. Санкт-Петербург за период 2006 – 2014 гг

В городе, в среднем, инверсии наблюдаются ежемесячно, что иллюстрирует рисунок 2.11, в любое время суток, чему способствует большое разнообразие физических процессов, а также физико-географические особенности расположения города [65]. Высокая повторяемость явления приземной инверсии вызвана: преобладанием антициклонической кривизны изобар летом, адвекцией тепла в зимний период. Соотношение между видами инверсий противоположно, явление приподнятой инверсии в теплый период характеризуется инверсиями оседания, в холодный период – фронтальными инверсиями.

Для определения инверсионного слоя, путём наглядного анализа вертикального распределения основных метеорологических величин и некоторых явлений погоды по результатам температурно-ветрового зондирования используется термодинамический график – аэрологическая диаграмма (АД). С помощью АД анализируют состояние атмосферы на различных высотах, определяют устойчивость стратификации (способность атмосферы к поддержанию или затуханию вертикальных смещений воздуха). Устойчивость

атмосферы характеризуется вертикальным градиентом температуры (γ) [66, 67]. Таким образом, в результате анализа данных температурно-ветрового зондирования с помощью АД выделяют общие закономерности и особенности вертикального распределения температуры и влажности воздуха, ветра, облачности, характер термодинамической устойчивости.

Основные выводы

Западный перенос воздушных масс и циклонических образований формируют морские черты климата Санкт-Петербурга, расположенного на северо-западе европейской части России. Водная артерия города – р. Нева, Финский залив и близость Балтийского моря также оказывает влияние на формирование климата, который характеризуется мягкой зимой, прохладным летом, достаточным увлажнением и сравнительно частым выпадением осадков.

Частая смена над территорией города воздушных масс объясняет постоянные перепады температуры воздуха и атмосферного давления. Диапазон изменения последнего – значителен – от 953.8 до 1064.3 гПа. Накоплению загрязняющих веществ в воздухе Санкт-Петербурга последнего десятилетия способствуют рост значений температуры воздуха, снижение скоростей ветра и увеличение повторяемости ветров северо-восточного направления, ежемесячное наличие температурных инверсий. В районах городского «острова тепла» (Центральный и Адмиралтейский районы) температура воздуха в среднем на 0.5 – 1.0 °С выше, чем в остальных. Снижение повторяемости туманов благоприятно влияет на состояние атмосферы, а её очищению способствуют осадки, количество которых за исследуемый период выросло относительно многолетней нормы.

Данные характеристики комплексно создают благоприятные условия для повышения уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга, особенно для Центрального и Адмиралтейского его районов.

3 Синоптические ситуации, характерные для сезонов года г. Санкт-Петербург

На уровень загрязнения атмосферного воздуха существенное влияние оказывают синоптические ситуации и характерные для них метеорологические условия. Согласно результатам исследований научного коллектива ГГО, повышенному уровню концентраций примесей в городском воздухе способствуют следующие синоптические ситуации: М, антициклоническая кривизна изобар, тёплая воздушная масса, адвекция тепла в тропосфере. Циклоническая ситуация, ложбина циклона, прохождение холодного фронта, сопровождающиеся усилением ветра и осадками, в свою очередь, способствуют формированию «сравнительно чистого» атмосферного воздуха [22]. Рассмотрим изменчивость указанных параметров последнего десятилетия для г. Санкт-Петербург, что является важным этапом в реализации цели исследования.

3.1 Характеристика классификаций синоптических процессов

В метеорологической практике прогнозов погоды широко употребляется типизация атмосферных процессов, что представляет собой выявление характерных состояний циркуляции, приводящих к формированию различных моделей распределения по территории аномалий температуры воздуха и осадков.

Типы атмосферной циркуляции относят к интегральным характеристикам – показателям, которые отражают особенности поля давления. Устойчивое на определенном отрезке времени распределение в пространстве основных барических образований и направлений их перемещения называют типом циркуляции атмосферы. Типы циркуляции выделяют путем классификации непрерывной последовательности синоптических процессов на ряд устойчивых состояний с помощью критериев классификации. Выбор критерия должен

отвечать целям классификации. В качестве критериев, в метеорологии, выступают положение в пространстве высотной фронтальной зоны (ВФЗ) или траекторий основных барических образований, формирующие определенный характер погоды [68].

Наиболее распространёнными являются классификации синоптических процессов по А.Л. Кацу, Г.Я. Вангенгейму-А.А. Гирсу, Б.Л. Дзердзеевскому [68].

Региональная классификация синоптических процессов А. Л. Каца, разработана в целях описания синоптических условий в течение естественного синоптического периода (5-7 суток) и для характеристики условий циркуляции атмосферы на пространстве Европы и Западной Сибири. Согласно данной классификации выделяют четыре меридиональных типа циркуляции и один тип зональной циркуляции. Критерием выделения типов циркуляции, является географическое положение высотных ложбин и гребней на карте АТ500.

Классификация атмосферных макропроцессов по Г.Я. Вангенгейму-А.А. Гирсу представляет собой три формы атмосферной циркуляции (в течение элементарного синоптического процесса (3-4 суток)) по признаку преобладания определенных направлений переноса воздушных масс. Таким образом выделяют западный (W), восточный (E) и меридиональный (C) типы. При этом в качестве критерия классификации используют конфигурацию ВФЗ на картах АТ500.

Элементарные циркуляционные механизмы (ЭЦМ) (4-5 суток) по Б.Л. Дзердзеевскому. Классификация синоптических процессов основана на учете циркуляционной связи между севером и югом северного полушария, которая характеризуется количеством и направлением арктических вторжений в умеренные широты. Таким образом, на пространстве северного полушария выделено 13 состояний циркуляции, для которых построены типовые карты траекторий барических образований и среднего давления, после чего объединены в 4 большие группы [68]:

- преобладают зональные процессы (отсутствуют антициклонические вторжения);
- преобладают ЭЦМ с одним арктическим вторжением, в разных районах;
- ЭЦМ с двумя и более одновременными вторжениями антициклонов;

- синоптические процессы, при которых полярный район занят циклонами (арктический антициклон отсутствует).

Характер региональных синоптических процессов определяется факторами: радиационный баланс в различных условиях подстилающей поверхности; степень континентальности региона (степенью океаничности); общециркуляционные процессы, охватывающие данный регион; физико-географические особенности региона [69].

Для европейской территории России (ЕТР), согласно преобладающим направлениям движения циклонов над территорией можно выделить следующие типовые синоптические процессы: западные, южные (возникают после завершения меридионального макроциркуляционного преобразования и формирования благоприятного циклогенезу термобарического поля) и «Ныряющие» циклоны (формируются при меридиональном преобразовании зонального потока). При этом между циклоническими сериями возникают и развиваются смежные им барические образования — заключительные антициклоны. ЕТС нередко находится под влиянием отрогов Сибирского антициклона [69].

3.2 Описание базы синоптических ситуаций

Анализ синоптической обстановки в районе г. Санкт-Петербург был произведён в три этапа.

На первом этапе, в работе выполнен визуальный анализ архивного материала приземных карт погоды над Европой, из базы данных [70] (пример карты отражён на рисунке 3.1). Исследовался период с 2006 по 2014 гг (3279 карт), ежесуточно, за срок 00:00 UTC. В ходе анализа посуточно охарактеризована синоптическая обстановка в исследуемом районе; указана периферия барической системы, которая определяет погодные условия в районе Санкт-Петербурга: центр циклона (Ц); северная периферия циклона (ПЦС); южная периферия циклона (ПЦЮ); западная периферия циклона (ПЦЗ);

восточная периферия циклона (ПЦВ); северо-восточная периферия циклона (ПЦСВ); юго-восточная периферия циклона (ПЦЮВ); юго-западная периферия циклона (ПЦЮЗ); северо-западная периферия циклона (ПЦСЗ); теплый сектор циклона (Цтс); малоградиентное барическое поле (М); центр антициклон (А); северная периферия антициклона (ПАС); южная периферия антициклона (ПАЮ); западная периферия антициклона (ПАЗ); восточная периферия антициклона (ПАВ); северо-восточная периферия антициклона (ПАСВ); юго-восточная периферия антициклона (ПАЮВ); юго-западная периферия антициклона (ПАЮЗ); северо-западная периферия антициклона (ПАСЗ).

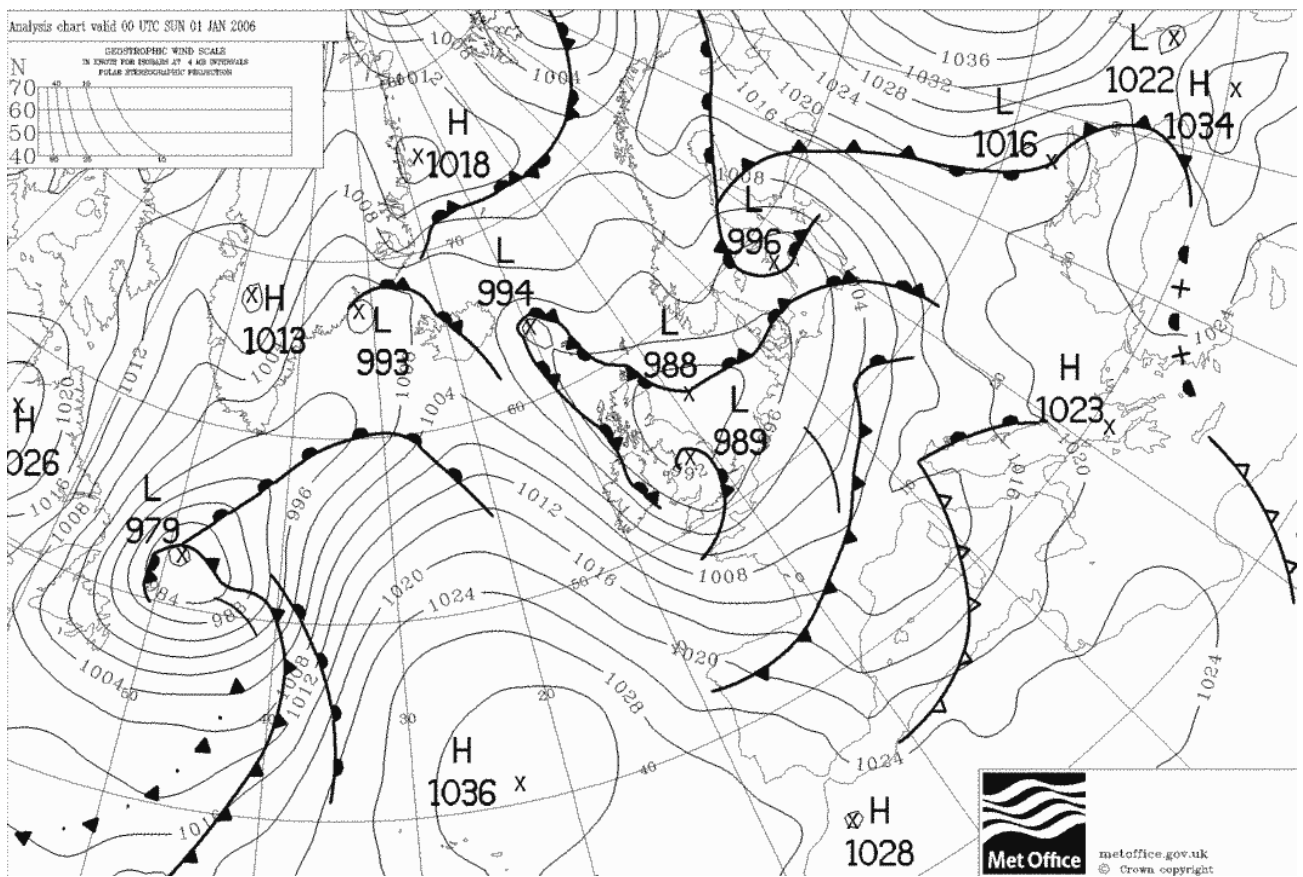


Рисунок 3.1 – Приземная карта погоды над Европой за 01 января 2006 г, за срок 04:00 (00:00 UTC) [70]

Это позволило сформировать базу данных посуточных синоптических положений, определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг (см.приложение А).

На следующем этапе для каждого синоптического положения определена фактическая погода, с применением базы метеорологических данных (см. ранее, п.2.3.1).

На третьем этапе, с целью выделения характерных групп синоптических процессов последнего десятилетия, учтено географическое происхождение барических образований, формирующих характер погоды; прослежены и изучены траектории их движения, что является, в рамках данного исследования, критерием выделения характерных групп синоптических процессов. Таким образом выделены следующие синоптические процессы района г. Санкт-Петербург, за период с 2006 по 2014 гг (как показано на рисунке 3.2):

- атлантический циклон,
- «ныряющий» циклон,
- южный циклон,
- арктический антициклон,
- отрог Сибирского антициклона,
- отрог Азорского антициклона.

Отдельно выполнен анализ для холодного (осенне-зимнего) и тёплого (весенне-летнего) периодов года. При этом холодный период года включает ноябрь, декабрь, январь, февраль, март месяцы; тёплый – с апреля по октябрь, согласно годовому ходу температуры воздуха (переход температуры 0 °С) и радиационного баланса (аналогичным образом). Установлена повторяемость процессов для полугодий; дана характеристика погодных условий (см. далее, п.3.4).

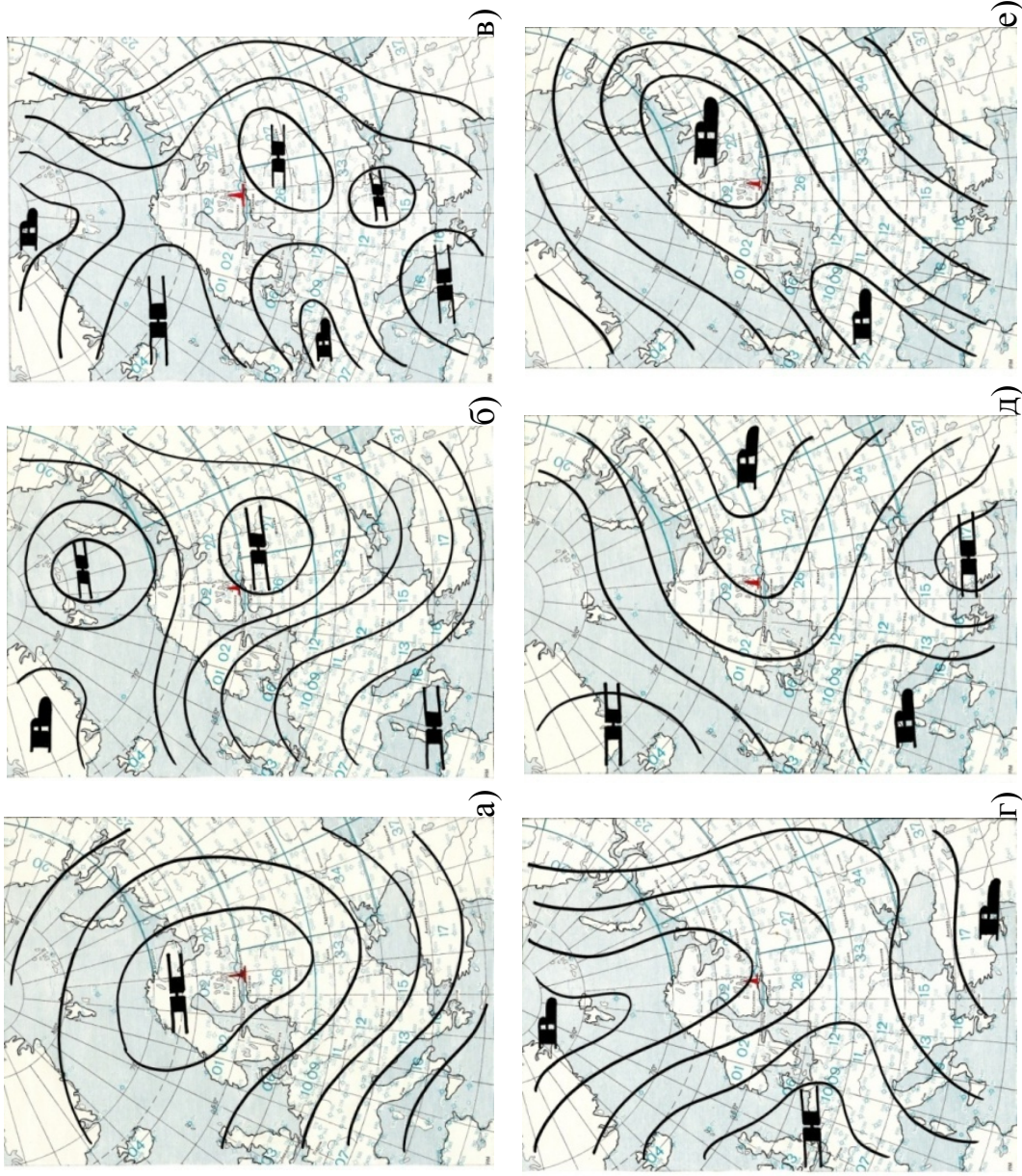


Рисунок 3 – Схема синоптического процесса: а) атлантический циклон, б) «ныряющий» циклон, в) южный циклон, г) арктический антициклон, д) отрог Сибирского антициклона, е) отрог Азорского антициклона.

3.3 Общая характеристика синоптических условий за период с 2006 по 2014 гг

Большая изменчивость погодных условий Санкт-Петербурга является одной из характерных особенностей климата города и связана с частой сменой воздушных масс при усилении циклонической деятельности.

В работе выполнено суммирование количества дней каждой периферии барических систем, за 9 рассматриваемых лет, что позволило определить их вклад в формирование погодных условий, как показано на гистограмме (рисунок 3.3)

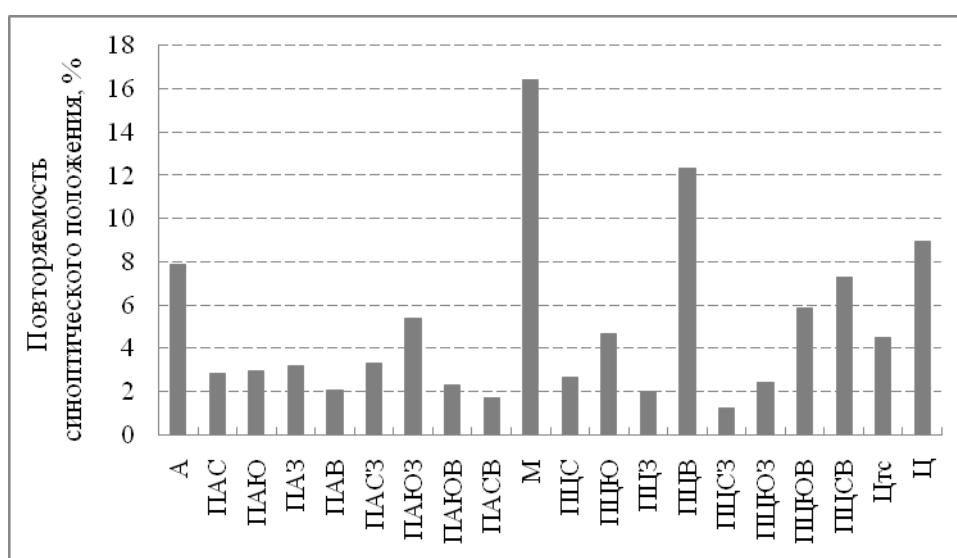


Рисунок 3.3 – Повторяемость синоптического положения над районом г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг

Анализ гистограммы (рисунок 3.3) показывает наиболее характерные синоптические ситуации для района г. Санкт-Петербург (в процентном отношении): 16 % приходится на М, 12 % – на восточную периферию циклона, на центр циклона – 9 % и центр антициклона – 8 %. Таким образом, циклоническая деятельность ($\Sigma_{\text{общ}}$) определяет характер погодных условий в 52 % случаев, 32 % – определяет антициклоническая кривизна изобар ($A_{\text{общ}}$). Поэтому, циклоническая деятельность в районе Санкт-Петербурга продолжает определять характер погоды.

Общее количество дней, приходящихся на каждое барическое образование ($\Sigma_{\text{общ}}$, $A_{\text{общ}}$, M), для каждого месяца отдельно за 9 рассматриваемых лет характеризует годовой ход погодообразующих ситуаций, что отражено на рисунке 3.4.

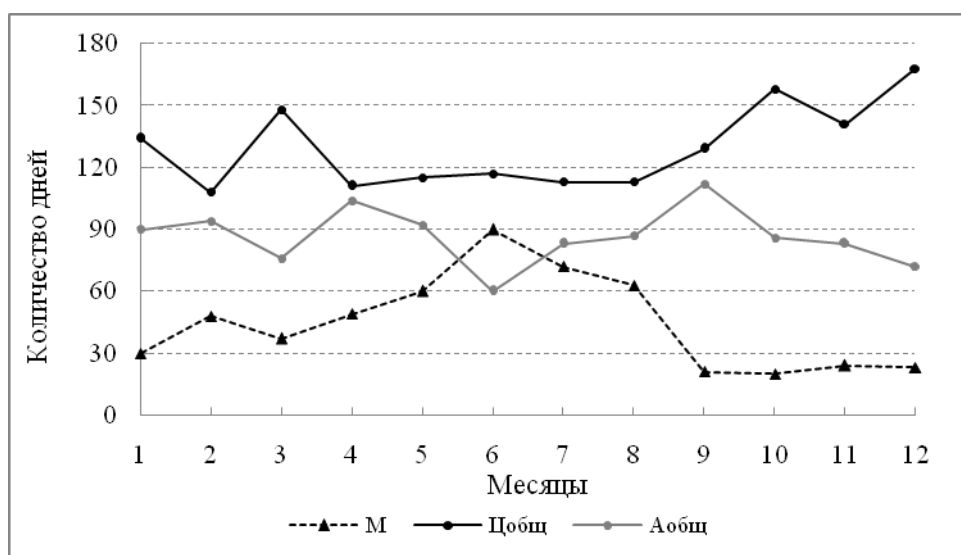


Рисунок 3.4 – Годовой ход общего количества дней, приходящихся на синоптические ситуации: циклоническое образование, антициклоническая кривизна изобар, малоградиентное барическое поле для г. Санкт-Петербург, за период с 2006 по 2014 гг.

Анализ графика годового хода циклонических образований (рисунок 3.4) показывает, что для Санкт-Петербурга за рассматриваемый период времени циклоническая деятельность является главным погодообразующим фактором в течение всего года, при этом наибольшей активности она достигает в холодный период, а с апреля по сентябрь – наоборот – ослабевает. Кривая, отражающая годовой ход M , характеризуется плавным увеличением от января к июню, где достигает своего максимума, после чего, достигнув минимума к сентябрю – выходит на ровный ход до января, что объясняется многолетними (2006 – 2014 гг) среднемесячными значениями скорости ветра (минимальные в летние месяцы), как показано в таблице 2.1. Тёплый период года характеризуется также увеличением повторяемости антициклонической кривизны изобар, максимум

значений которых приходится на апрель и сентябрь месяцы, в то время как минимум отмечен в июне, что связано, по мнению автора, с преобладанием М.

Совокупность общего количества дней, характеризующих каждое рассматриваемое барическое образование за 12 месяцев за период с 2006 по 2014 гг. для каждого из рассматриваемых 9 лет, отражает тенденции межгодовой изменчивости повторяемости синоптических ситуаций для Санкт-Петербурга, что иллюстрирует рисунок 3.5.

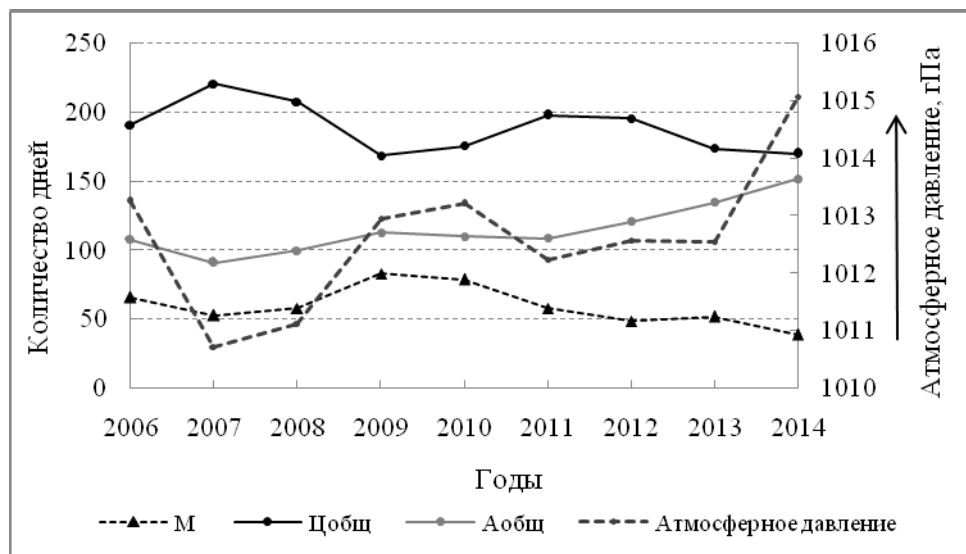


Рисунок 3.5 – Изменчивость общего количества дней, приходящихся на синоптические ситуации: циклоническое образование, антициклоническая кривизна изобар, малоградиентное барическое поле; среднегодовых значений атмосферного давления для г. Санкт-Петербург, за период с 2006 по 2014 гг.

На рисунке 3.5 отражена также кривая, характеризующая межгодовую динамику среднегодовых значений (получены путём осреднения всех значений за 12 месяцев в год) атмосферного давления за изучаемый период. Анализ графика повторяемости циклонических образований за период с 2006 по 2014 гг (рисунок 3.5) показал наличие максимума в 2007 г, минимума в 2009 г, и снижение повторяемости циклонических образований после 2010 г. на фоне роста повторяемости антициклонических образований, что совпадает с увеличением среднегодовых значений атмосферного давления после 2010 г (рисунок 3.5),

минимальное значение которого приходится на 2007 г. Для случаев М – также отмечено снижение повторяемости, после 2010 г (рисунок 3.5).

