

На правах рукописи



Лазарева Елена Олеговна

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

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» (РГГМУ)

Научный руководитель доктор географических наук, доцент

Попова Елена Сергеевна

Научный консультант кандидат географических наук

Липовицкая Ирина Николаевна

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды Куролап Семён Александрович, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет».

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры маркетинга и социальных коммуникаций Акселевич Виталий Иосифович, НОУ ВО «Санкт-Петербургский университет управления и экономики».

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Южный Федеральный университет» Институт наук о Земле Министерства образования Российской Федерации.

Защита состоится «31» мая 2016 г. на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195027, г. Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д. 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан «29» апреля 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор географических наук, доцент



Е.С. Попова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В современном мире геоэкологические проблемы приобретают первостепенное значение, и наиболее явно они выражены в крупных мегаполисах. Функционирование мегаполисов из-за чрезмерной концентрации на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий приводит к изменению воздушной среды. 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 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 %.

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, погодный режим Санкт-Петербурга последнего десятилетия отличается своей неустойчивостью, что неоднократно упоминалось в научной литературе, поэтому актуальность темы обусловлена необходимостью разработки комплекса уточнений прогноза загрязнения атмосферного воздуха для Санкт-Петербурга, в целях повышения его оправдываемости.

Степень разработанности проблемы

К настоящему времени, в результате исследований, выполненных в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Главная геофизическая обсерватория имени Воейкова А.И.» (ФГБУ «ГГО») разработаны эффективные

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; разработка комплекса уточнений прогноза загрязнения.

Для достижения цели поставлены следующие *задачи*:

- определить перечень параметров, влияющих на прогноз 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 уточнения к методу прогноза загрязнения атмосферного воздуха;
- разработать схемы для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха по методу «дерево принятия решения».

Объект исследования

Объектом исследования является воздушный бассейн Санкт-Петербурга.

Предмет исследования

Предметом исследования является прогностическая 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. Качество атмосферного воздуха оценивается путём сравнения полученных значений концентраций примесей с принятыми Минздравом стандартами – предельно допустимыми концентрациями (ПДК); описание загрязнения воздуха в целом по городу выполнено при помощи комплексного параметра P (отношение количества существенно повышенных концентраций (относительно среднего значения) к общему числу измерений в течение дня.).

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» (ФГБУ «Северо-Западное УГМС»), 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 для Санкт-Петербурга за период с 2006 по 2014 гг.

Научные результаты, выносимые на защиту:

- Закономерности временной изменчивости состояния загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.
- Оценка повторяемости характерных групп синоптических процессов г. Санкт-Петербург последнего десятилетия.
- Уточнения метода прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.
- Схемы для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург по методу «дерево принятия решения».

Научная новизна исследования:

- Впервые получены общие по городу статистические характеристики временного хода загрязнения атмосферного воздуха при различных погодных условиях для оценки ожидаемого состояния загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург по материалам девяти лет.
- Впервые выполнено уточнение повторяемости 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 методу прогноза загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург.
- Впервые построены схемы по методу «дерево принятия решения» для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы состоит в разработке оригинального комплекса уточнений прогноза загрязнения атмосферного воздуха, что на практике позволяет на основе метеорологической информации повысить оправдываемость прогноза для Санкт-Петербурга. С практической точки зрения

результаты работы могут быть полезны следующим организациям: ФГБУ «Северо-Западное УГМС»; ФГБУ «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».

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 заключается в формировании баз данных для реализации цели работы, выполнении расчётной части, а также оценке полученных результатов, выявлении закономерностей и разработке комплекса уточнений прогноза 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 имени 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.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и 2 приложений. Общий объем работы составляет 144 страницы машинописного текста. Основной текст изложен на 115 страницах и включает 30 рисунков и 21 таблицу. Список использованных источников включает 115 наименований, в том числе 20 иностранных.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы и показана степень изученности проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены научные результаты, выносимые на защиту, научная новизна результатов исследования, обозначены теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрены основные направления исследований данной проблемы с момента её обозначения (середина XX века) до работ настоящего времени, как соотечественников, так и представителей других государств.