3.4 Характерные группы синоптических процессов района г. Санкт-Петербург

3.4.1 Синоптические процессы осенне-зимнего периода

С началом осени быстрое сокращение продолжительности светлого времени суток, уменьшение притока солнечной радиации в северном полушарии приводят к увеличению температурных контрастов между северными и южными широтами и постепенному усилению циклонической деятельности в пределах исследуемого региона. Для осени характерно усиление меридиональной циркуляции на северо-западе России, которая приводит к глубоким вторжениям холодного воздуха на юг и к выходу теплого воздуха в более высокие широты, что влечет за собой резкую смену режима погоды. Полярный фронт все чаще опускается к югу, а циклоническая деятельность на нем, усиливаясь, приводит, кроме прочего, к увеличению повторяемости густых дымок и туманов (преимущественно адвективного характера).

Следует отметить, что большую роль также в формировании туманов и низкой облачности, особенно с конца осени, играет Финский залив, который наряду с циклонической деятельностью, становится очагом формирования указанных выше явлений, длительность которых может сохраняться в течение суток.

Для холодного периода в тёплых секторах циклонов, смещающихся из районов Атлантики, а также с акватории Черного моря с меньшей периодичностью, характерны оттепели по Санкт-Петербургу.

Анализ данных синоптических ситуаций и погодных условий осенне-зимнего (холодного) периода (с 01 ноября по 31 марта) с 2006 по 2014 гг по району Санкт-Петербурга позволяет отметить атлантический циклон (западный

перенос) (рисунок 3.2а) как основную группу синоптического процесса, определяющую погодные условия в 48 % случаев холодного периода.

При установившемся западном переносе происходит заток тёплого влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность, что приводит к образованию многослойной облачности (7 – 10 баллов), преимущественно слоистых форм, высотой нижней границы 200 – 300 м, с морозящими осадками, густыми дымками и адвективными туманами, ухудшающими видимость. Температурные значения при этом в среднем около 0 °С; скорость ветра в среднем 2 – 4 м/с (Приложение Б.1).

Как правило, при прохождении циклонических серий по северу и опускание последующего циклона на север Урала, в его тыл входит арктический воздух, в котором формируется антициклон, смещающийся к югу на территорию Санкт-Петербурга. При приближении арктического антициклона (рисунок 3.2г) возникают северные и северо-восточные ветры, обуславливающие «зарядовую» деятельность и как следствие – ухудшение видимости в «заряде» до 1 – 2 км; понижение высоты нижней границы облаков до 50 – 100 м. Облачность наблюдается многослойная в 7 – 10 баллов, слоисто-кучевых форм, высотой нижней границы в среднем 300 – 500 м. Примерно через сутки, когда антициклон выходит своим центром на территорию города, устанавливается прохладная малооблачная погода с хорошей видимостью, воздух имеет небольшое влагосодержание. Средняя температура составляет -4.5 °С, скорость ветра – 1 – 3 м/с. На данную группу синоптического процесса приходится 21 % случаев формирования погоды осенне-зимнего периода (Приложение Б.1).

Распространение отрогов Сибирского антициклона (рисунок 3.2д) на территорию г. Санкт-Петербург оказывает влияние на формирование погодных условий в холодное время в 15 % случаев. На начальной стадии процесса погода характеризуется многослойной облачностью (7 – 10 баллов) слоистых форм и высотой нижней границы около 150 – 200 м, туманами и дымками, ухудшающими видимость; температурный режим представлен в градации -5 – -8 °С. В связи с

последующим усилением и стабилизацией гребня устанавливается морозная (до $-20 - -23^{\circ}\text{C}$) малооблачная погода с хорошей видимостью в дневные часы; в утренние часы – образование туманов (радиационных) (Приложение Б.1).

Синоптический процесс южного циклона (рисунок 3.2в), обуславливает вынос теплого воздуха, что приводит к повышению температуры (иногда до положительных значений) и способствует образованию туманов. В целом процесс сопровождается сильными снегопадами и метелями. При длительном процессе по мере усиления затока с юга и юго-запада более теплого воздуха в приземном слое образуется инверсия, густые дымки и морозящие осадки. Данная ситуация приводит к переходу облачности в 7 – 10 баллов от слоисто-кучевых форм к слоистым, понижению её нижней границы от 300 – 500 м до 100 – 200 м и ухудшению видимости в явлениях от 4 – 6 км до 2 – 3 км. Выход южных циклонов в район Санкт-Петербурга наблюдается в 9 % всего холодного периода (Приложение Б.1).

Резкое ухудшение погоды, сопровождающееся интенсивной «зарядовой» деятельностью, метелями, усилением ветра до 15 – 20 м/с, обуславливаются прохождением «ныряющих» циклонов через г. Санкт-Петербург по траектории с севера на юг (рисунок 3.2б). Движение этих циклонов происходит по восточной периферии восточного гребня, ось которого проходит через Скандинавию. Образование высотного гребня происходит за счет адвекции тепла по высотам с Атлантики. Чем восточнее траектория «Ныряющего» циклона, тем более холодная воздушная масса втягивается в его циркуляцию. Периодичность прохождения через город «ныряющих» циклонов составляет 8 % осенне-зимнего периода. Вследствие того, что холодные фронты смещаются с большими скоростями, происходит чередование полей облачности в 10 баллов, высотой нижней границы 200 – 300 м с прояснениями. В «зарядах» осадков видимость ухудшается от 6 – 10 км до 1 – 2 км. Температура воздуха составляет, в среднем -2.0°C (Приложение Б.1).

Большие барические градиенты осенне-зимнего периода влекут увеличение повторяемости сильных ветров, преимущественно западного и юго-западного

направления. Таким образом, осенне-зимний период характеризуют наиболее благоприятные условия для развития и обострения циклонов и связанных с ними фронтов, что обуславливает устойчивость пасмурного состояния неба. Кроме того, для данного периода характерны туманы, частота возникновения которых составляет, в среднем, 2 дня в месяц, что способствует накоплению антропогенных выбросов в атмосферном воздухе.

3.4.2 Синоптические процессы весенне-летнего периода

С наступлением весны в северном полушарии наблюдается процесс перестройки циркуляции атмосферы, которая со временем приобретает черты, присущие летним месяцам. Различия в свойствах подстилающей поверхности Атлантического океана и Евразии приводят к тому, что весной континент прогревается быстрее, постепенно снижая положительную разность температуры между ним и океаном. Кроме того, уменьшаются контрасты температур между северными и южными широтами, за счёт увеличения притока солнечной радиации. Это приводит к уменьшению барических градиентов и ослаблению скорости ветра, что объясняется снижением интенсивности атмосферной циркуляции в весенне-летний период. Ослабевающая циклоническая деятельность чаще (в сравнении с осенне-зимним периодом) прерывается воздействиями ядер высокого давления, которые формируются в массах арктического воздуха.

На фоне возрастающего притока солнечной радиации в дневные часы и выхолаживания ночью увеличивается повторяемость радиационных туманов, которые возникают с заходом солнца, продолжительностью временами до его восхода. Большую часть весны сохраняются и адвективные туманы, которые образуются при вторжениях теплого морского умеренного воздуха с запада и быстрого его выхолаживания в приземном слое над снежным и ледяным покровом.

Увеличение повторяемости вторжения антициклонических ядер, а также возрастание амплитуды колебаний температуры в приземном слое в течение суток приводит к образованию инверсионных слоев и низкой подинверсионной

облачности. Инверсии весной образуются также и при перемещении теплого воздуха океанического происхождения над снежной поверхностью, когда температура снега и прилегающего к нему слоя воздуха близка к нулю, а на высоте – на несколько градусов выше нуля.

Погодные условия при синоптических процессах весенне-летнего периода отличаются от погодных условий аналогичных синоптических процессов холодного периода. Наиболее характерным синоптическим процессом весенне-летнего (теплого) периода (01 апреля – 31 октября) в районе г. Санкт-Петербург является преобладание атлантических циклонов (рисунок 3.2а), когда в 43 % случаев за период с 2006 по 2014 гг. устойчиво складывались указанные выше обстоятельства. Облачность в данном случае имеет преимущественно конвективный характер. После прохождения тёплого фронта (на котором могут отмечаться грозы), как правило, устанавливается малооблачная погода (5 – 8 баллов, высотой нижней границы 400 – 600 м), с хорошей видимостью (более 10 км). Холодные фронты являются более выраженными, особенно в дневные часы, при этом отмечается многослойная облачность (7 – 10 баллов), высотой нижней границы 200 – 300 м, дожди, ухудшающие видимость до 1 – 2 км. Температура воздуха составляет, в среднем 12.5 °С, а скорость ветра – 2 – 4 м/с (Приложение Б.2).

В теплый период года субтропические антициклоны формируются в более высоких широтах Атлантики, усиливается отрог Азорского антициклона (рисунок 3.2е). Такое положение способствует установлению теплой (температура воздуха, в среднем 12.5 °С) малооблачной погоды на длительное время с преобладанием слабых ветров (в среднем 1 – 2 м/с). В ночные и утренние часы за счет выхолаживания образуются радиационные туманы. Этому способствует также периодические пополнения отрога за счет арктических ядер повышенного давления. Данная ситуация в 25 % случаев исследуемого тёплого периода характеризует погодные условия района г. Санкт-Петербург (Приложение Б.2).

Выход южного циклона в район Санкт-Петербурга (рисунок 3.2в) в весенне-летний период с 2006 по 2014 гг отмечен в 18 % случаев. южный циклон

за счёт больших контрастов температур на фронтальных разделах характеризуется развитием интенсивной грозовой деятельности. Средняя температура составляет 12 – 14 °С, скорость ветра 2 – 4 м/с. Высота нижней границы облачности в 6 – 9 баллов при грозовой деятельности, в дожде понижается от 400 – 600 м до 200 – 300 м, и сопровождается ухудшением видимости до 2 – 4 км (Приложение Б.2).

Наиболее редким синоптическим процессом весенне-летнего периода (14 %) для района Санкт-Петербурга является выход арктического антициклона (рисунок 3.2г). В данном случае отмечается значительная облачность конвективного характера, высотой нижней границы 300 – 500 м, видимость 6 – 10 км, в утренние часы может ухудшиться за счёт радиационных дымок и туманов. Когда антициклон выходит своим центром на территорию г. Санкт-Петербург, устанавливается прохладная малооблачная погода с хорошей видимостью, воздух имеет небольшое влагосодержание (Приложение Б.2).

Более частая повторяемость (в сравнении с холодным периодом) антициклонической кривизны изобар теплого периода приводит к частым случаям образования радиационных туманов в ночные и утренние часы, а также слоёв инверсии, что влечёт накопление антропогенных примесей в воздухе города.

Таким образом, для г. Санкт-Петербург характерен быстрый переход от осенне-зимних процессов к весенне-летним. Отметим, что траектория циклонов, выходящих на территорию г. Санкт-Петербург одинакова для всех сезонов года. Однако количество и интенсивность циклонов с наступлением весенне-летнего периода уменьшается, а скорости их перемещения возрастают. В тоже время возрастает повторяемость антициклонов и присущих им радиационных туманов, слоёв инверсии, что способствует усилению накопления антропогенных примесей в атмосферном воздухе города.

Основные выводы

Исследование синоптических ситуаций и погодных условий, характерных для г. Санкт-Петербург последнего десятилетия, позволяет отметить преобладание циклонической деятельности над территорией в течение всего

периода. При этом после 2010 г отмечено снижение повторяемости циклонов и увеличение повторяемости антициклонов над территорией города.

Циклоны на территорию города перемещаются преимущественно с запада. В холодное полугодие циклоническая деятельность усиливается, увеличивается повторяемость прохождения через город атмосферных фронтов; в тёплое – ослабевает, число основных фронтов уменьшается, но в тыловой части циклонов отмечается большое количество вторичных холодных фронтов.

Работа по выделению характерных групп синоптических процессов города для теплого и холодного периодов года позволяет отметить западный перенос как основной погодообразующий фактор для Санкт-Петербурга во все сезоны, что вполне свойственно данной территории по многолетним данным. В целом, для холодного периода выделены 5 групп погодообразующих синоптических процессов (атлантический циклон, южный циклон, «ныряющий» циклон, арктический антициклон, отрог Сибирского антициклона), для теплого – 4 (атлантический циклон, южный циклон, арктический антициклон, отрог Азорского антициклона).

4 Антропогенные примеси в атмосфере г. Санкт-Петербург

4.1 Основные источники загрязнения атмосферного воздуха города

Уровень загрязнения воздушного бассейна города определяется выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников.

Основной вклад в выбросы стационарных источников создают предприятия электроэнергетики, жилищно-коммунального хозяйства и машиностроения [3,71].

Среди передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха выделяют автотранспорт (неотъемлемая составляющая функционирования городов современного мира), вклад которого в суммарный выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух Санкт-Петербурга в 2014 г составил 86 % [3]. Выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта в 2014 г (по данным Росприроднадзора) составили 441.7 тыс.т [4]. Тенденция увеличения выбросов от автотранспорта обусловлена количеством транспортных средств, пропускной способностью магистралей, техническим состоянием автотранспорта и экологическим качеством продаваемого топлива [72].

Для России средний возраст автотранспортных средств значителен и составляет, согласно данным отдела аналитики АА «АВТОСТАТ», более 10 лет [73]. По данным государственной инспекции безопасности дорожного движения прирост автомобильного парка для Санкт-Петербурга составляет, в среднем, 7 – 10 % в год.

Основным видом моторного топлива является бензин и дизельное топливо (доля автобусов в дизтопливе составляет примерно 62 %, легкового автотранспорта – около 6 %). По экологическому классу топлива Россия существенно отстает от стран Евросоюза, пребывая в стадии плавного перехода на «Евро-5» [74]. Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания содержат как нетоксичные (водяной пар, углекислый газ), так и токсичные вещества. К

числу последних относят: оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x), углеводороды (C_nH_m), диоксид серы (SO₂), а также такие канцерогенные вещества как сажа, бенз(а)пирен и альдегиды [55].

4.2 Организация мониторинга состояния атмосферного воздуха города

Необходимость осуществления постоянного экологического мониторинга атмосферного воздуха в городской среде очевидна и обоснована современными требованиями к качеству окружающей среды в целях обеспечения экологической безопасности.

Информация о состоянии загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга представлена в «Ежегодниках состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности ФГБУ «СЗ УГМС»»; «Ежегодниках состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России», где ежегодно предоставляются обработанные обобщённые результаты измеренных концентраций загрязняющих веществ. Значение концентрации загрязняющих веществ является количественной оценкой уровня загрязнения атмосферного воздуха.

В работе изучены данные дискретных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха «СЗ УГМС», за период времени с 1980 по 2014 гг. Наблюдения осуществлялись на 10 стационарных постах службы, расположенных в 8 административных районах города, 4 раза в сутки (01:00, 07:00, 13:00, 19:00) [3]. Адреса расположения и районная принадлежность постов отражена в таблице 4.1 [75], что визуализировано на рисунке 4.1 [71]. Сеть работает в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89 [76].

Посты подразделяются на «городские фоновые» в жилых районах (посты № 1, 2, 6, 8, 12); «авто» - вблизи автомагистралей или в районах с интенсивным движением транспорта (посты № 4, 5, 7, 10) и промышленные (пост № 27). Это деление является условным, так как застройка города и размещение предприятий

не позволяют произвести чёткое распределение постов. Посты № 1, 4, 8, 27 принято считать опорными; № 2, 5, 6, 7, 12 – не опорными.

Таблица 4.1 – Адреса расположения стационарных постов наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха Санкт-Петербурга [75]

№ пп	Адрес	Район
1	ул.Профессора Попова, д.78	Петроградский
2	ул.Будапештская, д.39	Фрунзенский
4	пр.Гражданский, д.88	Калининский
5	пр.Поллюстровский, д.47	
6	ул. Инженерная, д. 6	Центральный
7	Васильевский Остров, 23 линия, д. 2а	Василеостровский
8	пр.Новоизмайловский, д.15	Московский
10	пл.Александра Невского	Центральный
12	ул.Отважных, д.6	Красносельский
27	пр.Металлистов, д.3	Красногвардейский

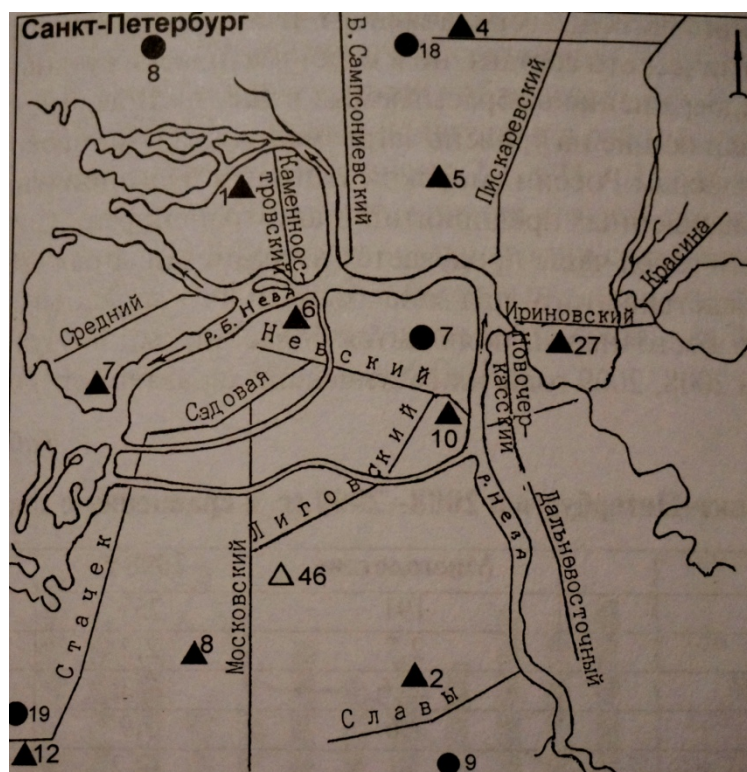


Рисунок 4.1 – Схема расположения постов ФГБУ «Северо-Западное УГМС» (иллюстрированы треугольниками) станций мониторинга состояния загрязнения воздуха на территории Санкт-Петербурга [71]

На постах осуществляются измерения следующих соединений: взвешенные вещества, диоксид серы, растворимые сульфаты, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, бенз(а)пирен, специфические примеси (сероводород, фенол, хлористый водород, аммиак, формальдегид, бензол, ксилолы, толуол, этилбензол).

4.3 Динамика состояния атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург за период с 1980 по 2014 гг.

Уровень загрязнения атмосферы (ЗА), ЗА каждым загрязняющим веществом и суммарная оценка качества атмосферного воздуха определяется на основании результатов наблюдений за концентрациями примесей.

ЗА характеризуется статистически. Для определения уровня загрязнения используют концентрацию примеси в атмосфере: среднюю и максимальную разовую. Для оценки ЗА рассчитывают единичные индексы: наибольшая повторяемость (НП), стандартный индекс (СИ), комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) [77].

НП определяется как наибольшая повторяемость превышения концентрациями ПДК и выражается в процентах. СИ представляет собой коэффициент для выражения концентрации примеси в единицах ПДК, а именно, значение максимальной концентрации, приведённое к ПДК. Для суммарной оценки ЗА рассчитывается ИЗА, количественная характеристика уровня ЗА отдельной примесью, учитывающая различия в скорости возрастания степени вредности веществ, приведённой к вредности диоксида серы, по мере увеличения превышения ПДК.

4.3.1 Состояние атмосферного воздуха города за период с 1980 по 2012 гг

Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга в рамках данного исследования выбраны следующие загрязняющие вещества: оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества, так как данный набор

веществ, являясь продуктами неполного сгорания топлива в двигателях автотранспортных средств, по мнению автора, вносит основной вклад в выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух города. Так, за 2014 г из 441.7 тыс.т общих выбросов от автотранспорта на оксид углерода пришлось 356.1 тыс.т, диоксид азота 37.2 тыс.т [3, 4]. Кроме того, указанные вещества, по данным Всемирной организации здравоохранения, могут приводить к увеличению различных заболеваний человека [71].

Взвешенные вещества, в свою очередь, представляют собой частицы, которые способны находиться во взвешенном состоянии в течение суток; различны как по химическому составу, так и по происхождению. Особое внимание, на сегодняшний день, привлекают мелкодисперсные взвешенные частицы диаметром менее 10 мкм (PM_{10}) и менее 2.5 мкм ($PM_{2,5}$) на долю которых приходится порядка 40 – 70 % общего числа взвешенных веществ [71], что связано с особо вредоносным их воздействием на здоровье человека.

Критерием оценки качества воздуха служат ПДК (установлены Минздравсоцразвитием России), что подразумевает значения, при которых ЗА не оказывает на человека ни прямого, ни косвенного воздействия. Для выбранных соединений значения ПДК (максимально разовых и среднесуточных) отражены в таблице 4.2 [78, 79].

Для оценки ЗА, в рамках исследования, определяются статистические характеристики:

- осредненные показатели отдельной примесью: среднемесячная концентрация примеси ($q_{\text{мес}}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$)); среднемесячная концентрация примеси для города ($Q_{\text{мес}}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$)); среднегодовая концентрация примеси ($q_{\text{ср}}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$)); среднегодовая концентрация примеси для города ($Q_{\text{ср}}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$));
- максимальная из разовых концентрация примеси ($q_{\text{м}}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$)).

В работе выполнен анализ данных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха Санкт-Петербурга «СЗ УГМС», за период с 1980 по 2012 гг. по выбранным загрязняющим веществам.

Таблица 4.2 – Значения ПДК для оксида углерода, диоксида азота и взвешенных веществ [78, 79]

Норматив	Соединение			Взвешенные Вещества
	СО	NO ₂		
		до 01.02.2006 г	с 01.02.2006 г	
ПДК _{мр} , мг/м ³	5	0.085	0.2	0.5
ПДК _{сс} , мг/м ³	3	0.04		0.15

На первом этапе изучен архивный материал, представленный в печатных изданиях в виде бюллетеней и ежегодников [80 – 109]. Для каждой примеси, на каждом посту отобраны среднемесячные концентрации, максимальные концентрации (с обозначением даты и срока). Полученные данные составили электронный массив, который использовался в исследовании.

Среднемесячные концентрации загрязняющих веществ в целом по городу представляют собой совокупность подобных концентраций по всем функционирующим постам каждого из 12 месяцев. Поэтому, на втором этапе, рассмотрим тенденции годового хода среднемесячных концентраций ряда антропогенных примесей воздуха Санкт-Петербурга за период с 1980 по 2012 гг, представленные на рисунке 4.2.

Согласно годовому ходу среднемесячных концентраций загрязняющих веществ, представленному на рисунке 4.2, за период с 1980 по 2012 гг. максимум указанных выше значений наблюдается для диоксида азота и взвешенных веществ в весенне-летний период, для оксида углерода – в летний (июль, август); минимум – в осенне-зимний. Причины такого распределения загрязнения воздуха в годовом ходе объясняются закономерностями смены синоптических ситуаций и метеорологических условий, характерных для них. В частности, весенне-летний период года, как было описано ранее, характеризуется для Санкт-Петербурга увеличением повторяемости антициклонов и МГБП (см. п. 3.3), что сопровождается ослаблением скорости ветра, а также увеличением повторяемости его штилевых значений; ростом температуры атмосферного воздуха и

увеличением повторяемости случаев инверсии, что способствует накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (см. п. 2.3.2). Комплекс указанных метеопараметров особенно неблагоприятно сказывается на рассеивании примесей от источников, согласно классификации Сонькина Л.Р., с низкими неорганизованными выбросами, которые в свою очередь, вносят основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха города (автотранспорт (86 %) [4]. Кроме того, следует учитывать факт увеличения на улицах города в весенне-летний период количества индивидуальных автотранспортных средств.

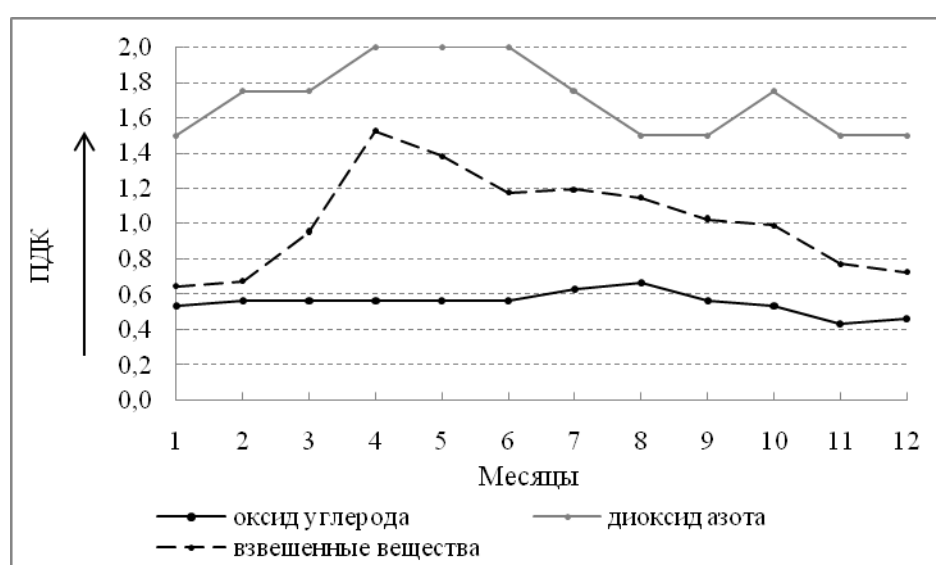


Рисунок 4.2 – Годовой ход среднемесячных концентраций, нормированных на ПДК, загрязняющих веществ, по г. Санкт-Петербург, в период с 1980 по 2012 гг.

В осенне-зимний сезон чаще формируются синоптические условия, препятствующие накоплению загрязняющих атмосферный воздух веществ, так как этот период времени характеризуется усилением циклонической активности, сопровождающейся усилением ветра и обильными осадками, вымывающими загрязняющие вещества.

Особенности годового распределения взвешенных веществ, наряду с указанными причинами, зависят от наличия или отсутствия снежного покрова. В апреле к известным источникам загрязнения атмосферного воздуха добавляются

взвешенные вещества, которые поднимаются с оголённых после схода снега поверхностей; зимой, напротив, подстилающая поверхность, как правило, покрыта плотным слоем снега, предотвращая, тем самым дополнительный источник загрязнения.

Совокупность среднемесячных концентраций загрязняющих веществ за все 12 месяцев в году по всем функционирующим постам представляет собой среднегодовую концентрацию загрязняющих веществ в целом по городу. Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ за период времени с 1980 по 2012 гг. по Санкт-Петербургу отражены на рисунке 4.3. Рассмотрим динамику и тенденции межгодовой изменчивости среднегодовых концентраций изучаемых антропогенных примесей воздуха Санкт-Петербурга за период с 1980 по 2012 гг (третий этап).

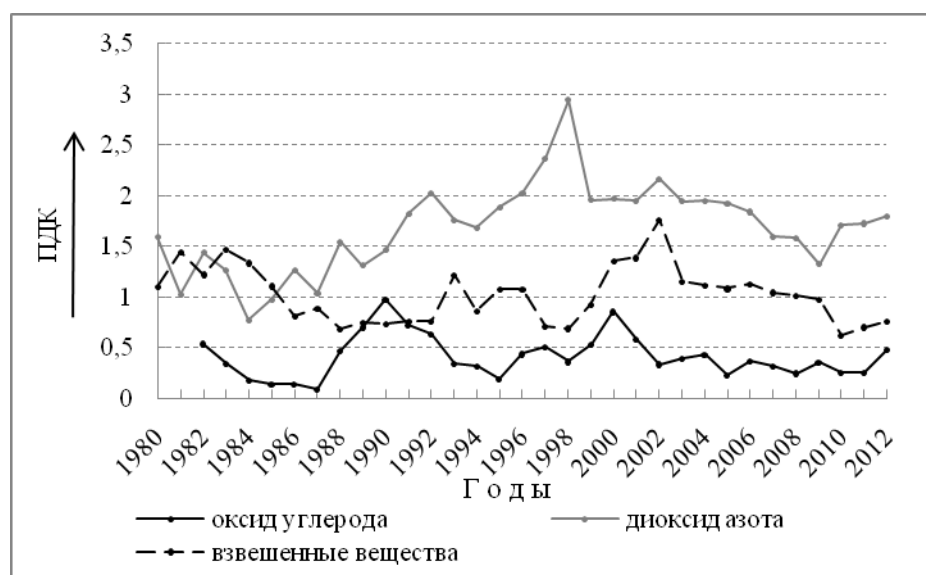


Рисунок 4.3 – Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ, нормированные на ПДК, по г. Санкт-Петербург в период наблюдений с 1980 по 2012 гг.

При анализе графика (рисунок 4.3) межгодовых изменений средних концентраций оксида углерода следует отметить, что за весь изучаемый период времени (1980 – 2012 гг.) их значения не превышали ПДК.

Анализ графика (рисунок 4.3) особенностей распределения межгодовых изменений средних концентраций диоксида азота над ПДК показывает, что за весь изучаемый период времени среднегодовые концентрации диоксида азота в воздухе превышали санитарную норму. Данное положение вызвано высоким количеством автотранспортных средств, качеством используемого топлива (отставание от стран Евросоюза). Исключения составляют 1984 г. (0.8 ПДК) – минимальная среднегодовая концентрация диоксида азота за весь период времени; 1981, 1985, 1986 года (1.0 ПДК). В эти годы отмечено особенно частое преобладание ветров западной четверти, что способствует очищению городского воздуха Санкт-Петербурга (см. ранее, п. 2.3.2). Максимальная среднегодовая концентрация диоксида азота была отмечена в 1998 г. (2.9 ПДК).

На четвертом этапе, рассмотрим подробно причины указанного выше превышения концентрации диоксида азота на примере 1998 г. Так, анализ годового хода диоксида азота за 1998 г. (рисунок 4.4), показывает, что наивысшие значения концентраций как среднемесячной, так и максимальной за месяц отмечены в июне. По данным городских наблюдений за диоксидом азота в течение июня 1998 г. максимальная его концентрация (1.64 мг/м^3) была зафиксирована в Центральном районе (пост № 10) 15 июня в 13:00 часов.

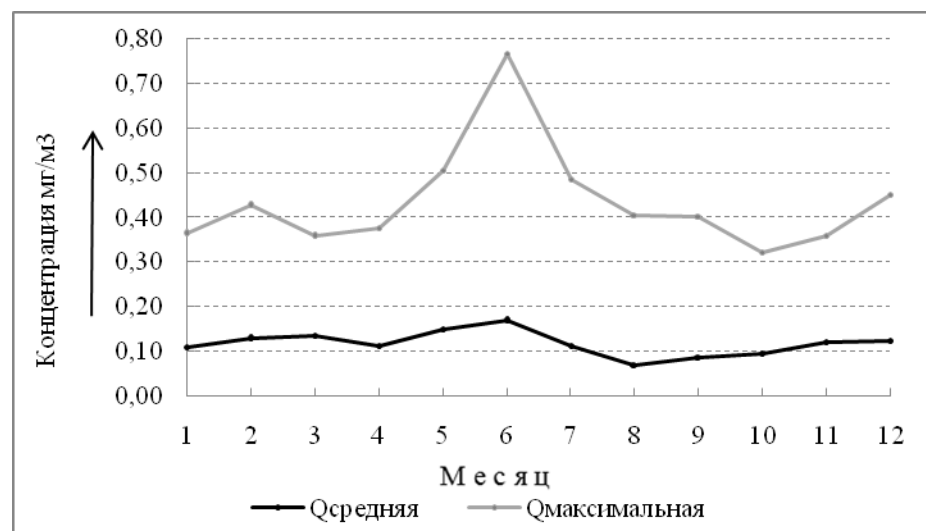


Рисунок 4.4 – Годовой ход среднемесячных и максимальных концентраций диоксида азота г. Санкт-Петербург, в течение 1998 г.

Таким образом, выполнен анализ архивного материала приземных карт погоды над Европой [70]. В результате данного анализа выявлена синоптическая ситуация, которая 15 июня 1998 г. определила высокое загрязнение воздуха диоксидом азота в городе: Санкт-Петербург находился в зоне тёплого сектора циклона (рисунок 4.5).

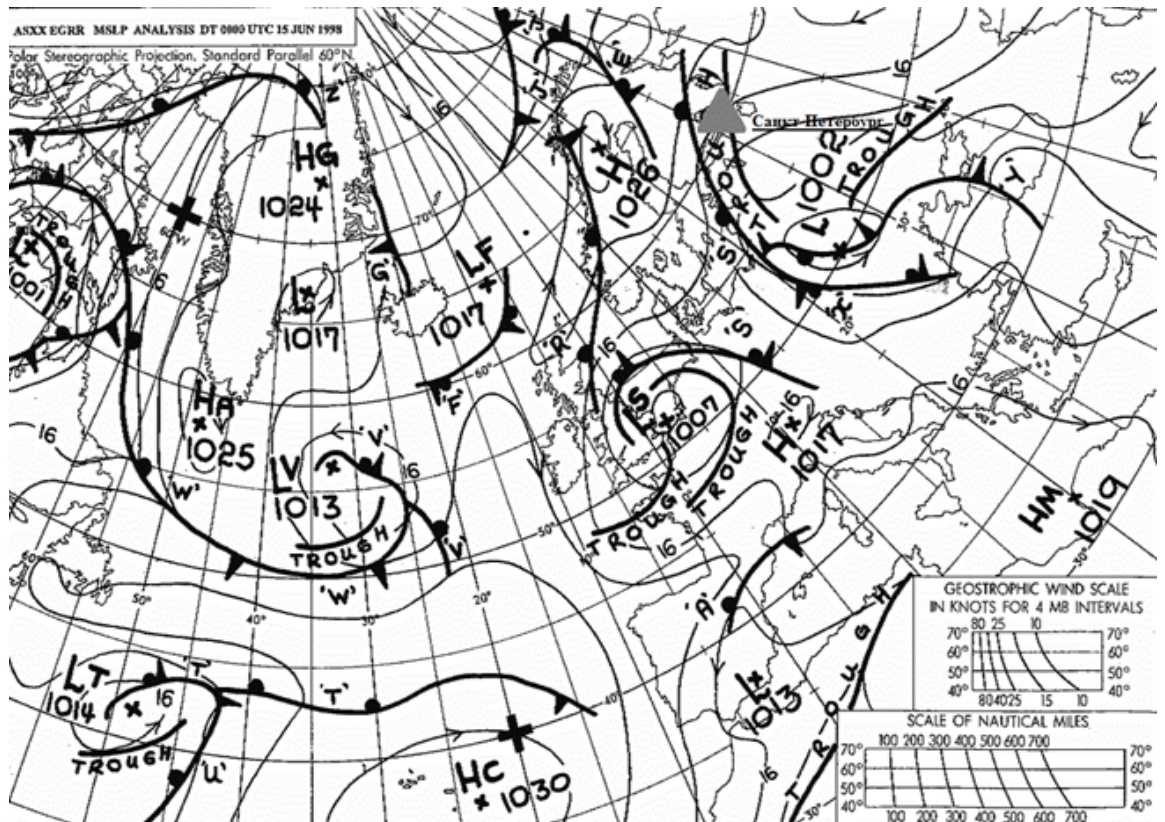


Рисунок 4.5 – Приземная карта погоды над Европой за 15 июня 1998 г, за срок 04:00 (00:00 UTC) [70]

Для тёплого сектора циклона характерны следующие погодные параметры, способствующие аккумуляции загрязняющих веществ в воздухе: низкая слоистая облачность и туманы адвективного происхождения.

На заключительном этапе выполнен анализ графика (рисунок 4.3) межгодовых изменений превышения средних концентраций взвешенных веществ над ПДК. Выявлено, что за весь изучаемый период времени их значения колебались, то превышая уровень в 1.0 ПДК, то понижая значения до санитарной нормы; при этом максимум наблюдался в 2002 г. (1.8 ПДК), когда над

Европейской частью России в летние месяцы отсутствовали осадки, а температура воздуха превышала многолетнюю норму. Рассмотрим годовой ход загрязнения атмосферного воздуха города взвешенными веществами в 2002 г (рисунок 4.6)



Рисунок 4.6 – Годовой ход среднемесячных и максимальных концентраций взвешенных веществ г. Санкт-Петербург, в течение 2002 г.

Согласно данным графика (рисунок 4.6), в августе 2002 г отмечены наивысшие значения концентраций взвешенных веществ как среднемесячной, так и максимальной, при этом среди максимальных концентраций наивысшая зафиксирована на посту № 5 (Калининском районе) и составляет 4,9 мг/м³.

Как известно на территории Калининского района преобладают промышленные объекты (теплоэлектроцентраль 17, объединённое акционерное общество «ЛОМО», акционерное общество «Красный выборжец» и другие), кроме того, по территории района проходит более десяти крупных автомагистралей, 5 железнодорожных станций и Финляндский вокзал. Поэтому на протяжении всего изучаемого периода значения концентраций взвешенных веществ на посту № 5 существенно превышали значения концентраций на других постах.

Дальнейший анализ максимальных концентраций взвешенных веществ августа 2002 г. позволяет отметить пост № 7 (Василеостровский район), где 22 августа в 07:00 зафиксировано значение 2.4 мг/м^3 . Согласно данным, представленным на рисунке 4.7, где отражена синоптическая ситуация 22 августа 2002 г, Санкт-Петербург находится в области антициклона, что обуславливает повышенные концентрации загрязнения атмосферного воздуха города взвешенными веществами. Кроме того, по состоянию на 23 августа 2002 г в Ленинградской области было зафиксировано 1185 лесных пожаров, которыми было охвачено 1378 га [110], при этом выбросы продуктов горения также оказывали влияние на формирование концентрации взвешенных веществ в этот период.

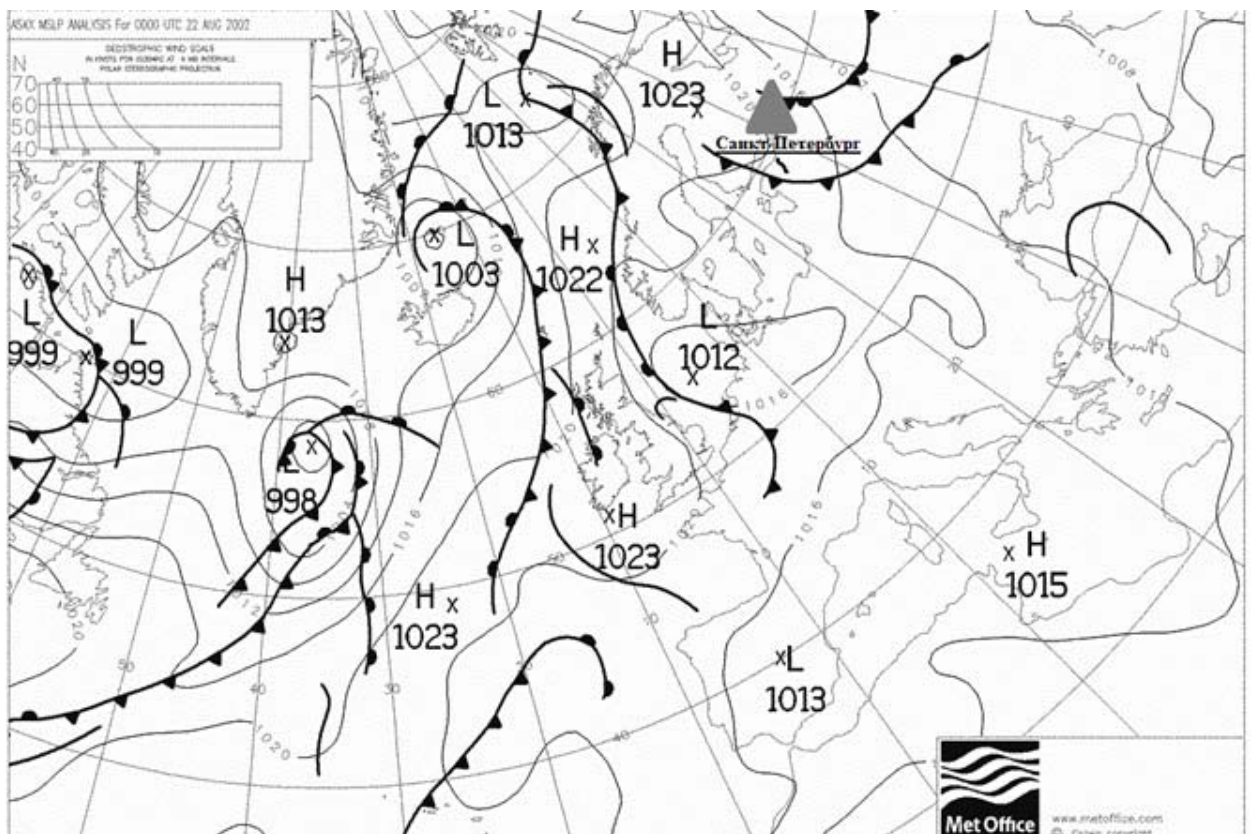


Рисунок 4.7 – Приземная карта погоды над Европой за 22 августа 2002 г, за срок 04:00 (00:00 UTC) [70]

Таким образом, изучение годового хода загрязняющих веществ (оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества) за период с 1980 по 2012 гг. в

целом по Санкт-Петербургу позволило выявить наибольшие концентрации указанных выше веществ, которые приходится на весенне-летний период, главным образом, в связи с сезонными изменениями как синоптической ситуации, так и погодных условий в целом. Изучение межгодовой изменчивости рассматриваемых загрязняющих веществ за период с 1980 по 2012 гг. по Санкт-Петербургу позволяет отметить снижение их концентраций после 1980-х гг, что объясняется спадом промышленного производства. Дальнейшие колебания концентраций загрязняющих веществ обуславливаются особенностями установления той или иной синоптической ситуации, а также погодными условиями. В числе синоптических ситуаций, влияющих на накопление антропогенных примесей в воздухе Санкт-Петербурга, в частности диоксида азота и взвешенных веществ следующие: пребывания территории города в зоне тёплого сектора циклона; установление антициклонального режима.

4.3.2 Состояние атмосферного воздуха города за период с 2006 по 2014 гг

В основе статистических методов прогноза загрязнения атмосферного воздуха лежит анализ материалов наблюдений за концентрациями примесей в воздухе и соответствующим метеорологическим, синоптическим условиям. Коллективом специалистов ГГО разработаны и внедрены в оперативную практику методы прогноза интегральных показателей загрязнения по город в целом, в основе которых учёт реального вида связей между уровнем загрязнения и метеорологическими, синоптическими условиями. Таким образом, в качестве прогнозируемой величины, обычно, применяют обобщённый показатель загрязнения воздуха – параметр P (см. формулу 4.1) [5].

Для получения ежедневных значений параметра P предварительно рассчитываются среднесезонные значения концентраций примесей для каждого стационарного поста. Расчеты средних значений концентраций проводятся отдельно для каждого года. Для ежедневного оперативного расчета параметра P рекомендуется учитывать средний уровень загрязнения воздуха в течение соответствующего трехмесячного периода предыдущего года и предшествующих

двух месяцев данного года. По всему используемому ряду наблюдений отмечаются единичные концентрации, которые превышают $1.5q_{\text{ср}}$. Рекомендуется рассчитывать параметр P отдельно для каждой примеси и по всем примесям [5].

$$P = m/n, \quad (4.1)$$

где P – интегральный показатель – параметр P ;
 n – общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах;
 m – количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями (q), которые превышают среднесезонное значение $q_{\text{ср}}$ более чем в 1.5 раза ($q > 1.5q_{\text{ср}}$)

Необходимыми условиями для расчета параметра P и его использования в качестве характеристики загрязнения воздуха по городу в целом является наличие стационарных пунктов в городе, в количестве не менее трех; количество наблюдений за концентрациями примесей в воздухе на всех постах в течение дня не должно быть меньше 20.

В рамках данного исследования для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга изучены данные наблюдений за состоянием атмосферного воздуха «СЗ УГМС», где определены величины m и n по двум примесям (оксид углерода, диоксид азота), за период с 2006 по 2014 гг, за сроки 01:00 и 07:00; 13:00; 19:00, как показано на рисунке 4.8 (фрагмент базы данных).

При использовании параметра P рекомендуется рассматривать три группы загрязнения воздуха: относительно высокое, повышенное и пониженное. Согласно материалам наблюдений в ряде городов, рекомендованы следующие градации для групп загрязнения: $P > 0.35$ – относительно высокое (первая группа), $0.20 < P \leq 0.35$ – повышенное (вторая группа), $P \leq 0.20$ – пониженное

(третья группа). Согласно РД 52.04.306-92, рекомендовано примерное сохранение повторяемости случаев загрязнения: 10% для первой группы, 40% для второй группы, 50% для третьей группы. Таким образом, параметр P может изменяться от 0 до 1 [5].

Срок	срок 01,07 часов		срок 13 часов		срок 19 часов	
	количество превышений (m)	количество отборов (n)	количество превышений (m)	количество отборов (n)	количество превышений (m)	количество отборов (n)
09-январь-06	4	22	3	17	3	19
10-январь-06	2	21	2	15	1	17
11-январь-06	8	20	6	14	7	16
12-январь-06	4	23	4	17	4	19
13-январь-06	2	23	3	17	5	19
14-январь-06	3	23	2	17	2	19
16-январь-06	3	18	1	13	1	15
17-январь-06	1	16	1	11	3	13
18-январь-06	1	18	1	13	0	15

Рисунок 4.8 – Фрагмент базы данных, где определены величины m и n по двум примесям (оксид углерода, диоксид азота) по г. Санкт-Петербург

В процессе работы с базой данных (см. рисунок 4.8) на первом этапе выполнен расчёт значения параметра P . В процессе изучения полученных данных из общего массива были выделены случаи с $P > 0.35$, повторяемость которых составила около 10 %, а также случаи $0.20 < P \leq 0.35$, повторяемость которых составила около 20 % [111].

С целью оценки годового хода загрязнения атмосферного воздуха за период времени с 2006 по 2014 гг, для случаев: $P \leq 0.20$; $0,20 < P \leq 0.35$ и $P > 0.35$ выполнено суммирование количества дней, приходящихся на каждый случай, для каждого месяца отдельно за 9 рассматриваемых лет. Полученные результаты представлены в графическом виде на рисунке 4.9.

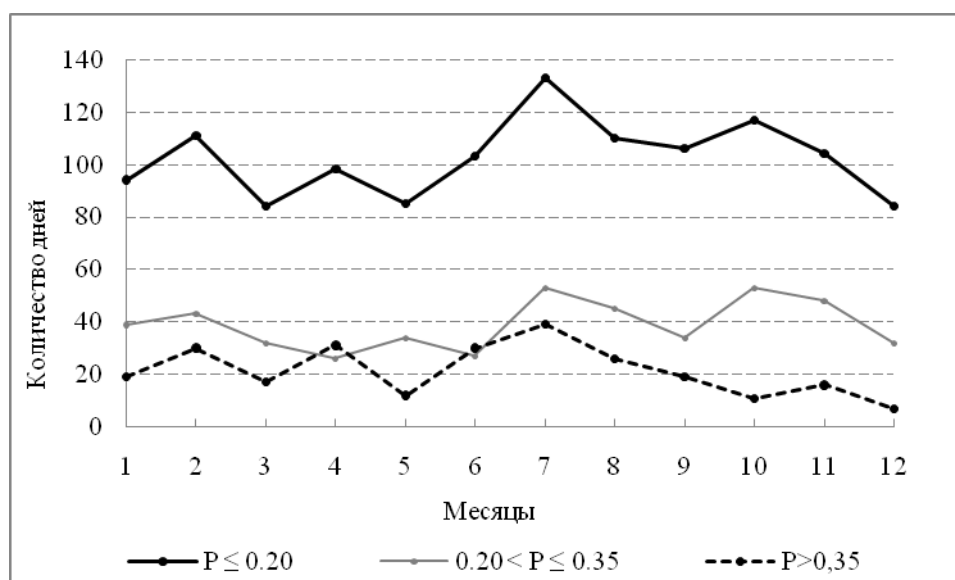


Рисунок 4.9– Годовой ход общего количества дней с загрязнениями, по параметру P для г. Санкт-Петербург, за период с 2006 по 2014 гг.

Рассмотрим тенденции годового хода параметра P по Санкт-Петербургу за период с 2006 по 2014 гг. Согласно данным графика годового хода параметра P , представленного на рисунке 4.9, за период с 2006 по 2014 гг. для всех трех рассматриваемых групп максимальное количество дней с загрязнением атмосферного воздуха по параметру P приходится на июль месяц, минимальное (кроме группы $0.20 < P \leq 0.35$ (апрель)) – на декабрь. Кроме того, для двух групп ($P < 0.20$; $0.20 < P \leq 0.35$) большое количество дней с загрязнениями отмечены в октябре. Причины такого распределения загрязнения воздуха в годовом ходе объясняются закономерностями смены синоптических ситуаций и метеорологических условий, характерных для них. В частности, летний период года, как было описано ранее (см. ранее, п.3.3), характеризуется для Санкт-Петербурга увеличением повторяемости антициклонов и M , в целом годовое ход параметра P для трёх рассматриваемых групп отражает годовое ход повторяемости антициклонической кривизны изобар и M (рисунок 3.4). В годовом ходе температуры воздуха (рисунок 2.4) и инверсии температуры (рисунок 2.11) максимальное значение в июле, что соответствует максимальному значению параметра P для всех рассматриваемых групп. В октябре усиливается

повторяемость прохождения циклонов через Санкт-Петербург, однако «октябрьские» циклоны, согласно наблюдениям за период с 2006 по 2014 гг, характеризуются низкой, слоистой облачностью, обложными осадками, туманами, адвекцией тепла в тропосфере, что также способствует накоплению загрязнения в атмосферном воздухе.

Зимой формируются синоптические условия, препятствующие накоплению загрязняющих атмосферный воздух веществ, так как указанный выше период времени характеризуется усилением циклонической активности, сопровождающейся усилением ветра и обильными осадками, вымывающими загрязняющие вещества (исключение составляет февраль месяц).

Совокупность общего количества дней с загрязнениями атмосферного воздуха за 12 месяцев для всех трёх групп за период времени с 2006 по 2014 гг, для каждого из рассматриваемых 9 лет отражает динамику и тенденции межгодовой изменчивости загрязнения воздуха Санкт-Петербурга, что иллюстрирует рисунок 4.10.

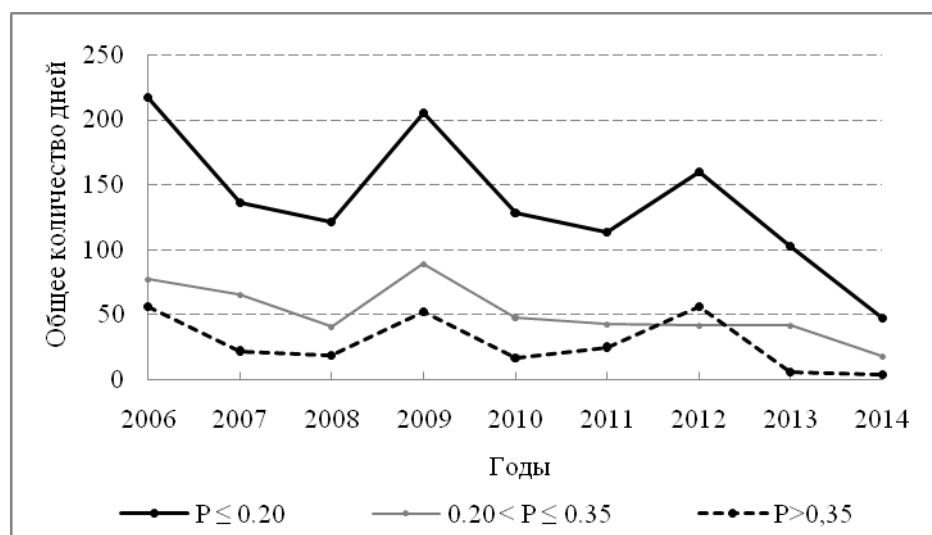


Рисунок 4.10 – Изменчивость общего количества дней с загрязнениями, по параметру P для г. Санкт-Петербург, за период с 2006 по 2014 гг.