Изложены некоторые результаты исследований, выполненных в ФГБУ «ГГО» под руководством М.Е. Берлянда, Л.Р. Сонькина. Приведены основные направления и методы прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха: метод распознавания образов, последовательной графической регрессии, линейного регрессионного анализа. Методы прогнозирования загрязнения воздуха основаны на результатах анализа влияния метеорологических и синоптических условий на концентрации примесей. Поэтому подробное внимание уделяется выбору предикторов и факторам, определяющим формирование уровня загрязнения атмосферы, главными из которых являются направление и скорость переноса примесей, атмосферная устойчивость, термическое состояние воздушной массы, вымывание примесей осадками, аккумуляция примесей в туманах, инерционный фактор.

Озвучено одно из актуальных направлений деятельности – расширение работ в области мониторинга и прогноза загрязнения атмосферы, которое частично подлежит реализации в рамках данного исследования.

Во второй главе рассмотрены географическое положение и особенности климатического режима Санкт-Петербурга. Особое внимание уделяется климатообразующим факторам: солнечная радиация, циркуляция атмосферы, рельеф местности.

Описана использованная база данных погодных условий по срочным данным (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00 18:00 и 21:00 московского времени) метеорологических наблюдений, выполненных на станции (26063), расположенной в Санкт-Петербурге, по адресу: ул. Профессора Попова, д. 48 (период с 2006 по 2014 гг). Данная база включает характеристики, оказывающие воздействие на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха: атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха, значение температуры точки росы, скорость и направление ветра у земли, высота нижней границы облаков, значение дальности видимости, атмосферные осадки и метеорологические явления. Кроме того, перечисленные составляющие определяют климатическую характеристику города последнего десятилетия. Таким образом, выполнен подробный анализ основных метеорологических элементов, в том числе и неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), способствующих накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (температурные и ветровые характеристики, явление погоды – туман).

Ветровой режим города характеризуется средней скоростью 3 м/с, западного, южного и юго-западного направлений совокупная повторяемость которых за год около 50 %, повторяемость штилевых значений ветра в год от общего числа наблюдений – 12 % (период с 1936 по 1976 гг). В период с 2006 по 2014 гг – отмечено: снижение средней скорости ветра до 1 м/с; сокращение повторяемости штилевых значений ветра до 9 %; увеличение повторяемости северо-восточного направления ветра с 12% (1936 – 1976 гг) до 17 %, что способствует накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города.

Термический режим Санкт-Петербурга характеризуется среднегодовым значением температуры воздуха, по данным ФГБУ «Северо-Западное УГМС», равным +5.0 °С (1961–1990 гг). Анализ данных последнего десятилетия (2006 –

2014 гг) позволяет отметить повышение среднегодового значения до $+6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, что также способствует накоплению загрязняющих веществ в городе (см. рисунок 1а). Самым холодным месяцем является февраль, а самым тёплым – июль. Переход температуры через ноль к отрицательным значениям – в ноябре, к положительным – в апреле. В районах городского «острова тепла» (Центральный и Адмиралтейский районы) температура воздуха в среднем на $0.5 - 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше, чем в остальных.

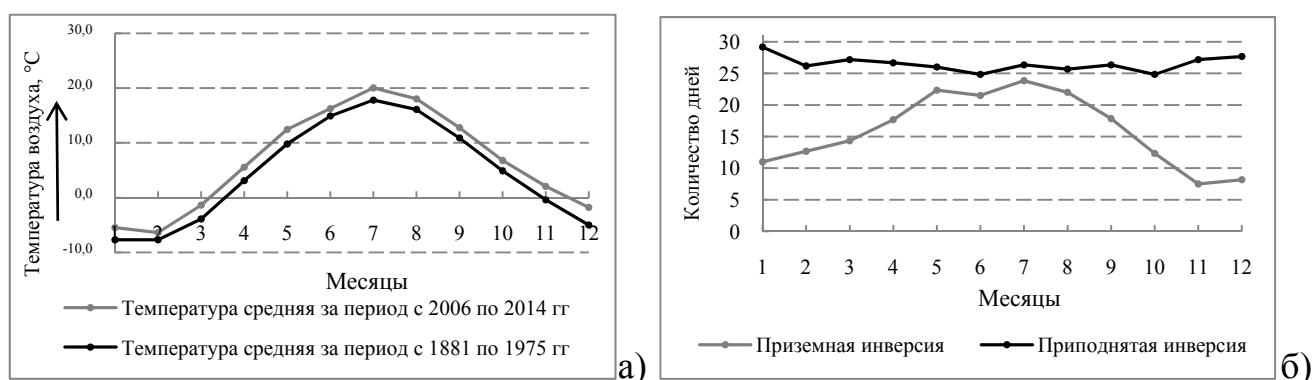


Рисунок 1– Годовой ход для г. Санкт-Петербург: а) температуры воздуха за периоды 2006 – 2014 и 1881 – 1975 гг б) повторяемости инверсии за период 2006 – 2014 гг

Описана, сформированная в процессе исследования база данных вертикального распределения метеорологических характеристик по данным радиозондирования атмосферы (за сроки 00:00 и 12:00 UTC), выполняемого на станции Воейково (2006 – 2014 гг). База включает следующие характеристики: давление, температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра.