Анализ графика (рисунок 4.10) особенностей распределения межгодовых изменений загрязнения атмосферного воздуха показывает, что наибольшее

количество дней с загрязнением воздуха по параметру P , для трёх рассматриваемых групп отмечены в 2006, 2009 и 2012 гг, когда отмечена высокая повторяемость антициклонической кривизны изобар, кроме того в 2009 г отмечена высокая повторяемость ветров северо-восточного направления; в то же время на 2006 и 2009 гг. приходится минимальна повторяемость циклонов и максимальная повторяемость M , что иллюстрирует рисунок 3.5; кроме того в 2006 г отмечено минимальное количество осадков за рассматриваемый период (535.6 мм).

Дальнейший анализ графика изменчивости количества дней с загрязнениями по параметру P , позволяет отметить сокращение для всех рассматриваемых групп после 2012 г, и минимальные значения в 2013 и 2014 гг (особенно ярко для группы $P > 0,35$), что совпадает с уменьшением повторяемости циклонов и M (что связано, по мнению автора, с сокращением повторяемости штилевых значений ветра), на фоне роста повторяемости антициклонической кривизны изобар. Следует отметить и 2008 г, как год с относительно пониженным в значением параметра P , что связано по мнению автора, с минимальным значением количества дней с туманами за рассматриваемый период (7 дней); в 2014 г количество дней с туманами – 9, что также оказывает влияние на сокращение значения параметра P .

Таким образом, изучение годового хода параметра P за период с 2006 по 2014 гг. по Санкт-Петербургу позволяет отметить июль как месяц с максимальным количеством дней в году с загрязнениями, декабрь – с минимальным. Изучение межгодовой изменчивости параметра P за период с 2006 по 2014 гг. по Санкт-Петербургу позволяет выявить 2006, 2009 и 2012 гг, как наиболее загрязненные, и отметить снижение уровня загрязнёния воздуха после 2012 гг.

Основные выводы

Для оценки состояния атмосферного воздуха Санкт-Петербурга были изучены фондовые данные мониторинга атмосферного воздуха «СЗ УГМС», что позволило сформировать базу данных по концентрациям загрязняющих веществ

(оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества) в воздухе за период с 1980 по 2012 гг.; а также базу данных загрязнения в целом по городу, по параметру P за период с 2006 по 2014 гг.

Изучение годового хода загрязняющих веществ (оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества) за период времени с 1980 по 2012 гг. в целом по Санкт-Петербургу, а также параметра P за период с 2006 по 2014 гг. позволило отметить теплый период года как период с наибольшим загрязнением, что связано, главным образом, с сезонными изменениями как синоптической ситуации, так и погодных условий в целом.

Изучение межгодовой изменчивости параметра P за период с 2006 по 2014 гг. по Санкт-Петербургу позволяет выявить 2006, 2009 и 2012 гг. как наиболее загрязненные и отметить снижение уровня загрязнения воздуха после 2012 гг., что обуславливается особенностями установления той или иной синоптической ситуации, а также погодными условиями. В числе синоптических ситуаций, влияющих на накопление антропогенных примесей в воздухе Санкт-Петербурга, следующие: пребывание территории города в зоне тёплого сектора циклона, М; установление антициклонального режима.

5 Оценка вклада комплекса метеорологических условий и характерных синоптических ситуаций в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург

5.1 Метеорологические условия и характерные синоптические ситуации, оказывающие влияние на формирование уровня загрязнения воздуха, для осенне-зимнего периода с 2006 по 2014 гг.

В рамках данного исследования с целью детального подхода изучены синхронные данные загрязнения атмосферного воздуха по параметру P и синоптическим ситуациям, сопровождающимся комплексом метеорологических условий за период с 2006 по 2014 гг. (2637 дней). Осенне-зимний (холодный) период, согласно климатической норме, принимаем с ноября по март месяцы или 1050 дней холодного периода.

При этом рассматриваются три группы загрязнения воздуха: относительно высокое ($P > 0.35$); повышенное ($0.20 < P \leq 0.35$); пониженное ($P \leq 0.20$). Ряд погодных характеристик обладает ярко выраженным суточным ходом, поэтому дальнейшая детализация включает дневные (09:00 – 21:00) и ночные случаи (21:00 – 09:00) (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Количество случаев загрязнения (по группам) с учётом суточного хода для осенне-зимнего периода г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг.

Период	Группа загрязнения		
	$P \leq 0.20$	$0.2 < P \leq 0.35$	$P > 0.35$
Холодный (суточный)	750	201	99
Холодный (ночной)	737	202	110
Холодный (дневной)	720	227	103

Анализ данных, представленных в таблице 5.1, позволяет сделать вывод о формировании пониженного уровня загрязнения в 71 % холодного периода, повышенного – в 20 % и относительно высокого в 9 %. При этом в дневные часы преобладает повышенное загрязнение, а в ночные – пониженное или относительно высокое. Данное распределение в суточном ходе связано, по-видимому как с увеличением в дневные часы количества автотранспортных средств, так и с суточным ходом радиационного баланса и метеорологических характеристик. С целью определения зависимостей уровня загрязнения от метеорологических параметров, выполнено осреднение метеорологических данных характерных для каждой группы загрязнения, с учётом времени суток, результат представлен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Зависимость уровня загрязнения от метеорологических параметров для осенне-зимнего периода, с учётом времени суток

Время суток	Группа загрязнения	Метеорологические параметры		
		Температура (средняя), °С	Скорость ветра (средняя), м/с	ВНГО (средняя), м
Ночь	$P \leq 0.20$	-2.5	2.2	620
	$0.20 < P \leq 0.35$	-3.4	1.8	630
	$P > 0.35$	-6.0	1.3	770
День	$P \leq 0.20$	-1.9	2.4	640
	$0.20 < P \leq 0.35$	-2.2	2.1	610
	$P > 0.35$	-4.5	1.5	840
Сутки	$P \leq 0.20$	-2.1	2.4	630
	$0.20 < P \leq 0.35$	-2.7	1.8	610
	$P > 0.35$	-5.2	1.4	820
Примечание: ВНГО – высота нижней границы облаков				

Данные таблицы 5.2 показывают явно выраженные зависимости уровня загрязнения по параметру P для любого времени суток осенне-зимнего периода: загрязнение увеличивается с понижением температуры и скорости ветра, а также при повышении высоты нижней границы облаков. Применения гипотезы о

равенстве средних, показало статистическую значимость различий в средних значениях характеристик.

Для Санкт-Петербурга, как известно, юго-западное направление ветра является преобладающим в течение всего года (см. ранее, п.2.3.2); результат определения среднего направления ветра показал диапазон от 175 до 225°, при этом пониженное загрязнение формируется при направлении в 225°, а при 175° – относительно высокое, что говорит о строго юго-западном направлении, способствующем очищению воздушного бассейна.

В ходе дальнейшего исследования выявлено наличие явлений погоды (снег, дождь, ливневые осадки, морось, дымка, туман) в 40 % всего холодного периода; при этом с увеличением осадков уровень загрязнения уменьшается, что подтверждает установленный ранее факт.

Явление температурной инверсии, как отмечено ранее (рисунок 2.11), для Санкт-Петербурга наблюдается, в среднем, ежемесячно, в любое время суток. С целью определения формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха в условиях наличия температурной инверсии для каждой группы загрязнения, в зависимости от времени суток выделены случаи наличия явления инверсии (результат представлен в процентном отношении). Рассмотрим уровень загрязнения атмосферного воздуха в условиях наличия/отсутствия инверсии температуры, с учётом времени суток (таблица 5.3). Из таблицы 5.3 видно, что чем чаще отмечается явление инверсии температуры, тем выше значение параметра P .

Следующим этапом исследования холодного периода стало выявление расположения района города относительно той или иной синоптической ситуации, результат чего представлен в процентном отношении в таблице 5.4.

Из таблицы 5.4 видно, что наиболее часто в холодный период года город находится в циклоне, его восточной и северо-восточной перифериях, а также в М. Для каждого синоптического положения определён вклад в каждую из трёх групп загрязнения атмосферного воздуха (согласно суточным значениям), результат чего представлен в таблице 5.5.

Таблица 5.3 – Уровень загрязнения атмосферного воздуха в условиях наличия/отсутствия инверсии температуры для осенне-зимнего периода, с учётом времени суток, %

Время суток	Группа загрязнения					
	$P \leq 0.20$		$0.20 < P \leq 0.35$		$P > 0.35$	
	при инверсии	без инверсии	при инверсии	без инверсии	при инверсии	без инверсии
Ночь	68	32	88	12	90	10
День	69	31	80	20	89	11
Сутки	75	25	89	11	89	11

Таблица 5.4 – Повторяемость положения района г. Санкт-Петербург относительно синоптической ситуации осенне-зимнего периода с 2006 по 2014 гг.

Положение города относительно синоптической ситуации	Повторяемость, %
ПЦВ	14
М	12
Ц	9
ПЦСВ	9
ПАЮЗ	8
ПЦЮВ	7
Цгс	6
А	6
ПЦЮ	4
ПЦС	3
ПЦЮЗ	3
ПАЮ	3
ПАЗ	3
ПАСЗ	3
ПЦЗ	2
ПАС	2
ПАЮВ	2
ПЦСЗ	2
ПАВ	1
ПАСВ	1

Таблица 5.5 – Вклад синоптической ситуации в общий уровень загрязнения (по группам) г. Санкт-Петербург для осенне-зимнего периода с 2006 по 2014 гг, %

Синоптическая ситуация	Группа загрязнения		
	$P \leq 0.20$	$0.20 < P \leq 0.35$	$P > 0.35$
ПЦВ	17	12	6
М	9	20	27
Ц	9	12	3
ПЦСВ	8	9	10
ПАЮЗ	7	–	11
ПЦЮВ	8	5	5
Цтс	4	13	10
А	5	7	10
ПЦЮ	4	2	1
ПЦС	3	1	1
ПЦЮЗ	3	1	2
ПАЮ	3	3	1
ПАЗ	4	2	1
ПАСЗ	3	4	5
ПЦЗ	2	2	1
ПАС	3	2	–
ПАЮВ	3	2	6
ПЦСЗ	1	1	–
ПАВ	2	–	–
ПАСВ	2	2	–
Суммарно	100	100	100

При анализе данных таблицы 5.5 отмечено, что в случае формирования пониженного загрязнения ($P \leq 0.20$) Санкт-Петербург чаще находится в восточной части циклона (ПЦВ); в случае формирования относительно высокого ($P > 0.35$) и повышенного ($0.20 < P \leq 0.35$) загрязнения город находится в зоне М, что свидетельствует о серьёзном вкладе М в накопление загрязнения атмосферного воздуха в осенне-зимний период и об относительно чистом воздухе при прохождении через город атлантических циклонов. Данный вывод подтверждает и расчёт, выполненный с целью отражения вклада (в процентном отношении) каждого из пяти выделенных в главе 3 (п.3.2) групп синоптических процессов, характерных для осенне-зимнего периода с 2006 по 2014 гг. в каждую

из трёх групп загрязнения, по параметру P с учётом времени суток, что отражено в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Вклад синоптического процесса для района г. Санкт-Петербург в общий уровень загрязнения атмосферного воздуха (по группам), с учётом времени суток за осенне-зимний период с 2006 по 2014 гг., %

Время суток	Группа загрязнения	Группа синоптического процесса					
		1	2	3	4	5	М
Ночь	$P \leq 0.20$	36	25	17	7	9	6
	$0.20 < P \leq 0.35$	25	25	15	2	13	20
	$P > 0.35$	23	20	12	4	15	26
День	$P \leq 0.20$	35	25	16	7	9	8
	$0.20 < P \leq 0.35$	29	23	14	4	14	16
	$P > 0.35$	24	23	11	5	12	25
Сутки	$P \leq 0.20$	36	23	17	8	9	7
	$0.20 < P \leq 0.35$	26	26	12	3	13	20
	$P > 0.35$	24	22	13	4	11	26

Примечание:
 1 – Прохождение атлантического циклона через г. Санкт-Петербург
 2 – Влияние арктического антициклона на г. Санкт-Петербург
 3 – Влияние отрога Сибирского антициклона на г. Санкт-Петербург
 4 – Выход на г. Санкт-Петербург южных циклонов
 5 – Прохождение «ныряющего циклона» через г. Санкт-Петербург

Анализ данных таблицы 5.6 позволяет выделить преобладающий вклад атлантических циклонов в формирование пониженного уровня загрязнения воздуха; арктического антициклона – в повышенный уровень загрязнения воздуха и М – в относительно высокий уровень загрязнения воздуха Санкт-Петербурга осенне-зимнего периода.

Однако, как указано в 3.4.1 настоящей работы, повторяемость указанных выше синоптических процессов над территорией города различна. С целью оценки формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга при установлении над территорией города каждого из пяти

характерных групп синоптических процессов (без учёта его сезонной повторяемости) выполнен расчёт, представленный в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Вероятность возникновения загрязнения, по параметру P (3 группы) при установлении синоптического процесса (5 групп) над районом г. Санкт-Петербург, %

Группа синоптического процесса	Группа загрязнения		
	$P \leq 0.20$	$0.20 < P \leq 0.35$	$P > 0.35$
1	77	15	8
2	74	17	9
3	76	16	8
4	84	10	6
5	66	24	10

Примечание:
 1 – Прохождение атлантического циклона через г. Санкт-Петербург
 2 – Влияние арктического антициклона на г. Санкт-Петербург
 3 – Влияние отрога Сибирского антициклона на г. Санкт-Петербург
 4 – Выход на г. Санкт-Петербург южных циклонов
 5 – Прохождение «ныряющего циклона» через г. Санкт-Петербург

Из таблицы 5.7 следует вывод о том, что синоптические процессы выхода антициклона и «ныряющего циклона» на территорию города способствуют формированию повышенного уровня загрязнения, в то время как выход атлантического циклона, южных циклонов – наоборот.

Для оценки тесноты связи синоптического процесса и уровня загрязнения воздуха использован коэффициент взаимной сопряженности Пирсона-Чупрова (см. формулы 5.1 – 5.4) [112]:

$$K_{\text{п}} = \sqrt{\frac{\varphi^2}{1 + \varphi^2}} \quad (5.1)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент Пирсона;
 φ^2 – показатель взаимной сопряженности.

$$Kч = \sqrt{\frac{\varphi^2}{\sqrt{(k1-1) \times (k2-1)}}} \quad (5.2)$$

где $Kч$ – коэффициент Чупрова;
 φ^2 – показатель взаимной сопряженности;
 $k1$ – число групп загрязнений;
 $k2$ – число групп синоптических ситуаций.

$$\varphi^2 = \sum \frac{f_{xy}^2}{f_x \times f_y} - 1, \quad (5.3)$$

$$1 + \varphi^2 = \sum \frac{\sum \frac{f_{xy}^2}{f_x}}{f_y} = \sum \frac{\sum \frac{f_{xy}^2}{f_y}}{f_x}, \quad (5.4)$$

где φ^2 – показатель взаимной сопряженности;
 f – количество случаев по выборке для каждой группы;
 x – суммарное количество случаев по группам загрязнения;
 y – суммарное количество случаев по группам синоптических ситуаций.

Наиболее распространённым критерием согласия, используемым для проверки статистической гипотезы о виде распределения, является χ^2 , рассчитанный по формуле 5.5 [112].

Результаты оценки тесноты связи синоптических ситуаций и уровня загрязнения атмосферного воздуха, выполненной путём расчёта коэффициента Пирсона-Чупрова для ночных, дневных и суточных часов, представлены в сводной таблице 5.8.

$$\chi^2 = f \left\{ \sum_{xy} \frac{f_{xy}^2}{f_x \times f_y} - 1 \right\} \quad (5.5)$$

где χ^2 – критерий согласия;
 f – количество случаев по выборке для каждой группы;
 x – суммарное количество случаев по группам загрязнения;
 y – суммарное количество случаев по группам синоптических ситуаций.

Таблица 5.8 – Оценка тесноты связи синоптического процесса и уровня загрязнения атмосферного воздуха при уровне значимости 0.05, для г. Санкт-Петербург за осенне-зимний период с 2006 по 2014 гг.

Коэффициент	Время суток		
	День	Ночь	Сутки
Кп	0.21	0.26	0.24
Кч	0.12	0.15	0.13
χ^2	38.1	61.2	49.9
$\chi^2_{кр}$	18.3		

В таблице 5.8 представлен результат расчёта критерия согласия χ^2 , а также χ^2 критический ($\chi^2_{кр}$) при уровне значимости 0,05, что позволяет выполнить оценку значимости статистической гипотезы о виде распределения. Так как для всех рассматриваемых случаев $\chi^2 > \chi^2_{кр}$, различия статистически значимые, что позволяет отметить наличие существенной связи между синоптическими ситуациями и загрязнением атмосферного воздуха, несмотря на малую величину коэффициентов Пирсона-Чупрова.

Из проделанной работы видно, что загрязнение атмосферного воздуха зависит от метеорологических условий, синоптических ситуаций, инерционного фактора. Поэтому, в работе сделана попытка поиска линейной зависимости между уровнем загрязнения атмосферного воздуха и перечисленными

характеристиками. Для этого массив данных метеорологических характеристик (приземных) и данных радиозондирования, а также данных по параметру P составили две выборки для выполнения регрессионного анализа, для ночных и дневных часов холодного периода. Далее было сформулировано уравнение множественной линейной регрессии (МЛР):

$$P = a_0 + \sum b_i w_i + \sum c_i P'_i + \sum e_i s_i \quad (5.6)$$

где P – прогнозируемое значение параметра P ;
 a_0 – свободный член;
 b_i – коэффициент регрессии;
 c_i – коэффициент регрессии;
 e_i – коэффициент регрессии;
 w_i – характеризует погодные элементы (температура воздуха, точка росы, атмосферное давление, ветровые характеристики, явления погоды в срок и между сроками, ВНГО, видимость, инверсия, за 8 сроков;
 P'_i – значение параметра P в предыдущие сроки;
 s_i – характеристика синоптической ситуации.

Нахождение коэффициентов линейной регрессии осуществляется путём метода наименьших квадратов (МНК) [113, 114]. Модели подбирались путём пошаговой регрессии, методом включения. Полученные результаты представлены в таблице 5.9.

Из таблицы видно, что определяющая доля дисперсии изменчивости загрязнения вносит инерционный фактор (39 % – для ночных часов и почти вдвое больше, 64 % – для дневных). Дальнейшее пошаговое улучшение модели приводит к незначительному изменению описываемой дисперсии. Данный результат позволяет сделать вывод о том, что метеорологические переменные для

Санкт-Петербурга в осенне-зимний период за время с 2006 по 2014 гг не вносили значительного линейного влияния на уровень загрязнения атмосферного воздуха.

Таблица 5.9 – Данные пошагового регрессионного анализа (осенне-зимний период)

Ночь		День		
Предиктор	R^2	Шаг	R^2	Предиктор
$P'(01+07)$	0.350	1	0.604	$P'(01+07)$
$P'(01+07) + P'(13+19)$	0.391	2	0.640	$P'(01+07) + P'(13+19)$
$P'(01+07) + P'(13+19) + WW(18)$	0.402	3	0.645	$P'(01+07) + P'(13+19) + U(09)$
$P'(01+07) + P'(13+19) + WW(18) + WW(09)$	0.406	4	0.648	$P'(01+07) + P'(13+19) + U(09) + VV(09)$
$P'(01+07) + P'(13+19) + WW(18) + WW(09) + W1(15)$	0.412	5	0.650	$P'(01+07) + P'(13+19) + U(09) + VV(09) + WW(00)$
Примечания: $P'(01+07)$ – предыдущее значение параметра P за сроки 01:00 и 07:00; $P'(13+19)$ – предыдущее значение параметра P за сроки 13:00 и 19:00; $WW(00)$ – явление погоды в срок 00:00; $WW(09)$ – явление погоды в срок 09:00; $WW(18)$ – явление погоды в срок 18:00; $U(09)$ – ветровая составляющая за срок 09:00; $VV(09)$ – дальность видимости за срок 09:00; $W1(15)$ – явление погоды между сроками 12:00 и 15:00.				

Таким образом, выполненная оценка вклада синоптических ситуаций и метеорологических условий в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха для изучаемого осенне-зимнего периода позволила получить следующие результаты:

- загрязнение увеличивается с понижением температуры и скорости ветра, а также при повышении высоты нижней границы облаков;
- отмечена прямая зависимость высокого загрязнения от наличия явления температурной инверсии;
- M вносит существенный вклад в формирование загрязнения атмосферного воздуха;

- выход Атлантических циклонов формирует пониженный уровень загрязнения.

2 Метеорологические условия и характерные синоптические ситуации, оказывающие влияние на формирование уровня загрязнения воздуха, для весенне-летнего периода с 2006 по 2014 гг.

Весенне-летний период, согласно климатической норме, принимаем с апреля по октябрь месяцы, что соответствует 1587 дням теплого периода.

Как и в случае холодного периода, рассматриваются три группы загрязнения воздуха: относительно высокое, повышенное, пониженное; дневные (09:00 – 21:00) и ночные (21:00 – 09:00) интервалы времени, наряду с суточными (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Количество случаев загрязнения (по группам) с учётом суточного хода для весенне-летнего периода г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг

Период	Группа загрязнения		
	$P \leq 0,20$	$0,20 < P \leq 0,35$	$P > 0,35$
Тёплый (суточный)	1109	280	198
Тёплый (ночной)	1061	300	225
Тёплый (дневной)	1100	296	191

Формирование пониженного уровня загрязнения отмечено в 70 % теплого периода; повышенного – в 18 % и относительно высокого в 12 %, о чём свидетельствует анализ данных таблицы 5.10. В суточном ходе загрязнения атмосферного воздуха относительно высокое и повышенное загрязнение преобладают в ночные часы, а пониженное – в дневные. Данное распределение объясняется, по мнению автора, суточным ходом метеорологических характеристик и радиационного баланса, кроме того, следует отметить возможность накопления загрязняющих веществ от активно действующих в течение дня источников.

Выполнено осреднение метеорологических данных, характерных для каждой группы загрязнения (с учётом времени суток), с целью определения зависимостей уровня загрязнения от метеорологических параметров (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Зависимость уровня загрязнения от метеорологических параметров для весенне-летнего периода, с учётом времени суток

Время суток	Группа загрязнения	Метеорологические параметры		
		Температура (средняя), °C	Скорость ветра (средняя), м/с	ВНГО (средняя), м
Ночь	$P \leq 0.20$	10.8	1.5	1050
	$0.20 < P \leq 0.35$	11.5	1.3	1060
	$P > 0.35$	13.1	1.1	1200
День	$P \leq 0.20$	13.5	2.2	900
	$0.20 < P \leq 0.35$	15.9	2.0	900
	$P > 0.35$	17.0	1.8	970
Сутки	$P \leq 0.20$	12.2	2.0	910
	$0.20 < P \leq 0.35$	14.7	1.7	970
	$P > 0.35$	15.8	1.6	1060
Примечание: ВНГО – высота нижней границы облаков				

Анализ данных таблицы 5.11 отражает зависимости уровня загрязнения по параметру P в течение суток весенне-летнего периода: загрязнение увеличивается с повышением температуры и высоты нижней границы облаков, а также при уменьшении скорости ветра. Различия в средних значениях характеристик статистически значимы (результат применения гипотезы о равенстве средних).

Юго-западное направление ветра в Санкт-Петербурге, как и в холодный период, способствует очищению воздушного бассейна, отклонения от которого влекут повышение уровня загрязнения. Явления погоды отмечены в 16 % всего теплого периода, следовательно, фактор естественного очищения (вымывание с осадками), таким образом, в теплый период понижен.

Рассмотрим уровень загрязнения атмосферного воздуха в условиях наличия/отсутствия инверсии температуры (в тёплый период повторяемость увеличивается), с учётом времени суток (таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Уровень загрязнения атмосферного воздуха в условиях наличия/отсутствия инверсии температуры для весенне-летнего периода, с учётом времени суток, %

Время суток	Группа загрязнения					
	$P \leq 0.20$		$0.20 < P \leq 0.35$		$P > 0.35$	
	при инверсии	без инверсии	при инверсии	без инверсии	при инверсии	без инверсии
Ночь	84	16	79	21	90	10
День	27	73	29	71	17	83
Сутки	84	16	91	9	90	10

В таблице 5.12 в зависимости от времени суток выделены случаи наличия явления инверсии (в процентном отношении), для определения формирования уровня загрязнения воздуха (рассмотрены три группы загрязнения). Анализ таблицы 5.12 свидетельствует об относительной редкости явления в дневные часы тёплого периода и о частой – в ночные, что отражается как в группах ночного загрязнения, так и суточного (чем чаще отмечается явление инверсии температуры, тем выше значение параметра P).

Анализ положения района г. Санкт-Петербург относительно той или иной синоптической ситуации показал, что для тёплого периода свойственно наиболее частое пребывание города в зоне М, центра антициклона и циклона, а также в восточной его периферии (таблица 5.13).

Далее для каждого синоптического положения определён вклад в каждую из трёх групп загрязнения атмосферного воздуха в течение суток, результат чего представлен в таблице 5.14

Таблица 5.13 – Повторяемость положения района г. Санкт-Петербург относительно синоптической ситуации весенне-летнего периода с 2006 по 2014 гг.

Положение города относительно синоптической ситуации	Повторяемость, %
М	20
ПЦВ	11
Ц	9
А	9
ПЦСВ	6
ПЦЮВ	5
ПЦЮ	5
Цтс	4
ПАЮЗ	4
ПАЗ	4
ПАС	3
ПАЮ	3
ПАВ	3
ПАСЗ	3
ПЦЗ	2
ПЦС	2
ПЦЮЗ	2
ПАЮВ	2
ПАСВ	2
ПЦСЗ	1

Анализ таблицы 5.14 позволяет сделать вывод о преобладании для района г. Санкт-Петербург в тёплый период М в формировании всех трёх групп загрязнения, по параметру P в течение суток; также следует отметить вклад антициклона.

Для определения вклада (в процентном отношении) каждого из четырёх выделенных в главе 3 (п.3.4.2) групп синоптических процессов, характерных для весенне-летнего периода за период с 2006 по 2014 гг. в каждую из трёх групп загрязнения, по параметру P с учётом времени суток выполнен расчёт, результат которого представлен в таблице 5.15.

Таблица 5.14 – Вклад синоптической ситуации в общий уровень загрязнения (по группам) г. Санкт-Петербург для весенне-летнего периода с 2006 по 2014 гг, %

Синоптическая ситуация	Группа загрязнения		
	$P \leq 0.20$	$0.20 < P \leq 0.35$	$P > 0.35$
М	16	24	28
ПЦВ	13	8	7
Ц	9	8	11
А	8	9	15
ПЦСВ	7	5	5
ПЦЮВ	6	4	2
ПЦЮ	7	3	–
Цгс	2	9	9
ПАЮЗ	3	5	5
ПАЗ	4	4	4
ПАС	3	1	2
ПАЮ	3	4	2
ПАВ	3	1	1
ПАСЗ	4	5	2
ПЦЗ	2	1	1
ПЦС	2	3	2
ПЦЮЗ	3	1	–
ПАЮВ	2	3	1
ПАСВ	2	1	2
ПЦСЗ	1	1	1
Суммарно	100	100	100

Анализ данных таблицы 5.15 позволяет выделить преобладающий вклад Атлантических циклонов в формировании пониженного уровня загрязнения воздуха; отрога Азорского антициклона – в повышенный уровень загрязнения воздуха и М – в относительно высокий уровень загрязнения воздуха Санкт-Петербурга весенне-летнего периода. Однако, как указано в 3.4.2 настоящей работы, повторяемость указанных выше синоптических ситуаций над территорией города – различна. Поэтому, для оценки формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга при установлении над территорией города каждой из четырёх групп синоптического процесса (без учёта

его сезонной повторяемости) выполнен расчёт, результат представлен в таблице 5.16.

Таблица 5.15 – Вклад синоптического процесса для района г. Санкт-Петербург в общий уровень загрязнения атмосферного воздуха (по группам), с учётом времени суток за весенне-летний период времени с 2006 по 2014 гг., %

Время суток	Группа загрязнения	Группа синоптического процесса				
		1	2	3	4	МГБП
Ночь	$P \leq 0.20$	31	22	17	21	9
	$0.2 < P \leq 0.35$	21	24	12	18	25
	$P > 0.35$	13	29	15	25	28
День	$P \leq 0.20$	29	24	17	19	11
	$0.2 < P \leq 0.35$	19	25	16	20	20
	$P > 0.35$	15	26	11	18	30
Сутки	$P \leq 0.20$	30	23	17	20	10
	$0.2 < P \leq 0.35$	18	24	16	19	23
	$P > 0.35$	15	24	15	16	30

Примечание:
 1 – Прохождение атлантического циклона через г. Санкт-Петербург
 2 – Влияние отрога Азорского антициклона на г. Санкт-Петербург
 3 – Выход на г. Санкт-Петербург южных циклонов
 4 – Влияние арктического антициклона на г. Санкт-Петербург

Из таблицы 5.16 следует вывод о том, что формированию повышенного и относительно высокого уровня загрязнения способствуют синоптические ситуации выхода на территорию города отрога Азорского антициклона, а также южных циклонов (влияние положения в зоне тёплого сектора, по мнению автора); атлантический циклон – пониженного.

Результаты оценки тесноты связи синоптических ситуаций и уровня загрязнения атмосферного воздуха, выполненной путём расчёта коэффициента Пирсона-Чупрова, критерия согласия χ^2 , а также $\chi^2_{кр}$, при уровне значимости 0.05, для ночных, дневных и суточных часов, представлены в сводной таблице 5.17.

Таблица 5.16 – Вероятность возникновения загрязнения, по параметру P (3 группы) при установлении синоптического процесса (4 группы) над районом г. Санкт-Петербург, %

Группа синоптического процесса	Группа загрязнения		
	$P \leq 0.20$	$0.20 < P \leq 0.35$	$P > 0.35$
1	81	12	7
2	71	19	10
3	73	19	8
4	73	17	10

Примечание:
 1 – Прохождение атлантического циклона через г. Санкт-Петербург
 2 – Влияние отрога Азорского антициклона на г. Санкт-Петербург
 3 – Выход на г. Санкт-Петербург южных циклонов
 4 – Влияние арктического антициклона на г. Санкт-Петербург

Таблица 5.17 – Оценка тесноты связи синоптического процесса и уровня загрязнения атмосферного воздуха, при уровне значимости 0.05, для г. Санкт-Петербург за весенне-летний период с 2006 по 2014 гг.

Коэффициент	Время суток		
	День	Ночь	Сутки
Кп	0.19	0.24	0.22
Кч	0.12	0.15	0.13
χ^2	45.8	76.7	60.5
$\chi^2_{кр}$	15.5		

Анализ данных таблицы 5.17 позволяет сделать вывод о значимости статистической гипотезы о виде распределения. Так как для всех рассматриваемых случаев $\chi^2 > \chi^2_{кр}$, различия статистически значимые, что позволяет отметить наличие существенной связи между синоптическими ситуациями и загрязнением атмосферного воздуха, несмотря на малую величину коэффициентов Пирсона-Чупрова.

Массив данных метеорологических характеристик (приземных) и данных радиозондирования, а также данных по параметру P составили две выборки для

выполнения регрессионного анализа относительно ночных и дневных часов весенне-летнего периода, результат чего представлен в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Данные пошагового регрессионного анализа (весенне-летний период)

Ночь			День	
Предиктор	R ²	Шаг	R ²	Предиктор
$P'(01+07)$	0.354	1	0.628	$P'(01+07)$
$P'(01+07) + P'(13+19)$	0.383	2	0.685	$P'(01+07) + P'(13+19)$
$P'(01+07) + P'(13+19) + H(15)$	0.388	3	0.685	$P'(01+07) + P'(13+19) + CC$
$P'(01+07) + P'(13+19) + H(15) + Td(09)$	0.392	4	0.687	$P'(01+07) + P'(13+19) + CC + H(0.3)$
$P'(01+07) + P'(13+19) + H(15) + Td(09) + V(03)$	0.395	5	0.688	$P'(01+07) + P'(13+19) + CC + H(0.3) + V(03)$
$P'(01+07) + P'(13+19) + H(15) + Td(09) + V(03) + CC$	0.398	6	0.688	$P'(01+07) + P'(13+19) + CC + H(0.3) + V(03) + Td(09)$
Примечания: $P'(01+07)$ – предыдущее значение параметра P за сроки 01:00 и 07:00; $P'(13+19)$ – предыдущее значение параметра P за сроки 13:00 и 19:00; $H(03)$ – значение высоты нижней границы облаков за срок 03:00; $H(15)$ – значение высоты нижней границы облаков за срок 15:00; $Td(09)$ – значение точки росы за срок 09:00; $V(03)$ – ветровая составляющая за срок 03:00; CC – синоптическая ситуация.				

В результате регрессионного анализа для ночных часов отмечено значимое влияние предикторов в 38 %, которое приходится на инерционный фактор; в случае дневных часов – значимое влияние предикторов 67 %, которые представляют инерционный фактор, что совпадает с результатом холодного периода. Отсюда следует, что метеорологические переменные для Санкт-Петербурга в весенне-летний период с 2006 по 2014 гг. не внесли значительного линейного вклада в уровень загрязнения атмосферного воздуха, что, возможно, объясняется малой продолжительностью исследованного временного интервала, наличием линейной зависимости уровня загрязнения атмосферного воздуха от

других характеристик, не учтённых в рамках данной работы или наличием нелинейных связей.

Таким образом, выполненная оценка вклада синоптических ситуаций и метеорологических условий в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха, для изучаемого весенне-летнего периода, позволила получить следующие результаты:

- загрязнение увеличивается с повышением температуры воздуха и высоты нижней границы облаков, а также при ослаблении скорости ветра;
- наличие явления температурной инверсии в ночные часы отмечено чаще, чем в дневные, что объясняет более высокие значения загрязнения атмосферного воздуха с более частой повторяемостью в ночные часы;
- М вносит основной вклад в формирование повышенного и относительно высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха;
- выход циклона на территорию города с запада формирует относительно пониженный уровень загрязнения.

5.3 Комплекс уточнений прогнозов загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург

Работа по прогнозу уровня загрязнения воздуха необходима для обеспечения относительно чистой воздушной среды. В рамках работы уточнение прогноза загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга осуществлено в два независимых подхода.

5.3.1 Правила уточнения методов прогноза загрязнения атмосферного воздуха

Для Санкт-Петербурга в целях экологической безопасности, путём анализа связей между показателем загрязнения воздуха и метеорологическими факторами, выполнено изучение комплекса метеорологических условий и характерных синоптических процессов, оказывающих влияние на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха, с учётом нестабильных погодных

климатических условий последнего десятилетия, что позволило разработать комплекс уточнений прогнозов загрязнения атмосферы.

На основании физических исследований и анализа фактического материала получены качественные выводы о возможном изменении уровня загрязнения воздуха.

К повышению уровня загрязнения воздуха приводят:

- ослабление ветра;
- северо-восточное направление ветра;
- повышение температуры воздуха для весенне-летнего периода;
- понижение температуры воздуха для осенне-зимнего периода;
- повышение высоты нижней границы облаков;
- образование туманов;
- увеличение повторяемости явления инверсии (круглосуточно – для осенне-зимнего периода, в ночные часы – для весенне-летнего периода);
- увеличение антициклонической кривизны изобар;
- наличие тёплого сектора циклона;
- увеличение областей, в которых барический градиент имеет низкое значение.

К снижению уровня загрязнения воздуха приводит:

- юго-западное направление ветра;
- выпадение осадков;
- увеличение циклонической кривизны приземных изобар.

Можно сформулировать ряд правил для Санкт-Петербурга.

Для осенне-зимнего периода.

Относительно высокие уровни загрязнения воздуха ($P > 0.35$) формируются при следующих условиях:

- в ночные и утренние часы;
- формирование или сохранение над территорией М;
- выход на территорию арктического антициклона.

Повышенные уровни загрязнения воздуха ($0.20 < P \leq 0.35$) формируются при следующих условиях:

- в дневные часы;
- формирование над территорией М;
- выход на территорию «ныряющего» циклона;
- выход на территорию арктического антициклона.

Пониженное загрязнение воздуха ($P \leq 0.20$) отмечается при следующих условиях:

- в ночные часы;
- выход на территорию атлантического циклона;
- выход на территорию южного циклона.

Для весенне-летнего периода.

Относительно высокие и повышенные уровни загрязнения воздуха ($P > 0.35$; $0.20 < P \leq 0.35$) формируются при следующих условиях:

- в ночные и утренние часы;
- формирование или сохранение над территорией М;
- выход на территорию отрога Азорского антициклона.

Пониженное загрязнение воздуха ($P \leq 0.20$) отмечается при следующих условиях:

- в дневные часы;
- выход на территорию атлантического циклона.

5.3.2 Определение ожидаемого уровня загрязнения атмосферно воздуха на основе метода «дерево принятия решения»

Глубокий анализ существенно большой выборки (период с 2006 по 2014 гг) метеорологических условий и показателя состояния загрязнения атмосферного воздуха в рамках проделанной работы позволил применить метод «дерево принятия решения» [115] для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха.

В работе предлагаемый метод отражает инерционную составляющую загрязнения атмосферного воздуха, а также синоптических процессов. Для определения ожидаемой группы (градации) загрязнения воздуха, по параметру P достаточно владеть следующим объёмом информации: прогнозируемый синоптический процесс (с заблаговременностью в 1 сутки), который можно взять, например, из прогноза Гидрометцентра; текущее значение параметра P и текущий синоптический процесс (относительно определяемого значения это – предыдущий срок).

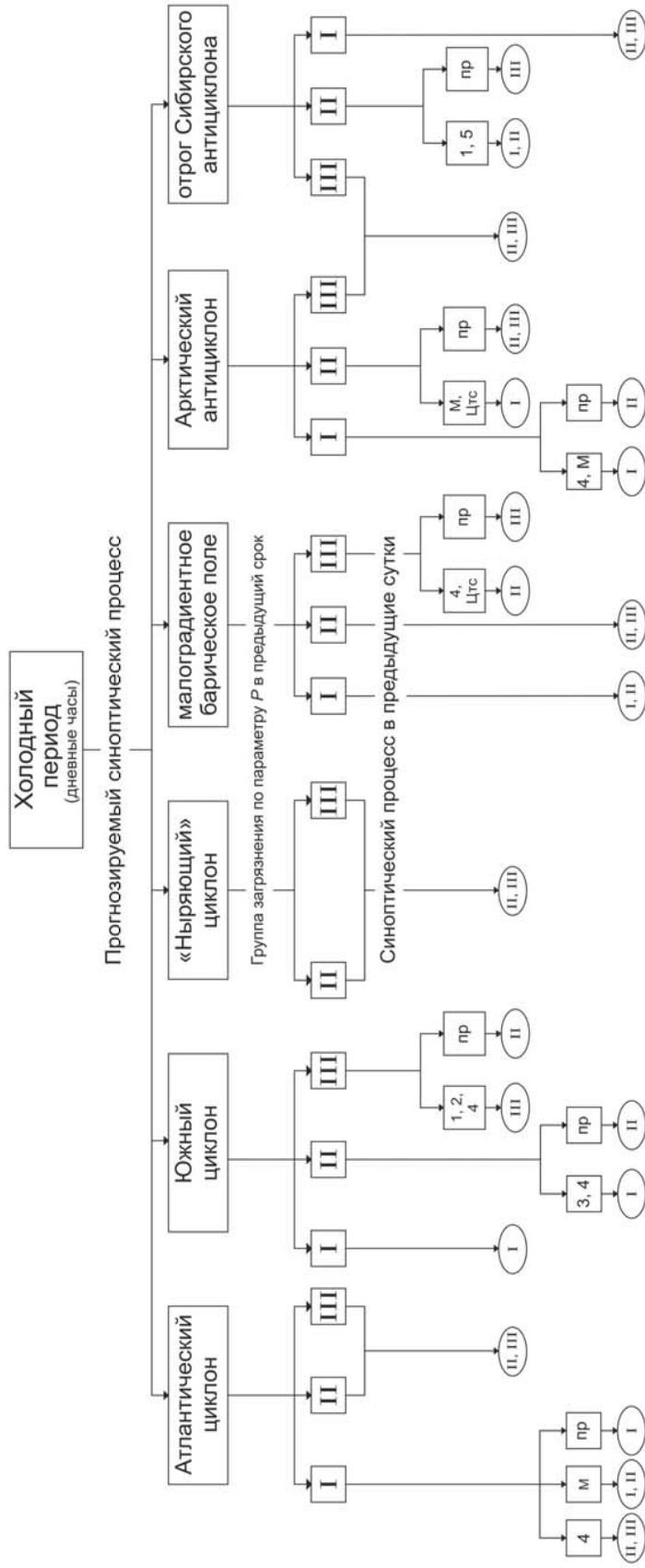
Разработаны 4 схемы для определения ожидаемой группы загрязнения воздуха для: дневных часов холодного периода года (рисунок 5.1), ночных часов холодного периода года (рисунок 5.2), дневных часов тёплого периода года (рисунок 5.3), ночных часов тёплого периода года (рисунок 5.4).

Для определения ожидаемой группы загрязнения на первом шаге необходимо выбрать в «дереве» прогнозируемый синоптический процесс, на втором шаге – определить группу загрязнения воздуха на текущий момент, на третьем – текущий синоптический процесс (если это необходимо), что позволяет четвёртым шагом определить прогнозируемую группу загрязнения воздуха.

На зависимом материале была рассчитана оправдываемость определения ожидаемой группы загрязнения атмосферного воздуха по Санкт-Петербургу, которая оказалась достаточно высокой и составила 80 – 90 % (таблица 5.19).

Таблица 5.19 – Оправдываемость схем «дерево принятия решения» для холодного и тёплого периодов года, дневных и ночных часов на зависимом материале для г. Санкт-Петербург, %

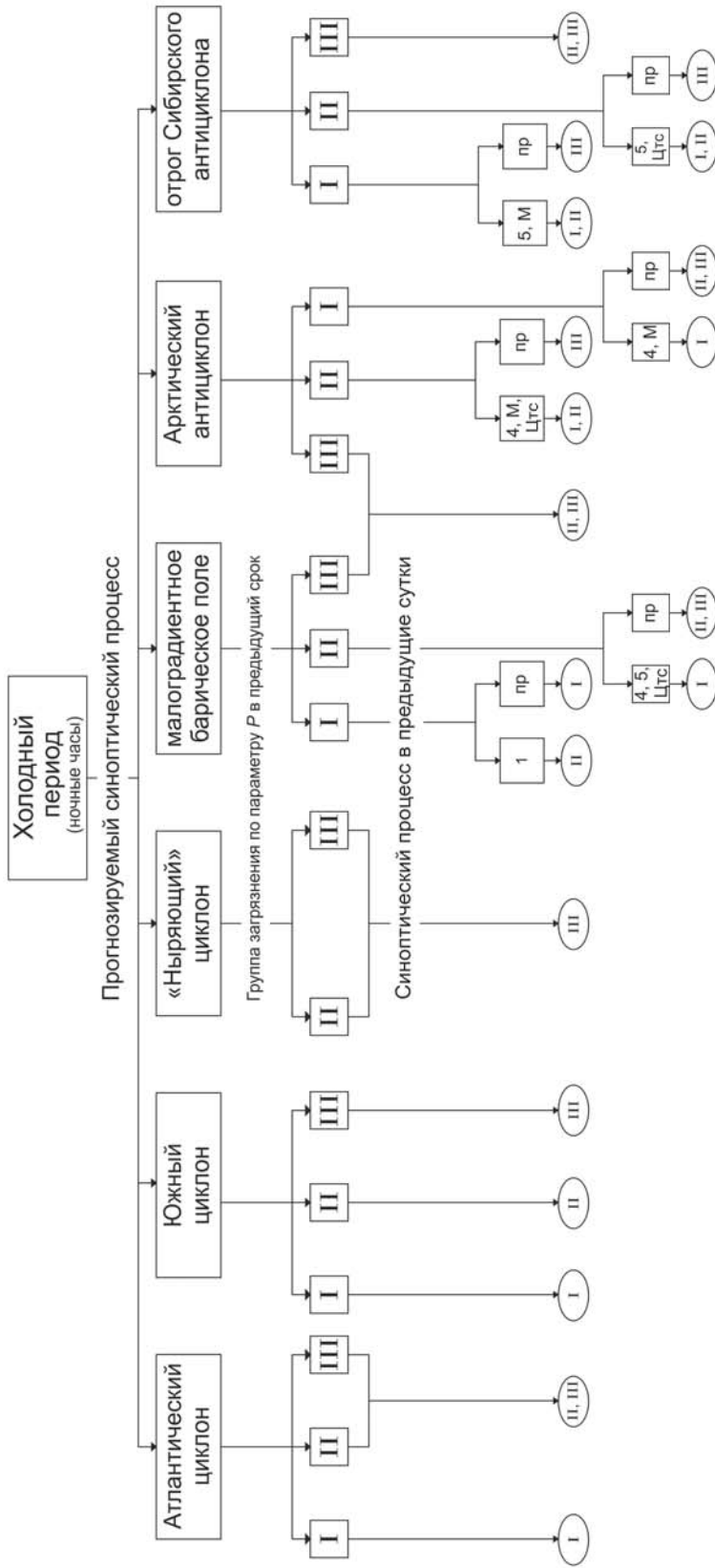
Период года	Время суток	
	Ночь	День
Холодный период	90	91
Тёплый период	84	87



- 1 - Атлантический циклон
- 2 - Южный циклон
- 3 - «Ныряющий» циклон
- 4 - Арктический антициклон
- 5 - отрог Сибирского антициклона
- M - малоградиентное барическое поле

- Цтс - теплый сектор циклона
- пр - прочие
- I - $P \leq 0.20$
- II - $0.20 < P \leq 0.35$
- III - $P > 0.35$

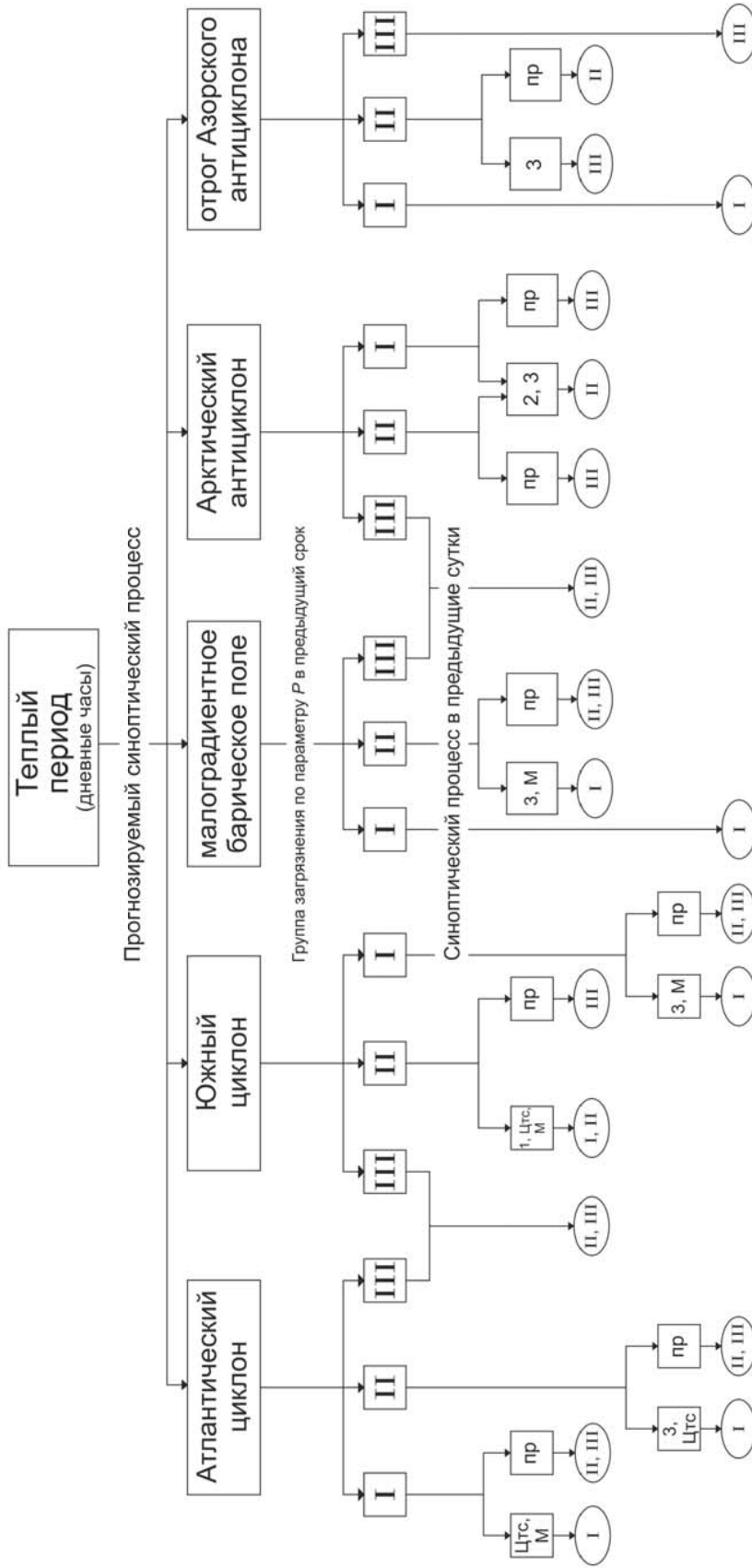
Рисунок 5.1 – Схема «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения воздуха для дневных часов холодного периода для г. Санкт-Петербург



- 1 - Атлантический циклон
- 2 - Южный циклон
- 3 - «Ныряющий» циклон
- 4 - Арктический антициклон
- 5 - отрог Сибирского антициклона
- М - малоградиентное барическое поле

- Цтс - теплый сектор циклона
- пр - прочие
- I - $P \leq 0.20$
- II - $0.20 < P \leq 0.35$
- III - $P > 0.35$

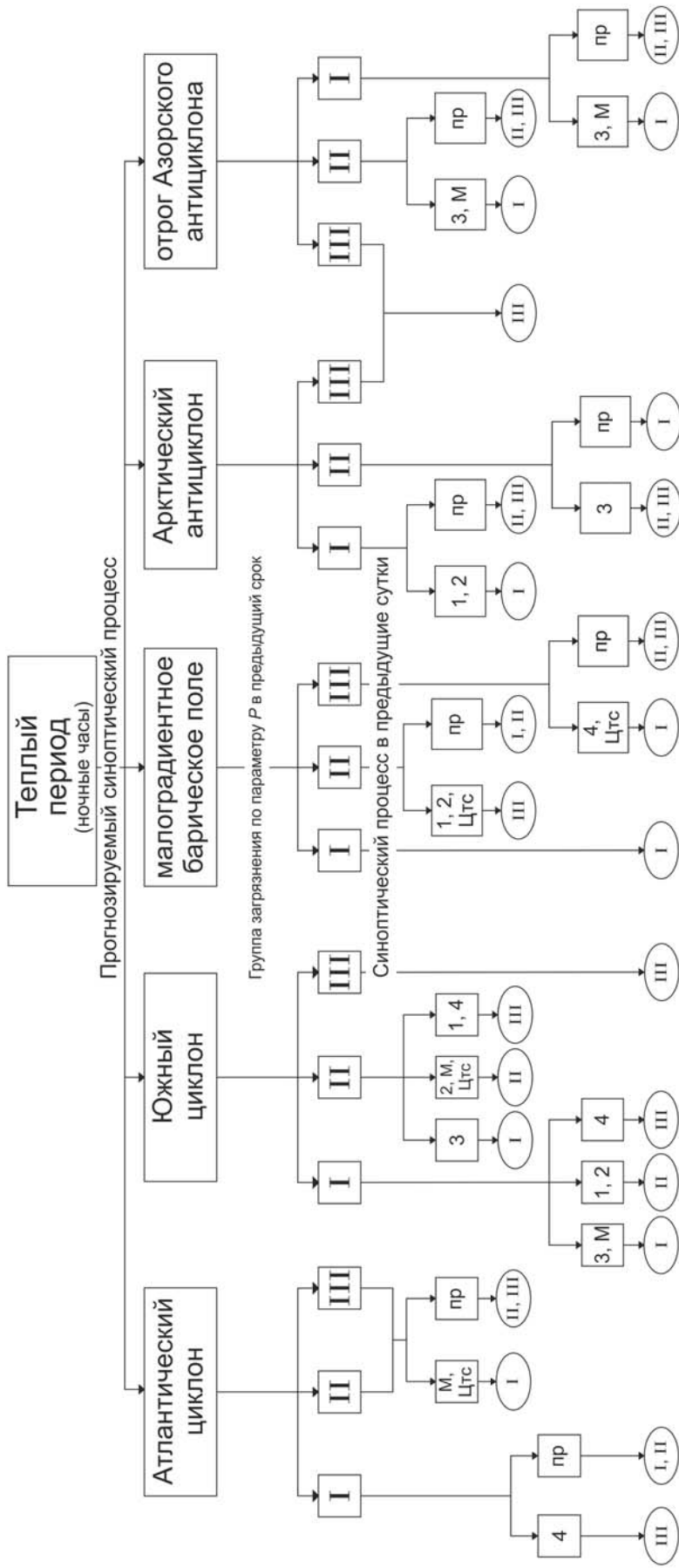
Рисунок 5.2 – Схема «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения воздуха для ночных часов холодного периода для г. Санкт-Петербург



- 1 - Атлантический циклон
- 2 - Южный циклон
- 3 - Арктический антициклон
- 4 - отрог Азорского антициклона
- М - малоградиентное барическое поле

- Цтс - теплый сектор циклона
- пр - прочие
- I - $P \leq 0.20$
- II - $0.20 < P \leq 0.35$
- III - $P > 0.35$

Рисунок 5.3 – Схема «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения воздуха для дневных часов тёплого периода для г. Санкт-Петербург



- 1 - Атлантический циклон
- 2 - Южный циклон
- 3 - Арктический антициклон
- 4 - отрог Азорского антициклона
- М - малоградиентное барическое поле

- Цтс - теплый сектор циклона
- пр - прочие
- I - $P \leq 0.20$
- II - $0.20 < P \leq 0.35$
- III - $P > 0.35$

Рисунок 5.4 – Схема «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения воздуха для ночных часов тёплого периода для г. Санкт-Петербург

Из таблицы 5.19 видно, что определение уровня загрязнения воздуха по предлагаемым схемам является более эффективным в холодный период года. При этом оправдываемость для тёплого периода – также является достаточно высокой.

Основные выводы

Выполнена комплексная оценка метеорологических условий и характерных синоптических ситуаций, формирующих уровень загрязнения атмосферного воздуха, для осенне-зимнего и весенне-летнего сезонов года за период времени с 2006 по 2014 гг. В результате выявлено:

- для всех сезонов, для всех периодов суток повышение уровня загрязнения связано с понижением скорости ветра и повышением высоты нижней границы облаков. Для холодного периода повышение уровня загрязнения сопровождается понижением температуры воздуха, для тёплого – повышением;

- отмечена зависимость уровня загрязнения от наличия явления температурной инверсии (повышение загрязнения с увеличением повторяемости инверсии);

- относительное очищение атмосферного воздуха происходит при распространении на территории города атлантического циклона;

- выявлена зависимость наиболее частого формирования высокого и повышенного уровня загрязнения при влиянии М, что, по мнению автора, объясняет отсутствие линейных связей между метеорологическими переменными и уровнем загрязнения атмосферного воздуха за исследуемый период времени (результат регрессионного анализа). Кроме того, при прогнозировании уровня загрязнения воздуха следует учитывать инерционный фактор как основной.

По достигнутым результатам: сформулированы правила для уточнения основного метода прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга; разработаны схемы «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха города, показана высокая их оправдываемость.

Представленные прогностические правила разработаны по материалам наблюдений в Санкт-Петербурге и являются дополнением к известным методам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование процессов распространения антропогенных примесей в атмосферном воздухе крупных городов является неотъемлемой частью разработки стратегии жизни в мегаполисах в рамках концепции устойчивого развития. История исследований насчитывает около 60 лет, в период которых решены ряд теоретических и практических задач. Однако для г. Санкт-Петербург, отличающегося весьма сложным режимом погоды, неустойчивость погодно-климатических условий последнего десятилетия обусловила появление данного исследования.

Результат проделанной работы можно представить в виде следующих основных выводов:

- Детальный анализ внутригодовой динамики состояния загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга, показал, что тёплый период года характеризуется наибольшим загрязнением, что связано с сезонными изменениями синоптических процессов и погодных условий.
- В межгодовой изменчивости отмечены 2006, 2009 и 2012 гг. как периоды с наибольшим уровнем загрязнения воздуха, что связано с высокой повторяемостью антициклонической кривизны изобар, кроме того в 2009 г отмечена высокая повторяемость ветров северо-восточного направления; кроме того в 2006 и 2009 гг. отмечены минимальная повторяемость циклонов и максимальная повторяемость малоградиентного барического поля.
- Уточнены синоптические ситуации усиливающие загрязнение атмосферного воздуха Санкт-Петербурга: пребывание территории города в зоне тёплого сектора циклона, малоградиентного барического поля, установление антициклонального режима.
- Уточнены характерные группы синоптических процессов г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг. Повторяемость их над исследуемым районом для осенне-зимнего периода составляет:

атлантический циклон (48 %), южный циклон (9 %), «ныряющий» циклон (8 %), арктический антициклон (21 %), отрог Сибирского антициклона (15 %). Для весенне-летнего периода: атлантический циклон (43 %), южный циклон (18 %), арктический антициклон (14 %), отрог Азорского антициклона (25 %).

- Комплекс уточнений существующих прогнозов загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург, позволяет учитывать нестабильные погодные условия последнего десятилетия.
- Разработанные схемы «дерево принятия решения» позволили определить ожидаемый уровень загрязнения атмосферного воздуха, для тёплого и холодного периодов года, дневных и ночных часов, с заблаговременностью в 12 часов, с оправдываемостью – 84 – 91 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Morrison, J. Sustainable development [Text] / J. Morrison. – UK: Profile Books, 2002. – 370 p.
- 2 Шелутко, В.А. Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон. (Россия-Мексика): монография, Т.1. Анализ окружающей среды / В.А. Шелутко, В.В. Дмитриев; под общ. ред. д.ф-м.н, проф. Л.Н. Карлина. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 180 с.
- 3 Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности ФГБУ «Северо-Западное УГМС» за 2014 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. А.А. Луковской; ФГБУ «Северо-Западное УГМС». – СПб.: 2015. – 165с.
- 4 Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в 2014 году [Текст]: Обзор / Под ред. И.А. Серебрицкого. – СПб.: 2015 – 404 с.
- 5 Руководство по прогнозу загрязнения воздуха [Текст]: РД 52.04.306-92. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. — 104 с
- 6 Boettger, C.M. Air-pollution potential East of the Rocky Mountains – Fall 1959 [Text] / C.M. Boettger // Bul. Amer. Met. Soc. – 1961. – V.42. – P. 615 – 620.
- 7 Miller, M.E. Semi-objective forecasting of atmospheric stagnation in the Western United States [Text] / M.E. Miller // Mon. Wea. Rev. – 1964. – V.92(1). – P. 23 – 32.
- 8 Kayper, E.K. Control of emissions through efficient use of atmospheric dispersion and forecast system [Text] / E.K. Kayper, C.J. Hopper // J. Air Pollut. Control Assoc. – 1966. – V.16, № 11. – P. 600 – 609.
- 9 Boettger, C.M. The Nashville daily air pollution forecast [Text] / C.M. Boettger, H.J. Smith // Mon. Wea. Rev. – 1961. – V.89(11). – P. 477 – 481.
- 10 Gross, E. The National air-pollution potential forecast program [Text] / E. Gross // National Meteor. Center. Washington. – 1970. – 28 p.
- 11 Holzworth, G.C. A study of air pollution for the Western United States [Text] / G.C. Holzworth // J. Appl. Meteor. – 1962. – V.1(3). – P. 366 – 382.

12 Holzworth, G.C. Large-scale weather influence on community air pollution potential in the United States [Text] / G.C. Holzworth // J. Air Pollut. Control Assoc. – 1969. – V.19(4). – P. 248 – 254.

13 Holzworth, G.C. Meteorological potential for urban air pollution in the contiguous United States [Text] / G.C. Holzworth // Paper N ME 220 c presented of the Second Intern, Clean-Air Congress, Washington. – 1970. – 22 p.

14 Munn, R.E. The application of an air pollution climatology to town planning [Text] // R.E. Munn // Int. J. Air Pollut. – 1959. – V.1(4) – P. 276 – 287.

15 Niemeier, L.E. Forecasting air pollution potential [Text] / L.E. Niemeier // Mon. Wea. Rev. – 1960. – V.88(3). – P. 88 – 96.

16 Miller M.E., Holzworth G.C. An atmospheric diffusion model for metropolitan areas [Text] / M.E. Miller, G.C. Holzworth // J. Air Pollut. Control Assoc. – 1967. – V.17(1). - P. 46 – 50.

17 Barr S. Prediction of high concentration of short duration using gross turbulence statistics [Text] / S.Barr // J. Air Pollut. Control Assoc. – 1972. – V.22(4). – P. 275 – 277.

18 Spiegler, D.B. A real-time air quality control system [Text] / D.B. Spiegler, E. Newman, N.E. Gaut // Environ. Res. and Technol, 1974. – 50 p.

19 Берлянд, М.Е. Современные исследования Главной Геофизической Обсерватории [Текст] / М.Е. Берлянд. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – 344 с.

20 Берлянд, М.Е. К теории антропогенного воздействия на локальные метеорологические процессы в городе [Текст] / М.Е. Берлянд, М.Н. Зашихин // Метеорология и гидрология. – М.: 1982. – № 2. – С.5 – 16.

21 Семченко, Б.А. Физическая метеорология [Текст] / Б.А. Семченко. – М.: Аспект Прос, 2002. – 415 с.

22 Сонькин, Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы [Текст] / Л.Р. Сонькин. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.

23 Сонькин, Л.Р. Статистические и синоптические методы прогноза загрязнения воздуха в городах [Текст] / Л.Р. Сонькин // Прогнозирование

загрязнения атмосферы: Сборник докладов на международном Совещании ВМО РА-VI. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – С. 60–70.

24 Елекоева, Л.И. Использование метода разложения полей по естественным ортогональным функциям для анализа и прогноза загрязнения атмосферы [Текст] / Л.И. Елекоева // Сборник трудов ГГО. – 1982. – № 450. – С.100 – 106.

25 Елекоева, Л.И. Объективная статистическая схема прогноза воздуха в городах [Текст] / Л.И. Елекоева, Т.П. Ивлева, В.Б. Киселев, Л.Р. Сонькин // Сборник трудов ГГО. – 1987. – № 511. – С.45 – 53.

26 Безуглая, Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов [Текст] / Э.Ю. Безуглая. — Л.: ГМИ, 1980. – 184 с.

27 Безуглая, Э.Ю. Мониторинг состояния атмосферы в городах [Текст] / Э.Ю. Безуглая. – Л.: ГМИ, 1986. – 99 с.

28 Безуглая, Э.Ю. Чем дышит промышленный город [Текст] / Э.Ю. Безуглая. — Л.: ГМИ, 1991. – 255 с.

29 Берлянд, М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы [Текст] / М.Е. Берлянд. – Л., Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.

30 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий [Текст]: ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 92 с.

31 Шевчук, И.А. Аэросиноптические особенности периодов максимального загрязнения атмосферы в городах Сибири [Текст] / И.А. Шевчук // Метеорологические аспекты промышленных загрязнений атмосферы. – М.: Гидрометеиздат, 1968. – С. 77 – 80.

32 Шевчук И.А. Прогноз уровня загрязнения атмосферы промышленными выбросами в Новосибирске [Текст] / И.А. Шевчук // Труды ЗапСибНИГМИ. – 1977. – Вып. 30. – С. 88 – 90.

33 Пономаренко И.Н. Краткосрочный прогноз высокой общей загрязнённости атмосферного воздуха промышленными выбросами и автотранспортом на примере г. Киева [Текст] / И.Н. Пономаренко // Метеорология и гидрология. – 1975. – № 10. – С.32 – 50.

34 Генихович, Е.Л. Моделирование и прогноз загрязнения атмосферного воздуха: история, современное состояние и перспективы развития [Текст] / Е.Л. Генихович // Загрязнение атмосферы городов: Труды научно-практической конференции. – СПб: ГГО им. А.И. Воейкова, 2013.– С.17 – 19.

35 Van den Elshout, S. Comparing urban air quality in Europe in real time - a review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative [Text] / S. Van den Elshout, K. Leger, F. Nussio // Environment International 34. – 2008. – P. 720 – 726.

36 Menut, L. Atmospheric composition forecasting in Europe [Text] / L. Menut, B. Bessagnet // Ann.Geophy, 28. – 2010. – P. 61 – 74.

37 Bell, L.B. Metric matters: Conflicting air quality rankings from different indices of air pollution [Text] / L.B. Bell, B.F. Hobbs, H. Ellis // Journal Air and Waste Management, 49. – 2005. – P. 97 – 106.

38 M. Galperin, M. Meso-to-global modeling of atmospheric transport: numerical recipes, tests and applications [Text] / M. Galperin, E. Genikhovich, M. Sofiev, I, Gracheva, J. Vira, J. Soares // In: D. G. Steyn, S. T. Rao (Eds.) Air Pollution Modeling and its Application XX. Springer. – 2010. – P. 147 – 150.

39 Landulfo, E. Air quality assessment using a multi-instrument approach and air quality indexing in an urban area [Text] / E. Landalfo, C.A. Matos, A.S Torres, P. Sawamura // Atmospheric Research, 85. – 2007. – P. 98 – 111.

40 Shooter, D. Air quality indexing [Text] / D. Shooter, P. Brimblecombe // International journal of Environment and Pollution, 36. – 2009. – P. 305 – 323.

41 Суркова, Г.В. Краткосрочный прогноз концентрации загрязняющих веществ в атмосфере мегаполиса (на примере Москвы) в Гидрометцентре РФ с использованием химико-транспортной модели COSMO-Ru7-ART [Текст] / Г.В. Суркова, А.П. Ревокатова, А.А. Кирсанов, А.В. Кислов, Г.С. Ривин,

И.А. Розинкина // Загрязнение атмосферы городов: Труды научно-практической конференции. – СПб: ГГО им. А.И. Воейкова, 2013.– С.70 – 72.

42 Ревокатова, А.П. Краткосрочный прогноз концентрации угарного газа в атмосфере Москвы [Текст] / А.П. Ревокатова, Г.В. Суркова, А.А. Кирсанов, А.В. Кислов, Г.С. Ривин // Загрязнение атмосферы городов: Труды научно-практической конференции. – СПб: ГГО им. А.И. Воейкова, 2013. – С.72 – 74.

43 Франк-Каменецкий, Д.А. Расчётный мониторинг качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге: техническое и методическое обеспечение [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий // Загрязнение атмосферы городов: Труды научно-практической конференции. – СПб: ГГО им. А.И. Воейкова, 2013.– С.97 – 99.

44 Костарева, Т.В. Прогнозирование загрязнения воздуха в городе на три дня на основе численного метеорологического прогноза [Текст] / Т.В. Костарева, Л.Р. Сонькин // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, вып. 557 / Под ред. В.М Катцова. – СПб.: 2008. – С. 197 – 205.

45 Костарева, Т.В, Прогноз экстремально высоких уровней загрязнения воздуха в городах промышленного региона [Текст] / Т.В. Костарева, В.И. Кириллова, В.Д. Николаев, Л.Р. Сонькин // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, вып. 561 / Под ред. В.М. Катцова. – СПб.: 2010. – С.91 – 103.

46 Кириллова, В.И. Методология прогнозирования качества воздуха в городах с ограниченной сетью мониторинга загрязнения атмосферы [Текст] / В.И. Кириллова, В.Д. Николаев, Л.Р. Сонькин, Г.В. Бехтерева, Л.В. Когочева, Е.Е. Ялынская // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, вып. 569 / Под ред. В.М Катцова. – СПб.: 2013. – С.213 – 223.

47 Даринский, А.В. География Ленинграда [Текст] / А.В. Даринский // Л.: Лениздат, 1982. – 190 с.

48 Петербург в цифрах // Официальный сайт администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] / Официальный сайт администрации Санкт-Петербурга. – СПб.: 2001 – 2015. – Режим доступа: <http://gov.spb.ru/>

49 О территориальном устройстве Санкт-Петербурга законом Санкт-Петербурга [Текст]: Закон № 411-68 от 25.07.2005 г (с изменениями и дополнениями вступившими в силу 01.01.2014 г) // КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании «Консультант Плюс». – М.:2015. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.

50 Андреев, С.С. Человек и окружающая среда [Текст] / С.С. Андреев. – Ростов-на-Дону: Изд. СКНЦ ВШ АПСН, 2005. – 272 с.

51 Климат Ленинграда [Текст] / Под ред. Ц.А. Швера. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 253 с

52 Головина, Е.Г. Особенности антропогенного влияния на метеорологический режим атмосферы в низких широтах [Текст] / Е.Г. Головина. – Л.: ЛГМИ, 1990. – 83 с.

53 Хромов, С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов [Текст] / С.П. Хромов // Л.: Гидрометеиздат, 1983 – 456 с.

54 Фролов, А.К. Экологическая обстановка в г. Санкт-Петербурге [Текст] / А.К Фролов. – СПб.: 2008. – 290 с

55 Денисов, В.Н. Благоустройство территорий жилой застройки [Текст] / В.Н. Денисов, Ю.Х. Лукманов. – СПб.: МАНЭБ, 2006. – 224 с.

56 Денисов, В.Н. Проблемы экологизации автомобильного транспорта [Текст] / В.Н. Денисов, В.А. Роголёв. – СПб.: МАНЭБ, 2005. – 312 с.

57 Ландсберг, Г.Е. Климат города [Текст] / Г.Е. Ландсберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 247 с.

58 Архив погоды в Санкт-Петербурге // gp5.ru расписание погоды [Электронный ресурс] / Официальный сайт ООО «Расписание погоды». – СПб.: 2015. – Режим доступа: <http://gp5.ru/>

59 Климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области // ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФГБУ Северо-Западное УГМС. – СПб.: 2007 – 2015. – Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru/>

60 Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге [Текст]: Аналитический обзор / Под ред. Д.А.Голубева, Н.Д.Сорокина. – СПб.: ФорматТ, 2004. – 784 с.

61 Справочник по климату СССР [Текст]: Вып.3 Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская и Псковская области, ч.5 Облачность и атмосферные явления. – Л.: Гидрометеиздат, 1968

62 Наварич, А.В. Инверсии температуры и их характеристики [Текст] / А.В.Наварич // Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса: Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистров и студентов, секция «Дорожная климатология», В 6. Ч.1 – Минск: БНТУ, 2013. – С. 142 – 146.

63 Безуглая, Э.Ю. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере [Текст] / Э.Ю.Безуглая. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 328 с.

64 Методические рекомендации по использованию данных профилемеров МТП-5 [Текст] / Государственное учреждение «Центральная аэрологическая обсерватория». – М.: 2010. – 45 с.

65 Лазарева, Е.О. Синоптические условия распространения антропогенных примесей в воздухе г. Санкт-Петербург (на примере 1980 – 2012 гг.) [Текст] / Е.О.Лазарева, Е.С.Попова, И.Н.Липовицкая // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сборник докладов IX международной конференции аспирантов и студентов / Под ред. К.Н. Маренич. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2015. – С. 123 – 125.

66 Составление и анализ аэрологической диаграммы // FlyMeteo.org погода без границ [Электронный ресурс] / Официальный сайт «Razrazond». – Ук.: 2012. – Режим доступа: <http://flymeteo.org/>

67 Руденский, Е.Г. Полет на планере [Текст]: Пособие для планеристов / Е.Г. Руденский. – М.: ДОСААФ, 1977. – 144 с.

68 Угрюмов, А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы [Текст]: Учебное пособие / А.И.Угрюмов. – СПб.: РГГМУ, 2006. – 84 с.

69 Хандожко, Л.А. Региональные синоптические процессы [Текст]: Учебное пособие. / Л.А. Хандожко. – Л.: ЛГМИ, 1988. – 103 с.

70 Карты погоды // Meteoweb.ru [Электронный ресурс] / Интернет журнал Meteoweb.ru. – М.: 2015. – Режим доступа: <http://meteoweb.ru/>

71 Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2010 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Э.Ю. Безуглой; ФГБУ «ГГО». – СПб.: ООО РИФ «Д'АРТ», 2011. – 224с.

72 Лазарева, Е.О. Анализ распространения антропогенных примесей в среде г. Санкт-Петербург, за период времени с 1980 по 2012 гг. [Текст] / Е.О. Лазарева // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: Материалы III международной научно-практической конференции, том 2. – North Charleston, USA, 2014. – С. 63 – 67.

73 Средний возраст иномарок в России – 9 лет // Аналитическое агентство АВТОСТАТ [Электронный ресурс] / ООО «Автомобильная статистика». – Тольятти: 2013. – Режим доступа: <http://www.autostat.ru/news/view/14571/>

74 Милютин, Е.О. Влияние выбросов автотранспорта на изменение климата [Текст] / Е.О. Милютин // Конференция в рамках III Международного полярного года: Сборник трудов. 12-13 ноября 2008 года. – СПб.: РГГМУ, 2008. – С. 71 – 73.

75 Попова, Е.С. Анализ временной изменчивости основных антропогенных примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга за период с 1980 г по 2012 г. [Текст] / Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая, Е.О. Лазарева // Экологические проблемы постсоветского пространства: Международный сборник научных статей, вып. 1 / Под ред. А.В. Горбенко. – Липецк: Гравис, 2014. – С. 76 – 85.

76 Руководство по контролю загрязнения атмосферы [Текст]: РД 52.04.186-89 // КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании «Консультант Плюс». – М.:2015.–Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.

77 Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию [Текст]: РД 52.04.667-2005 // КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании «Консультант Плюс».– М.:2015.–Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.

78 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [Текст]: ГН 2.1.6.695-98 // КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании «Консультант Плюс».– М.:2015.–Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.

79 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, дополнения и изменения 2 к ГН 2.1.6.1338-03 [Текст]: ГН 2.1.6.1983-05 // КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании «Консультант Плюс».– М.:2015.–Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.

80 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СЗУГКС за 1980 г. [Текст]: Обзор / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ФОЛ СЗУГКС. – Ленинград.: 1983. – 143с.

81 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СЗУГКС за 1981 г. [Текст]: Обзор / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ФОЛ СЗУГКС. – Ленинград.: 1983. – 159с.

82 О состоянии загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СЗУГКС за 1982 г. [Текст]: Годовой обзор / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ФОЛ СЗУГКС. – Ленинград.: 1983. – 165с.

83 О состоянии загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СЗУГКС за 1983 г. [Текст]: Годовой обзор / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ФОЛ СЗУГКС. – Ленинград.: 1984. – 152с.

84 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СЗУГКС за 1984 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ФОЛ СЗУГКС. – Ленинград.: 1985. – 152с.

85 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СЗУГКС за 1985 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ФОЛ СЗУГКС. – Ленинград.: 1986. – 149с.

86 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СЗУГКС за 1986г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ФОЛ СЗУГКС. – Ленинград.: 1987. – 167с.

87 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СЗУГКС за 1987 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. М.Н. Петровой; ФОЛ СЗУГКС. – Ленинград.: 1988. – 179с.

88 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СевЗапгидрометаЗУГКС за 1988 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ОПРП СевЗапгидромет. – Ленинград.: 1989. – 81с.

89 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СевЗапгидрометаЗУГКС за 1988 г.[Текст]: Приложение к ежегоднику/ Под ред. Т.М. Шахвердовой; ОПРП СевЗапгидромет. – Ленинград.: 1989. – 109с.

90 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СевЗапгидрометаЗУГКС за 1989 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М.Шахвердовой; ОПРП СевЗапгидромет. – Ленинград.: 1990. – 83с.

91 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности СевЗапгидрометаЗУГКС за 1989 г. [Текст]: Приложение к ежегоднику / Под ред. Т.М. Шахвердовой; ОПРП СевЗапгидромет. – Ленинград.: 1990. – 107с.

92 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 1995 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М. Шахвердовой; Санкт-Петербургский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды – СПб.: 1996. – 164с.

93 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 1996 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред.

Т.М. Шахвердовой; Санкт-Петербургский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды – СПб.: 1997. – 164с.

94 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 1997 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М.Шахвердовой; Санкт-Петербургский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды – СПб.: 1998. – 166с.

95 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 1998 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М. Шахвердовой; Санкт-Петербургский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды – СПб.: 1999. – 163с.

96 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 1999 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М. Шахвердовой; Санкт-Петербургский Зональный Центр по гидрометеорологии и мониторингу природной среды – СПб.: 2000. – 159с.

97 Загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2000 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Т.М. Шахвердовой; Санкт-Петербургский Зональный Центр по гидрометеорологии и мониторингу природной среды – СПб.: 2001. – 199с.

98 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2001 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Г.В. Петровой; Санкт-Петербургский региональный Центр по гидрометеорологии и мониторингу природной среды – СПб.: 2002. – 143с.

99 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2002 г.[Текст]: Ежегодник / Под ред. Г.В. Петровой; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2003. – 137с.

100 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2003 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Г.В. Петровой; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и

мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2004. – 135с.

101 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2004 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Г.В. Петровой; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2005. – 141с.

102 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2005 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. С.Л. Басовой; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2006. – 133с.

103 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2006 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. И.Г. Гуревич; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2007. – 125с.

104 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2007 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. А.А. Луковской; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2008. – 110с.

105 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2008 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. А.А. Луковской; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2009. – 134с.

106 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2009 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. А.А. Луковской; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и

мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2010. – 131с.

107 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Северо-Западного УГМС за 2010 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. А.А. Луковской; ГУ «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» – СПб.: 2011. – 133с.

108 Состояния загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности департамента по Северо-Западному Федеральному округу (Санкт-Петербург, Ленинградская, Псковская, Новгородская области и Республика Карелия) 2011 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. А.А. Луковской; ФГБУ «Санкт-Петербургский ЦГМС-Р» – СПб.: 2012. – 144с.

109 Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности ФГБУ «Северо-Западное УГМС» за 2012 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. А.А. Луковской; ФГБУ «Северо-Западное УГМС». – СПб.: 2013. – 161с.

110 Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории Российской Федерации за 2002 г. [Текст]: Ежегодник / Под ред. Э.Ю. Безуглой; ФГБУ «ГГО». – СПб.: 2003. – 59с.

111 Лазарева, Е.О. Влияние температурных инверсий на концентрацию примесей в приземном слое воздуха над Санкт-Петербургом в 2006 – 2014 гг. [Текст] / Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. Научно-теоретический журнал. – СПб.: 2015. – №41. – С.149-155.

112 Теория статистики [Текст]: Учебник / Под ред. Р.А. Шмойловой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.:изд. Финансы и статистика, 2003. – 656 с.

113 Малинин, В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации [Текст] / В.Н. Малинин. – СПб.: РГГМУ, 2008. – 408 с.

114 Гордеева, С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализ гидрометеорологической информации» [Текст] / С.М. Гордеева. – СПб.: РГГМУ, 2010. – 74 с.

115 Левитин, А.В. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ [Текст] / А.В. Левитин. – М.: Вильямс, 2006. – 576 с.

Приложение А – База данных посуточных синоптических положений,
определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за период с
2006 по 2014 гг

Таблица А.1 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих
погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2006 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Цге	М	М	ПЦСВ	А	ПЦЗ	Ц	А	Ц	М	Цге	
2	ПАЮЗ	М	Цге	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПЦЮ	А	М	М	Цге	Ц	ПЦВ
3	М	М	Цге	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПЦВ	А	ПЦС	ПЦСВ	ПЦСВ	ПЦЮЗ	ПЦВ
4	М	Ц	ПЦС	ПЦСВ	А	ПЦЮВ	А	Ц	ПЦСВ	М	ПЦЮ	Цге
5	А	ПАЗ	ПЦС	Ц	А	ПЦЗ	ПЦЮ	М	Ц	Ц	М	ПЦСВ
6	ПАЗ	ПАСЗ	Цге	Ц	А	ПЦЗ	А	М	ПЦЮЗ	ПЦВ	ПЦВ	ПЦВ
7	ПАС	ПЦЗ	Цге	ПЦСВ	ПАВ	ПЦЮ	ПАЗ	ПАЮ	ПЦЮ	ПЦСВ	ПЦВ	Цге
8	ПАС	ПЦЗ	М	Цге	ПАСВ	М	ПАЗ	ПАЮ	Цге	ПЦВ	ПЦЮВ	ПЦВ
9	ПАС	ПАЮЗ	ПАСЗ	ПЦСВ	М	ПЦС	ПЦВ	ПАЮ	Ц	Ц	М	ПЦСВ
10	ПЦВ	ПАЮЗ	М	Цге	М	Цге	М	М	ПЦЮ	Ц	М	ПЦСВ
11	ПЦВ	ПЦЮВ	М	ПЦВ	М	ПАС	ПЦВ	М	Цге	М	ПАСЗ	ПЦВ
12	ПЦВ	ПЦЮВ	ПАСЗ	ПЦЮЗ	М	ПАС	М	ПАЮ	ПАСЗ	ПАЮЗ	ПЦВ	ПЦВ
13	ПАСЗ	М	ПАСВ	А	ПЦВ	ПАС	М	ПАЮВ	ПАСЗ	М	Цге	ПЦВ
14	ПАСЗ	ПЦЮВ	ПАЮВ	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПАЗ	М	ПЦС	ПАСЗ	ПАС	ПЦСВ	ПЦВ
15	ПАСЗ	М	ПАЮВ	Ц	ПЦЮВ	ПЦЮВ	ПАСЗ	ПЦС	ПАВ	Цге	ПЦВ	ПЦВ
16	М	ПАЮЗ	М	ПАСЗ	ПЦЮВ	ПАС	ПЦСВ	ПЦСВ	А	А	Ц	ПЦВ
17	ПАЮВ	ПАЮ	ПАСВ	Ц	М	ПАС	М	Ц	ПАЗ	Цге	М	ПЦЮВ
18	ПАЮВ	ПАЮ	ПАСВ	ПЦСВ	М	М	ПЦЮВ	М	ПАЗ	ПЦЮ	Цге	ПЦЮВ
19	ПАЮВ	ПАЮ	Ц	ПЦВ	ПЦСВ	М	ПЦЮВ	М	ПАЗ	М	Цге	ПЦЮВ
20	ПАЮВ	М	Ц	ПАСЗ	ПЦСВ	А	ПАС	М	ПЦВ	ПАЮВ	ПЦВ	ПЦЮВ
21	ПАЮ	М	ПЦЮ	Ц	ПЦСВ	А	А	М	ПЦЮВ	ПАЮ	Ц	ПЦСВ
22	ПАЮ	ПАСЗ	ПЦЮВ	ПЦЮ	Ц	А	М	М	ПАЗ	ПЦСВ	ПЦВ	ПЦЮВ
23	А	М	ПЦЮВ	А	ПАЗ	А	М	Цге	ПАЗ	ПЦСВ	Цге	Цге
24	Ц	ПАСВ	ПАСЗ	А	Ц	Ц	М	Цге	ПАЗ	Цге	ПЦСВ	ПЦЮВ
25	Цге	ПЦЮ	ПАСЗ	А	ПЦВ	А	ПЦЮВ	Ц	М	Ц	ПЦСВ	Цге
26	Цге	ПЦЮ	ПЦЮ	А	Ц	А	ПЦЮВ	Ц	А	ПЦЮ	ПЦВ	ПАС
27	Цге	М	М	ПАЮ	Ц	М	ПЦЮ	М	ПАЗ	ПЦСВ	ПЦВ	ПЦЮВ
28	ПЦЮЗ	М	ПЦСВ	ПЦС	ПЦЮ	М	ПАС	ПЦСВ	Цге	Ц	ПАСЗ	ПЦЮВ
29	М		Цге	ПЦС	Ц	Ц	М	ПЦСВ	Ц	ПЦЮ	ПАСЗ	ПЦЮ
30	Цге		Цге	ПАЮ	Ц	ПАВ	М	ПАЮ	Цге	ПАС	ПЦВ	ПАСЗ
31	ПЦЮЗ		Цге		М		М	Ц		М		ПЦВ

Таблица А.2 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2007 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПЦВ	М	ПЦСВ	ПАСВ	ПАСЗ	ПАВ	М	ПЦВ	ПЦЮ	ПАЗ	ПЦВ	А
2	ПЦВ	М	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПАС	ПАВ	М	ПЦВ	ПЦВ	ПЦВ	ПЦЮ	ПЦСВ
3	ПЦВ	Цге	Ц	ПЦЮ	ПЦЗ	А	ПЦЮ	М	ПЦВ	М	ПЦЮ	ПЦСВ
4	ПЦВ	ПЦЮЗ	Ц	ПЦЮВ	Ц	А	М	ПЦЗ	Ц	Цге	ПЦЗ	ПЦС
5	Цге	Ц	Ц	ПЦВ	ПАВ	А	ПАВ	М	М	Цге	ПАС	ПЦЮВ
6	ПЦЮВ	ПЦЗ	Ц	ПЦВ	ПАЗ	А	М	ПАС	ПЦВ	Цге	ПЦВ	ПЦВ
7	Ц	М	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПЦВ	ПАСЗ	Ц	ПАВ	ПЦЮВ	М	ПЦВ	ПЦВ
8	ПЦВ	А	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПЦВ	М	Ц	ПАЮ	М	Цге	ПЦВ	ПЦСВ
9	Цге	ПАЮЗ	Цге	ПАСЗ	Ц	М	Ц	ПАЮ	ПЦЗ	Ц	ПЦВ	ПЦВ
10	Цге	М	ПЦСВ	М	ПЦЮВ	М	ПЦЮ	ПАЮЗ	ПАЮ	ПЦЮВ	ПЦСВ	ПАЮЗ
11	ПЦСВ	ПАС	ПЦВ	ПЦВ	М	М	М	М	М	ПЦЮВ	ПЦС	М
12	М	ПАЗ	М	ПЦЮВ	Ц	ПЦВ	Ц	М	ПАЗ	ПЦС	ПЦС	М
13	ПЦСВ	ПАЮЗ	Цге	ПАС	ПЦЮ	Ц	М	М	ПЦВ	ПЦЗ	ПЦСЗ	ПАСВ
14	М	Ц	ПЦВ	ПАС	ПАСЗ	ПЦЮВ	Ц	М	ПАСЗ	ПАС	ПЦЗ	ПАС
15	Ц	ПАЮВ	ПАС	А	Цге	ПЦВ	Ц	Ц	ПЦВ	ПЦВ	Ц	ПАС
16	ПЦВ	А	ПЦВ	ПАСЗ	ПЦВ	ПЦЮ	ПЦЮВ	М	Ц	М	ПЦВ	ПАС
17	ПЦВ	ПАЗ	ПЦВ	ПЦВ	ПЦВ	М	М	Цге	ПАСЗ	ПЦВ	ПЦЮ	ПАС
18	ПЦВ	ПЦВ	Ц	Ц	ПАЮЗ	Ц	ПЦВ	ПЦЮВ	ПЦВ	ПЦЮВ	ПАЗ	ПАС
19	Ц	ПЦЮ	Ц	Ц	ПЦСВ	Ц	ПЦВ	ПАСЗ	Ц	ПЦЮВ	ПЦВ	ПАС
20	ПЦЮЗ	М	ПЦВ	ПЦСВ	ПЦВ	ПЦЮ	ПЦЮ	А	ПЦВ	ПАС	ПЦЮ	ПЦЮ
21	ПЦСВ	ПАЮВ	М	Ц	А	М	ПЦЮ	ПАЮ	ПЦВ	А	ПАСЗ	ПЦЮ
22	ПЦЗ	ПАЮВ	Цге	ПЦЮЗ	М	М	А	Цге	ПЦВ	А	ПАЗ	Цге
23	М	А	Цге	ПАСЗ	ПЦВ	М	А	Цге	ПЦВ	ПАЮ	ПЦВ	М
24	А	А	ПАЮЗ	А	ПЦВ	М	ПЦС	М	ПАЗ	ПАЮ	ПЦЮВ	ПЦВ
25	М	ПАЗ	А	М	Цге	ПЦЮ	Ц	ПЦЮ	ПАЮЗ	ПАЮЗ	ПЦВ	ПЦВ
26	ПЦЮВ	ПАЗ	ПАС	ПАЗ	ПАЮЗ	ПЦЮВ	Ц	ПЦЮВ	ПАЮЗ	ПАЮЗ	Ц	ПЦВ
27	ПЦВ	ПАЮЗ	А	ПЦЮВ	ПАЮЗ	Цге	М	ПЦЮ	ПАЮЗ	ПАЮЗ	Ц	ПЦВ
28	ПЦЮ	Ц	ПАЗ	ПЦЮ	Цге	ПЦВ	Цге	Ц	М	ПАЮЗ	ПЦЮВ	ПЦВ
29	Ц		ПАЗ	ПЦСВ	Цге	ПЦВ	ПЦВ	Ц	М	ПАЮЗ	ПЦЮ	ПЦВ
30	ПЦЮ		ПАЮЗ	ПЦЮ	ПЦС	ПЦВ	ПЦСВ	ПЦЮ	ПАЮ	ПЦВ	М	Цге
31	М		ПЦЮ		Ц		Ц	ПЦЮ		ПЦВ		ПЦВ

Таблица А.3 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2008 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	М	ПЦСВ	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПАЮ	А	ПАЮВ	ПАЗ	ПЦЮ	ПЦСВ	Цгс	ПЦВ
2	ПАЮВ	ПЦСВ	ПЦВ	ПАЮЗ	ПАЮВ	ПАСЗ	ПЦЮЗ	М	ПЦЮ	ПЦСВ	М	ПЦС
3	ПАЮ	ПЦВ	ПЦЮВ	ПАЮЗ	М	Ц	ПЦЮЗ	ПЦС	ПЦСВ	ПЦСВ	ПАСЗ	ПЦСВ
4	А	М	Ц	М	М	ПАВ	ПАВ	Ц	ПЦВ	ПЦСВ	ПАЗ	ПЦСВ
5	А	ПАЗ	ПЦЮ	М	ПЦЮВ	М	ПЦЮЗ	ПЦС	ПЦВ	М	ПЦЮ	Ц
6	ПАЮЗ	ПЦСВ	ПАСЗ	ПАЮЗ	ПЦЮЗ	М	ПЦЗ	ПЦЗ	ПЦВ	ПЦСВ	ПАЗ	Ц
7	ПАЮЗ	ПЦС	ПЦВ	ПЦС	ПАС	ПАВ	М	ПАСЗ	ПЦС	ПЦЮВ	А	М
8	ПЦСВ	М	М	Цгс	ПАС	А	Ц	ПАСЗ	ПАВ	ПЦЮВ	ПАЗ	ПАС
9	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПЦСВ	Ц	М	ПЦВ	Ц	Цгс	ПАВ	А	Цгс	А
10	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПЦСВ	ПЦСВ	М	М	Ц	ПЦЮ	ПАЮВ	ПЦВ	ПЦЗ	М
11	ПЦСВ	М	ПАЮЗ	Ц	М	Ц	ПАСЗ	ПЦСВ	ПАЮВ	ПЦВ	ПЦЗ	Цгс
12	ПЦВ	М	ПАЮЗ	ПАЮВ	ПЦВ	Ц	М	ПЦВ	ПАВ	ПЦВ	Цгс	ПАЮЗ
13	Цгс	ПЦЮВ	ПЦС	ПЦС	ПЦЮ	Ц	ПЦВ	ПЦСВ	ПАВ	ПЦЮВ	ПАЗ	ПАЮЗ
14	ПЦЮВ	ПЦЮВ	Ц	ПЦЗ	ПЦЮЗ	А	М	ПЦВ	ПАВ	ПЦВ	М	ПАЮЗ
15	ПЦСВ	ПЦЮ	Ц	М	ПЦЮЗ	Ц	Ц	ПЦЮВ	ПАВ	ПЦЮ	ПЦВ	А
16	ПЦВ	ПЦЮЗ	Ц	М	ПЦЮ	М	ПЦВ	М	ПАВ	ПЦСВ	Ц	ПАЗ
17	ПЦСВ	ПЦЮВ	Ц	М	М	А	ПЦВ	ПЦСЗ	А	ПЦВ	ПЦЮ	ПАЗ
18	ПЦВ	Ц	Ц	ПЦСЗ	ПЦС	Ц	ПЦВ	Цгс	ПАЮ	Ц	ПАСЗ	ПАЮЗ
19	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПЦСЗ	М	М	Ц	М	ПЦСВ	ПАЮ	ПЦВ	Цгс	ПЦВ
20	ПЦВ	ПАСЗ	ПЦЮЗ	М	М	ПАЗ	М	ПЦВ	ПАЮ	М	Ц	ПЦСВ
21	ПЦВ	А	М	М	М	ПЦСВ	Ц	ПЦВ	М	ПЦВ	Ц	ПЦСВ
22	Ц	ПЦВ	ПЦС	ПАСВ	ПАВ	Ц	ПЦВ	ПЦЮ	ПАЮ	ПЦВ	М	ПЦВ
23	ПЦЮЗ	ПЦВ	ПЦС	ПАСВ	ПАВ	ПАСЗ	ПЦЮВ	ПЦЮ	ПАЮ	ПЦВ	ПЦЗ	Ц
24	ПАСЗ	ПЦЮ	Ц	ПАСВ	ПАВ	ПЦВ	А	ПЦСЗ	А	ПАСЗ	Ц	М
25	ПЦВ	ПЦВ	ПАЮЗ	М	ПАВ	ПЦВ	А	Ц	ПАСВ	ПЦВ	Ц	М
26	Ц	ПЦЮВ	ПЦЗ	М	М	ПЦВ	А	ПЦЗ	Ц	ПЦВ	ПЦВ	М
27	Ц	ПЦСВ	Ц	М	Ц	ПЦВ	ПАВ	ПЦЮЗ	ПЦВ	ПЦВ	ПЦВ	ПЦЮВ
28	ПАС	Ц	ПЦЮВ	ПАЮЗ	ПАСВ	М	ПАЮВ	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПЦВ	Цгс	ПАС
29	ПЦВ	ПАСЗ	ПАЮЗ	М	ПАС	М	ПАВ	Ц	ПЦЮВ	ПЦВ	ПАЮЗ	ПАС
30	Цгс		ПЦЮЗ	ПАЮ	М	М	А	ПЦЮЗ	ПЦВ	М	ПЦС	ПАСЗ
31	Цгс		ПАЮЗ		М		М	ПЦЮЗ		Цгс		ПЦВ

Таблица А.4 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих
погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2009 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПЦЮ	А	Ц	ПЦЮВ	А	ПАСВ	А	М	ПЦВ	ПЦЮВ	А	ПЦСВ
2	ПЦЮ	А	А	ПАС	М	М	М	М	ПАЮЗ	Ц	А	М
3	ПЦЮ	ПАЗ	М	ПАСЗ	М	Ц	ПЦЮ	М	ПАЮЗ	Ц	ПАЮЗ	М
4	ПЦЮ	ПАЗ	ПЦСВ	А	Ц	Ц	М	М	Цге	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПАЮВ
5	ПЦЮВ	М	М	М	ПЦВ	Ц	М	А	ПЦВ	Ц	ПАЮ	ПАЮ
6	ПЦЮВ	М	ПАЮЗ	М	ПЦВ	Ц	М	ПАВ	Ц	ПЦЮ	ПАЮ	ПАЮ
7	ПЦЮВ	ПЦСВ	ПАЮЗ	М	Ц	М	М	А	ПЦВ	ПАЗ	ПЦСВ	ПАЮЗ
8	Ц	ПЦС	ПАЮЗ	А	ПЦВ	ПЦЗ	ПЦСВ	А	ПАЗ	ПЦЮВ	ПЦС	ПАЮЗ
9	ПЦЮВ	ПЦВ	ПЦСВ	А	ПЦВ	М	Цге	А	ПАЗ	М	А	ПАЮЗ
10	А	М	Ц	ПАЮ	ПЦВ	ПАЮЗ	ПЦСВ	ПАСЗ	ПЦВ	ПАС	ПАЮЗ	ПАЮ
11	ПЦВ	М	Ц	ПАЗ	ПЦВ	Ц	М	ПАЗ	ПАС	А	Цге	М
12	ПЦВ	М	М	М	ПАСЗ	ПЦС	М	Цге	А	ПЦСЗ	М	М
13	ПЦВ	М	А	ПАЗ	ПЦЮ	ПЦС	ПЦЗ	ПЦЮВ	ПАЮЗ	Ц	ПЦЗ	ПЦЮ
14	ПЦВ	М	М	М	ПЦЮ	Ц	М	М	М	ПЦСЗ	М	ПАВ
15	ПЦЮ	М	ПАЮ	М	ПЦЮ	ПЦСВ	ПАСЗ	ПЦЮ	ПАСВ	ПЦСЗ	ПЦСВ	А
16	ПЦЮЗ	М	М	ПАВ	ПАВ	ПЦВ	М	ПАСЗ	А	М	ПАЮ	ПАЮЗ
17	А	ПАВ	ПЦВ	ПАЗ	ПАВ	М	Ц	ПЦВ	ПЦЮВ	Ц	ПАЮЗ	М
18	ПАЮЗ	ПЦЗ	Ц	ПЦЮ	А	ПЦЮ	М	ПЦЮВ	ПАС	Ц	ПЦВ	А
19	Цге	А	М	ПАС	М	ПЦЮВ	М	ПЦЮ	ПАСЗ	ПЦВ	ПЦСВ	А
20	ПЦСВ	Цге	ПАСВ	ПЦЮ	М	Ц	ПЦСВ	ПАС	ПАСЗ	ПЦВ	М	ПАЮЗ
21	ПЦСВ	ПЦС	ПАЮ	А	М	ПЦЮВ	ПЦВ	А	ПЦВ	ПАЮЗ	Цге	ПЦС
22	ПЦСВ	ПЦВ	ПАЮ	А	М	А	Ц	ПАЮЗ	ПЦВ	ПАЮВ	ПЦЮВ	Ц
23	Цге	ПЦС	М	М	Ц	М	М	М	ПЦВ	ПАЮВ	ПЦСВ	ПЦСВ
24	М	М	М	М	ПЦЮЗ	М	ПЦСВ	М	ПЦЮВ	ПАЮЗ	ПЦВ	Цге
25	ПЦС	ПЦВ	ПАЗ	ПАЗ	ПЦЮ	ПАВ	Цге	ПАСЗ	М	ПАЮ	М	М
26	Цге	ПЦВ	ПАЮ	ПАЗ	ПАС	М	Ц	ПАСЗ	ПАСЗ	ПЦСВ	ПЦСВ	ПЦЮВ
27	Ц	Ц	М	ПАЗ	ПЦСВ	М	М	ПЦСВ	ПЦВ	Ц	ПЦВ	Ц
28	М	Ц	ПАЮЗ	ПЦВ	ПЦВ	М	М	М	ПЦВ	Ц	ПЦВ	М
29	М		ПЦСВ	ПЦВ	ПАС	ПАВ	ПАСЗ	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПЦЮЗ	ПЦВ	Ц
30	ПЦЮЗ		ПЦСВ	ПЦВ	ПАС	ПАВ	А	ПЦСВ	ПЦЮ	ПАСВ	Ц	ПЦЮЗ
31	А		ПЦСВ		А		М	ПЦС		А		Ц

Таблица А.5 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих
погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2010 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПАЮВ	Ц	ПЦСВ	ПЦЮВ	Ц	М	ПЦСВ	М	М	А	ПЦВ	М
2	ПАЮВ	Ц	Ц	ПАЮЗ	ПЦВ	ПЦСЗ	М	М	ПЦСЗ	А	ПЦЮВ	А
3	М	М	Ц	М	М	М	М	М	Ц	А	ПЦСВ	ПАЮЗ
4	ПЦВ	ПАЮ	Ц	М	ПЦСЗ	М	А	ПАЮ	ПЦЮ	ПАЮЗ	ПЦВ	ПАЮЗ
5	Ц	ПАЮЗ	ПЦЮВ	ПАЮЗ	ПЦЮ	ПЦЮ	М	М	М	ПАЮЗ	ПЦВ	ПЦВ
6	Ц	ПАЮЗ	М	Цгс	М	ПЦЮ	М	А	А	ПАЮЗ	М	ПЦВ
7	ПЦСЗ	ПАЮЗ	М	М	М	М	ПЦЗ	А	А	ПАЗ	Ц	ПЦВ
8	Ц	ПЦВ	М	М	Цгс	М	М	ПАЮ	А	ПАЗ	ПЦВ	ПЦВ
9	М	ПЦС	ПЦЮВ	ПАЮЗ	Цгс	М	М	Цгс	А	ПАЗ	ПЦСВ	ПАЮЗ
10	А	ПЦС	ПЦЮВ	Ц	М	М	ПАСЗ	М	А	ПЦЮВ	ПЦЮВ	Ц
11	А	ПАЮЗ	ПЦЮВ	ПАВ	А	М	А	ПАСЗ	ПАЮЗ	ПЦЮ	Ц	ПЦЮ
12	А	ПАЮЗ	ПЦЮ	ПАВ	Ц	Цгс	А	А	ПАЮЗ	ПЦЮ	ПЦВ	ПЦС
13	А	ПАЮЗ	Ц	М	ПАЮВ	ПЦВ	ПАЮ	ПАЮ	ПАЮЗ	ПЦЮ	ПЦСВ	А
14	А	М	Ц	М	ПАЮВ	ПЦЮ	ПАЮ	ПАЮ	ПЦВ	ПЦЮВ	Ц	ПЦЮЗ
15	А	М	Ц	М	ПЦС	М	М	ПАЮЗ	ПЦСВ	Ц	ПЦСВ	ПАСВ
16	ПАЮЗ	М	Ц	ПЦЮВ	ПЦС	Ц	ПЦСВ	ПАСВ	ПЦСВ	ПЦЮ	ПЦЮ	М
17	ПАЮЗ	М	Ц	ПЦВ	М	ПАСВ	А	ПЦЮВ	ПЦСВ	ПЦВ	А	ПЦСВ
18	ПАЮЗ	А	ПЦСВ	ПЦВ	Цгс	ПАСЗ	ПАЮВ	ПЦСВ	ПЦСВ	ПЦВ	ПАЮ	ПАЮВ
19	ПАЮЗ	ПАЮ	Ц	ПЦЮВ	ПЦСЗ	ПЦСВ	М	Ц	ПЦСВ	ПЦВ	А	ПЦСЗ
20	ПАЮЗ	ПАЮВ	Цгс	М	М	Ц	М	ПЦЮЗ	ПЦВ	ПАЮЗ	ПЦСЗ	ПЦС
21	ПАЮЗ	ПЦСЗ	ПЦЮВ	М	М	М	А	ПАЮЗ	ПЦВ	Ц	ПЦСЗ	Ц
22	ПАЮЗ	М	Ц	Ц	М	М	А	Цгс	Ц	Ц	М	Ц
23	А	ПЦС	ПЦЮВ	Ц	М	М	ПЦЮВ	Ц	ПАСЗ	ПЦВ	М	М
24	А	Ц	М	ПЦЮВ	Ц	М	ПЦСЗ	М	ПАЗ	ПЦВ	ПЦСЗ	А
25	А	А	А	ПЦЮВ	Ц	М	ПЦСЗ	ПЦСВ	ПАЗ	ПЦВ	ПЦЗ	ПЦСЗ
26	М	ПАЮЗ	ПАЗ	ПАЗ	Ц	ПЦВ	ПЦС	Ц	М	ПЦЮВ	ПЦЗ	ПЦСЗ
27	М	ПЦСВ	М	ПАЗ	ПЦЮ	М	ПЦСВ	ПЦЮ	ПАСВ	ПАС	ПЦЗ	ПЦЮЗ
28	ПЦВ	Цгс	Цгс	ПЦЮВ	ПЦЮ	М	М	ПЦСЗ	ПЦСЗ	ПЦСВ	ПАВ	М
29	ПЦС		Ц	ПАСВ	М	М	Цгс	ПЦЗ	ПАСВ	ПЦВ	ПАВ	ПАЮ
30	ПЦС		Ц	ПЦВ	Ц	А	Цгс	М	ПАСВ	ПАСЗ	ПЦСВ	ПЦСЗ
31	ПЦС		ПАЮЗ		М		ПЦВ	М		ПЦСВ		ПЦЮВ

Таблица А.6 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2011 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПЦВ	ПЦЮВ	М	ПАЗ	ПАВ	ПАЮЗ	А	ПЦЮЗ	Ц	ПЦЮЗ	ПАСЗ	ПЦВ
2	ПЦСЗ	ПЦВ	ПАСЗ	ПАЮЗ	ПЦЮ	М	ПЦС	ПЦВ	Ц	М	ПАСЗ	ПЦВ
3	ПЦЮ	ПЦЮВ	ПЦВ	ПЦВ	М	ПАС	ПЦС	М	ПЦЮ	Цге	ПАСЗ	ПЦВ
4	А	Ц	ПЦВ	ПАЮЗ	М	ПАС	М	А	М	М	ПАСЗ	ПЦВ
5	ПЦСВ	Ц	Цге	ПЦВ	ПЦЗ	М	М	М	А	ПЦСВ	ПАЮ	ПЦВ
6	ПЦСВ	ПЦЮЗ	ПЦЮЗ	ПЦСВ	М	А	М	М	А	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПЦВ
7	ПЦСВ	М	ПАС	ПЦВ	М	ПАЮ	М	ПЦСВ	ПЦВ	Цге	ПЦЮВ	ПЦВ
8	ПЦВ	ПЦСВ	ПАСЗ	Ц	А	ПАЮ	М	Цге	ПЦВ	ПЦЮВ	ПЦЮВ	ПЦВ
9	ПЦСВ	Ц	ПАЗ	ПЦЮЗ	А	ПЦС	М	ПЦВ	ПЦС	Ц	ПАС	ПЦВ
10	ПЦСВ	ПЦЮЗ	Цге	ПЦЮЗ	М	ПЦЗ	М	ПЦВ	ПЦЮЗ	ПЦВ	А	ПЦВ
11	ПЦВ	ПЦС	Цге	М	М	ПЦЗ	М	ПЦВ	ПЦЮЗ	ПЦВ	ПАС	ПЦВ
12	ПАЮЗ	ПЦСЗ	ПЦВ	М	М	ПЦВ	Ц	М	ПАЗ	ПЦЮВ	А	ПЦВ
13	Ц	ПЦЮЗ	ПЦВ	М	ПАЮВ	М	ПЦЮВ	М	ПЦСВ	М	М	ПЦСВ
14	Ц	ПАВ	ПАЗ	ПАС	ПАЮВ	М	М	ПАЮВ	ПЦВ	ПЦЮЗ	ПЦЮВ	ПЦВ
15	ПЦЮ	А	Ц	ПЦВ	ПАЮ	М	А	ПАЮВ	ПЦВ	ПАС	ПЦЮВ	ПЦВ
16	А	ПАЮВ	А	ПЦВ	ПАЮ	Ц	ПЦСВ	ПАЮ	ПЦЮВ	ПАСЗ	ПЦЮ	ПЦВ
17	ПЦВ	ПАЮВ	А	ПЦЮВ	ПЦВ	М	ПЦЮВ	Цге	ПЦЮ	ПАСЗ	Цге	ПЦС
18	ПЦВ	А	ПАЮ	ПЦЮ	ПЦВ	Ц	А	М	ПАС	ПЦСВ	ПАСЗ	Цге
19	Ц	А	ПАЮ	А	ПАЗ	ПЦС	А	ПЦЮ	А	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПЦСВ
20	Ц	А	М	ПЦС	ПЦЮВ	Ц	А	ПЦС	Цге	ПЦЮВ	ПАСЗ	ПЦВ
21	ПЦСЗ	А	ПЦВ	ПАСЗ	М	ПЦВ	Цге	ПЦЗ	Ц	ПЦЮВ	ПАЗ	ПЦЮЗ
22	ПЦЮВ	ПАЮЗ	ПЦВ	М	А	ПЦВ	Цге	М	Цге	ПАСЗ	ПЦЮ	М
23	М	ПАЮЗ	ПЦЮВ	А	А	М	Цге	М	ПЦВ	ПАСЗ	А	ПАСЗ
24	М	ПАЮЗ	ПЦЮВ	А	ПЦСВ	ПЦВ	ПЦСВ	М	ПЦЮВ	ПАСЗ	ПЦВ	ПЦЮВ
25	Цге	ПАЮЗ	ПЦЮ	М	ПЦВ	М	А	А	ПЦЮ	ПАЗ	ПЦВ	ПЦВ
26	Ц	ПАЮЗ	ПЦЮ	М	ПЦЮВ	ПЦЗ	А	ПАЗ	ПАСЗ	ПАЗ	Цге	ПЦВ
27	М	ПАЮЗ	ПЦЮВ	М	М	ПЦЗ	М	ПАЗ	ПАСЗ	А	ПЦЮВ	ПЦВ
28	Цге	ПАЮЗ	ПЦЮВ	ПАСВ	ПЦСВ	ПЦЗ	М	ПАЗ	ПЦЮВ	ПАЗ	Ц	ПЦЮВ
29	ПЦЮВ		Ц	ПАСВ	М	А	Ц	ПЦВ	ПАСЗ	ПЦВ	ПАСЗ	ПЦСВ
30	ПЦЮВ		Ц	ПАВ	ПЦСВ	А	Ц	ПАВ	ПЦС	ПЦВ	ПЦВ	Ц
31	ПАС		М		ПАЗ		ПЦЗ	ПЦСВ		ПЦЮВ		Ц

Таблица А.7 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2012 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	М	ПАЮВ	М	ПЦЗ	ПЦС	М	ПЦВ	М	ПАЮВ	ПАСЗ	ПАЮЗ	ПЦЗ
2	ПЦСВ	ПАЮВ	Цге	ПЦС	ПЦЮВ	ПЦС	ПЦВ	ПАЗ	ПЦВ	ПЦВ	ПАЮЗ	Ц
3	ПЦСВ	ПАЮВ	ПАСВ	Ц	ПЦЮВ	ПЦСВ	А	А	ПЦВ	ПЦВ	ПЦСВ	ПАЗ
4	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПАВ	ПЦЮВ	М	М	А	Цге	Ц	ПЦСВ	ПЦСВ	ПАСЗ
5	ПЦСВ	М	ПАВ	ПЦЮВ	ПЦС	М	ПАЮВ	ПЦЮВ	ПЦВ	ПЦСВ	ПАЮЗ	Ц
6	Ц	ПАЮЗ	ПАВ	ПЦЮВ	ПЦВ	М	ПАЮ	ПАЗ	ПЦЮВ	ПЦВ	Ц	ПЦС
7	Ц	ПАЮЗ	А	М	Ц	М	ПАЮ	Цге	ПАСЗ	ПЦВ	ПЦЮВ	ПЦЮВ
8	М	М	М	ПЦЗ	ПАС	М	ПАЮ	Ц	ПЦЮВ	ПЦВ	ПЦЮВ	Цге
9	М	ПАЮВ	ПЦВ	ПАС	А	М	Ц	ПЦЮ	ПЦЮ	ПЦС	ПЦЮВ	ПЦСВ
10	М	А	ПЦВ	ПАСЗ	ПАЗ	М	ПЦСВ	М	ПАСЗ	Ц	ПАСЗ	М
11	ПЦВ	А	Ц	ПАЮ	ПЦВ	М	ПЦСВ	М	ПЦВ	ПЦЮ	ПАЮЗ	ПЦСЗ
12	ПЦВ	ПЦВ	ПЦВ	ПАЮЗ	ПЦВ	Ц	А	М	ПЦВ	ПЦЮВ	Цге	Цге
13	Ц	ПЦВ	ПЦЮ	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПЦЮ	ПЦСВ	А	ПЦВ	ПЦЮ	ПЦЮВ	ПАЮ
14	Ц	ПЦВ	ПЦЮЗ	Цге	ПАС	М	ПАЗ	ПАВ	М	ПЦС	ПАСЗ	ПАЮ
15	ПЦЗ	ПЦСВ	ПАС	Ц	ПАЮЗ	М	ПЦСВ	ПАВ	ПЦВ	ПЦС	Цге	ПАЮ
16	ПЦЗ	М	ПЦВ	М	ПАЮЗ	ПЦЮЗ	ПЦВ	ПАВ	ПЦВ	Цге	ПЦЮ	ПАЮЗ
17	М	ПЦВ	ПЦЮВ	Цге	Цге	М	ПЦЮВ	М	ПАСЗ	ПЦСВ	ПАЗ	ПАЮЗ
18	М	ПЦВ	ПЦЮВ	ПЦВ	Цге	Ц	ПЦЮВ	ПЦЮЗ	ПЦВ	ПЦЮВ	ПАЗ	ПАЮЗ
19	ПЦВ	ПЦВ	ПЦВ	А	А	ПАСЗ	ПЦЮ	ПАСЗ	ПЦВ	ПЦВ	ПЦВ	ПАЮЗ
20	ПЦСВ	ПЦВ	Ц	ПАЮВ	ПАЮЗ	ПЦЮ	ПЦЮ	Ц	ПЦВ	ПЦЮВ	ПАЮЗ	ПАЮЗ
21	ПЦС	ПЦВ	М	ПЦС	ПАЮЗ	ПАСВ	ПЦЮВ	А	ПАСЗ	ПЦСВ	Цге	ПАЮ
22	ПЦС	ПЦЮВ	ПАС	М	М	ПАСВ	ПЦЮВ	ПАЗ	М	ПАСВ	ПАЮЗ	ПАЮ
23	ПЦС	ПЦВ	Ц	ПЦС	ПАВ	ПАВ	ПЦСВ	Ц	Ц	А	ПАЮЗ	А
24	ПАЮ	ПЦЮЗ	ПЦВ	Ц	А	Ц	Цге	ПЦЮЗ	Ц	ПЦВ	ПАЮЗ	ПАЮЗ
25	ПАЮ	М	Ц	М	А	ПАВ	ПАЗ	М	ПЦЮ	ПЦЮВ	ПАЮЗ	ПЦСВ
26	ПАЮ	А	ПАС	ПАЮ	ПАС	ПЦСВ	ПАЗ	М	М	Ц	М	Ц
27	ПАЮЗ	ПАСЗ	ПЦВ	ПЦСВ	ПЦСВ	Ц	ПАСВ	ПЦСВ	ПЦСВ	ПЦЮ	М	ПЦСВ
28	ПАЮЗ	ПАСЗ	ПЦЮВ	ПЦВ	М	ПЦЮВ	А	ПЦЗ	ПЦВ	ПАЮЗ	ПЦС	ПЦВ
29	ПАЮ	ПЦЮВ	Ц	ПЦЮВ	ПЦЮВ	М	ПАЮЗ	ПЦЗ	ПЦЮВ	ПАС	ПЦС	ПЦЮ
30	А		ПЦЮЗ	А	Ц	А	Цге	М	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПЦСЗ	ПАСЗ
31	А		М		ПЦЮ		Цге	ПАЮВ		М		ПЦВ

Таблица А.8 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2013 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	ПЦВ	Ц	ПАЮЗ	ПЦЮВ	ПАЮВ	М	М	М	ПАВ	ПЦСВ	ПЦСВ
2	-	ПЦВ	ПАС	ПЦЗ	ПАСВ	ПАЮВ	ПЦВ	Цгс	ПЦВ	ПАСВ	Цгс	ПЦЮЗ
3	-	М	ПЦС	ПЦЮ	ПЦЮВ	М	М	ПЦЮЗ	ПЦСВ	ПАС	М	Цгс
4	-	М	ПЦЮЗ	А	ПАЮЗ	А	А	М	М	ПАСЗ	ПЦСВ	Цгс
5	-	ПЦСВ	ПЦВ	М	М	М	М	М	А	ПАСЗ	ПЦВ	Ц
6	ПАВ	ПЦСВ	ПЦВ	ПЦЮЗ	ПЦЮ	ПАЮВ	ПЦВ	ПАС	ПАЮ	ПЦВ	ПЦВ	Цгс
7	А	ПЦС	ПЦЮ	М	ПАЗ	М	ПАС	А	А	ПЦВ	М	Цгс
8	ПАС	ПЦСЗ	ПЦЮВ	Ц	ПЦЮВ	М	ПАСВ	А	А	ПАЗ	ПЦСВ	ПЦЮЗ
9	ПЦЮВ	ПЦСЗ	ПЦЮ	ПАЮ	А	М	ПАСВ	ПЦСВ	А	Цгс	ПЦСВ	ПАВ
10	Ц	Цгс	ПАСВ	ПАЮЗ	Цгс	М	М	ПЦЮ	ПАЮ	ПЦВ	ПЦСВ	А
11	ПЦСЗ	Ц	ПЦЮВ	ПАЮЗ	М	Ц	М	Ц	ПАЮ	М	ПЦЮВ	ПЦВ
12	М	ПАЮ	М	ПАЮ	М	ПЦЮ	ПАСВ	Ц	ПАЮЗ	ПАСВ	ПАСЗ	ПЦЮВ
13	ПАС	ПАЮВ	ПЦЮ	ПЦС	М	М	М	ПЦСВ	М	ПЦЮВ	ПЦВ	ПЦЮВ
14	ПАСЗ	ПАЮ	М	ПЦВ	ПАС	ПЦСВ	М	Ц	ПАЮ	А	ПЦЮВ	ПЦЮЗ
15	ПАЗ	ПАЮ	М	ПАЗ	ПАС	ПЦВ	ПЦСВ	Ц	ПАЮ	ПЦЮВ	ПАСЗ	ПАЗ
16	ПАС	М	ПЦЗ	ПАЗ	А	ПАСЗ	ПЦВ	ПЦЮВ	ПАЮ	ПЦЮ	ПЦЮВ	ПЦЗ
17	ПАЮВ	М	ПЦЮЗ	ПАЗ	ПАЮВ	ПЦВ	ПЦЮ	ПАСЗ	ПАЮ	А	ПЦЮВ	ПЦЗ
18	ПАЗ	ПЦЮВ	ПАЮВ	ПЦВ	ПАЮ	ПЦВ	ПЦЮ	ПАЗ	ПЦСВ	ПЦС	ПАСЗ	ПАЗ
19	ПАС	М	ПАЮВ	ПЦВ	ПАЮ	М	ПЦВ	ПАЮЗ	ПЦСВ	ПЦЮ	ПАЗ	ПАЗ
20	ПЦЮ	ПАВ	ПАВ	ПЦЮВ	М	М	Ц	ПАЗ	ПЦС	ПЦЮВ	ПАЮЗ	ПЦВ
21	ПАСВ	ПАСВ	ПАЮВ	ПАС	ПАЮВ	М	ПЦЮЗ	М	ПАЮВ	ПЦЮ	Цгс	ПЦВ
22	ПАСВ	ПАЗ	ПАВ	А	ПАЮВ	ПАЮ	ПЦЮЗ	ПАЗ	ПЦСВ	А	Цгс	ПЦСВ
23	ПЦЮВ	А	ПАСВ	ПЦСВ	ПЦС	М	ПЦЗ	ПАСВ	Ц	ПАЗ	ПЦВ	ПЦВ
24	ПЦЮЗ	ПАЮЗ	ПЦЗ	ПЦВ	ПЦСЗ	А	ПЦЗ	ПАСВ	ПЦЗ	ПЦВ	ПЦЮВ	ПЦЮВ
25	ПАС	М	ПЦЮВ	ПЦВ	ПЦСЗ	М	ПЦЮЗ	А	ПЦЮЗ	ПЦВ	ПЦЮВ	Цгс
26	ПАЗ	ПАЗ	ПАСВ	ПАСЗ	Ц	М	ПЦЮЗ	А	ПЦЮ	ПАЗ	ПАСВ	ПЦСВ
27	ПАЗ	ПЦЮ	ПАСВ	М	ПАЮВ	ПЦСВ	ПЦЮЗ	А	Ц	ПЦСВ	ПЦВ	ПЦВ
28	ПАЮЗ	ПЦЮВ	ПАСЗ	ПАС	ПАЮВ	ПЦСВ	М	ПАЮЗ	ПЦЮЗ	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПЦСВ
29	ПЦВ		ПАЗ	ПАСЗ	ПАЮВ	ПЦВ	А	ПЦВ	ПЦЮЗ	Цгс	ПЦЮ	ПЦВ
30	ПЦВ		ПАЮЗ	ПЦВ	М	М	А	А	ПЦЮЗ	ПЦВ	М	ПЦВ
31	ПЦВ		Ц		ПАЮВ		ПАЮ	А		ПЦЮВ		ПАСЗ

Таблица А.9 – Данные посуточных синоптических положений, определяющих погодные условия над районом г. Санкт-Петербург за 2014 г

День	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	ПАЮЗ	ПАЮЗ	ПЦЮ	М	М	Ц	ПЦВ	А	А	ПАС	А
2	-	ПАЮЗ	ПАЮЗ	ПАС	ПЦЮЗ	ПЦСЗ	Ц	А	А	А	А	ПАЗ
3	-	ПЦВ	ПАЮЗ	ПЦЮВ	ПАСВ	ПЦСЗ	ПЦВ	А	ПАС	ПАЗ	ПЦВ	ПЦВ
4	-	ПАЮЗ	ПАЮЗ	ПАСВ	Ц	ПАЮ	ПЦВ	А	ПАС	А	ПЦВ	ПЦВ
5	ПЦВ	ПАЗ	А	ПАС	ПЦЗ	ПАЮЗ	М	ПАЮ	ПАЮЗ	ПАЮВ	Цгс	ПАЗ
6	ПЦСВ	ПЦСВ	А	ПАЗ	ПЦЮЗ	М	М	А	ПАЗ	ПАЮВ	ПАВ	ПЦВ
7	ПЦСВ	ПЦСВ	ПЦВ	М	ПЦЮ	М	ПАЮВ	ПАЮ	ПАЗ	ПАЮ	ПЦС	ПЦСВ
8	ПЦСВ	ПЦСВ	ПЦВ	Ц	ПЦС	ПЦВ	А	М	А	ПАЮЗ	Ц	ПЦВ
9	ПЦСВ	ПЦСВ	ПЦВ	ПАЮВ	ПЦС	ПЦЮ	ПАВ	М	ПАЮ	ПЦСВ	ПАЗ	ПЦЮВ
10	ПЦС	ПЦСВ	ПЦВ	ПАЮВ	ПЦСВ	ПЦЮЗ	ПАЮВ	М	ПАЮЗ	Цгс	А	ПЦСВ
11	ПЦЮЗ	ПЦСВ	ПЦЮВ	ПАЮЗ	Ц	ПЦЮЗ	А	М	ПАЮЗ	ПЦСВ	Цгс	ПЦСВ
12	ПАВ	ПЦСВ	ПАС	ПЦВ	ПЦСВ	М	ПАЮВ	ПЦВ	ПАЮЗ	Ц	М	ПЦВ
13	ПЦЮЗ	ПЦСВ	ПАСЗ	ПЦВ	Ц	Ц	ПАЮЗ	ПЦВ	ПАСВ	ПЦЮЗ	М	ПЦСВ
14	ПЦЮЗ	ПЦСВ	Цгс	ПЦВ	Ц	М	Цгс	ПАЗ	М	М	ПАЮВ	ПЦЮВ
15	М	М	ПЦВ	ПЦЮВ	ПАСВ	ПЦЮЗ	ПЦСВ	Ц	А	ПЦЗ	ПАЮВ	ПЦСВ
16	ПАЮВ	ПЦСВ	ПЦЮ	ПАС	А	ПЦЮ	ПЦВ	ПЦЮ	А	ПАЮВ	ПАЮ	Цгс
17	ПАЮВ	ПЦВ	ПЦЮ	ПАСЗ	М	Ц	М	М	А	ПАЮВ	ПАЮЗ	ПЦВ
18	ПАЮВ	Ц	Ц	ПАЮЗ	ПАЮ	Ц	ПЦСВ	ПЦСВ	А	А	ПАЮЗ	ПЦЮВ
19	А	ПЦЮВ	Ц	ПАЮЗ	ПАЮЗ	ПЦЮ	ПАВ	Цгс	ПАЮЗ	ПАСЗ	ПАЮЗ	ПЦСВ
20	А	М	М	А	Цгс	ПЦЮ	ПАВ	ПЦВ	ПАЮЗ	Ц	А	ПЦВ
21	А	ПЦСВ	ПЦСВ	ПАЮ	Ц	ПЦЮ	ПАВ	ПЦВ	ПАЮЗ	ПЦЮЗ	А	ПЦЮВ
22	А	ПЦСВ	ПЦВ	М	ПЦСВ	ПЦЮ	ПАСВ	Ц	ПЦСВ	ПАЮВ	М	ПЦЮ
23	М	ПЦВ	ПАЮЗ	ПАСВ	ПАЗ	ПЦЮ	ПАСВ	ПАЗ	Ц	ПАЮВ	А	Ц
24	А	ПЦВ	М	А	ПАЗ	ПЦЮ	ПАСВ	ПЦСВ	Ц	А	ПАЮ	ПЦЮЗ
25	ПАСЗ	ПАЮЗ	М	ПАС	ПАЗ	ПЦЮ	ПАСВ	ПЦС	ПЦЮВ	ПАЗ	ПАЮЗ	ПЦЗ
26	А	ПАЮЗ	ПАВ	А	Цгс	ПЦЮЗ	А	Ц	ПЦВ	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПЦЮВ
27	М	ПАЮЗ	А	М	ПАВ	М	А	Ц	ПЦВ	ПЦСВ	ПАЮЗ	ПЦЮВ
28	ПАЮ	ПАЮЗ	ПАВ	М	ПАВ	М	ПАЮЗ	Ц	ПЦЮВ	ПЦВ	ПАЮЗ	М
29	ПАЮ		А	ПЦВ	ПЦЗ	М	ПЦВ	ПЦЮЗ	Цгс	ПЦВ	ПАЮЗ	М
30	ПАЮЗ		ПЦЮ	ПЦЮ	Ц	ПЦС	М	ПЦЮ	ПЦЮВ	ПЦЮВ	А	ПАС
31	ПАЮЗ		ПЦЮЗ		М		ПЦСВ	А		ПЦЮ		ПЦЮВ

Приложение Б - Характеристика групп синоптических процессов района г. Санкт-Петербург
за период с 2006 по 2014 гг

Таблица Б.1 – Характеристика групп синоптических процессов района г. Санкт-Петербург осенне-зимнего периода с 2006 по 2014 гг

Характеристика процесса	Группа синоптического процесса осенне-зимнего периода				
	Атлантический циклон	Южный циклон	«Ныряющий» циклон	Арктический антициклон	отрог Сибирского антициклона
Повторяемость, %	48	9	8	21	15
Количество баллов облачности	7 - 10	7 - 10	чередование: 10 – ясно	7 - 10	начальная стадия – 7 - 10; после установления – малооблачно
Форма облачности	слоистая	слоисто-кучевая, слоистая	слоисто-дождевая	слоисто-кучевая	начальная стадия – слоистая
ВНГО, м	200 – 300	300 – 500	ясно	300 – 500	начальная стадия 150 – 200
ВНГО в явлении, м		100 – 200	200 – 300	50 – 100	
Явления	морозящие осадки, густые дымки, адвективные туманы	морозящие осадки, густые дымки, туманы, снегопады, инверсии	«заряды» осадков	«заряды» осадков	ночью – утром: густые дымки, туманы,
Видимость, км	6 - 10		6 - 10	6 - 10	6 - 10
Видимость в явлении, км	при морозящих осадках – 1 - 2; в тумане – менее 1	2 - 6; в тумане – менее 1	1 - 2	1 - 2	в тумане – менее 1
Температура, °С	около 0.0	0.0 – +2.0	-2.0	-4.5	начальная стадия – -5 – -8 после установления – -20 – -23
Скорость ветра, м/с	2 - 4		15 - 20	1 - 3	

Таблица Б.2 – Характеристика групп синоптических процессов района г. Санкт-Петербург весенне-летнего периода с 2006 по 2014 гг

Характеристика процесса	Группа синоптического процесса весенне-летнего периода			
	Атлантический циклон	Южный циклон	Арктический антициклон	отрог Азорского антициклона
Повторяемость, %	43	18	14	25
Количество баллов облачности	после прохождения тёплого фронта: 5 – 8 при прохождении холодного фронта: 7 – 10	6 – 9	6 – 9; в центре – малооблачно	малооблачно
Форма облачности	мощно-кучевая, кучево-дождевая	мощно-кучевая, кучево-дождевая	мощно-кучевая	
ВНГО, м	после прохождения тёплого фронта: 400 – 600	400 – 600	300 – 500	
ВНГО в явлении, м	при прохождении холодного фронта: 200 – 300	200 – 300		
Явления	гроза, дождь	гроза, дождь	ночью – утром: радиационные туманы, дымки	ночью – утром: радиационные туманы
Видимость, км	более 10	6 – 10	6 – 10	6 – 10
Видимость в явлении, км	1 – 2	2 – 4	в тумане – менее 1	в тумане – менее 1
Температура, °С	12.5	12.0 – 14.0	менее 10.0	12.5
Скорость ветра, м/с	2 – 4	2 – 4		1 – 2