Особое внимание уделяется явлению температурной инверсии, как одному из основных метеорологических параметров оказывающих влияние на диффузию примесей (способствует формированию и усилению эффекта высокого уровня загрязнения воздушного бассейна), наблюдается при нехарактерном увеличении температуры воздуха с высотой в условиях устойчивой стратификации нижнего слоя атмосферы.

Выполненный анализ данных радиозондирования за исследуемый период позволил визуализировать годовой ход явления инверсии (см. рисунок 1б). Таким образом, в среднем, инверсии наблюдаются ежемесячно. 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.

Из результатов выполненного анализа следует, что 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. Снижение повторяемости туманов благоприятно влияет на состояние атмосферы, а её очищению способствуют осадки, количество которых за исследуемый период выросло относительно многолетней нормы. В целом, данные характеристики комплексно создают благоприятные условия для повышения уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга, особенно для Центрального и Адмиралтейского его районов.

В третьей главе обсуждается визуальный анализ архивного материала приземных карт погоды над Европой. Исследовался период с 2006 по 2014 гг (3279 карт), ежесуточно, за срок 00:00 всемирного скоординированного времени (UTC). В ходе анализа посуточно охарактеризована синоптическая обстановка в исследуемом районе; указана периферия барической системы, которая определяет погодные условия в районе Санкт-Петербурга, что позволило сформировать базу данных посуточных синоптических положений г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг

Обработка и анализ сформированной базы данных позволили определить общий вклад синоптической ситуации в формирование погодных условий города. Таким образом, на территории города циклоническая деятельность определяет характер погоды в 52 % случаев, антициклоническая – в 32 %, на

малоградиентное барическое поле (М) приходится 16 %. Дальнейший анализ заключался в определении тенденций временного хода повторяемости синоптических ситуаций для Санкт-Петербурга (см. рисунок 2).

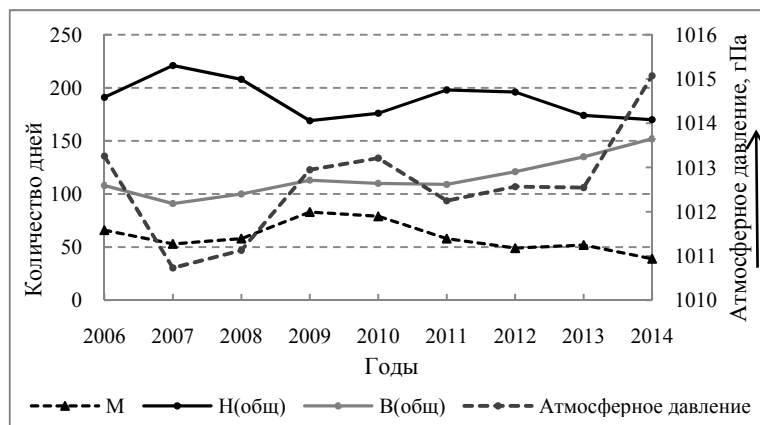


Рисунок 2 – Временной ход повторяемости синоптических ситуаций: циклоническое образование, антициклоническая кривизна изобар, М; среднегодовых значений атмосферного давления для Санкт-Петербурга, за период с 2006 по 2014 гг.

Таким образом, отмечены снижение повторяемости циклонических образований после 2010 г. на фоне роста повторяемости антициклонических образований, что совпадает с увеличением среднегодовых значений атмосферного давления после 2010 г и способствует накоплению загрязняющих веществ в атмосфере города, для случаев М – отмечено снижение повторяемости после 2010 г.

С целью выделения характерных групп синоптических процессов последнего десятилетия, учтено географическое происхождение барических образований; 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: атлантический

циклон, «ныряющий» циклон, южный циклон, арктический антициклон, отрог Сибирского антициклона, отрог Азорского антициклона (см. рисунок 3).

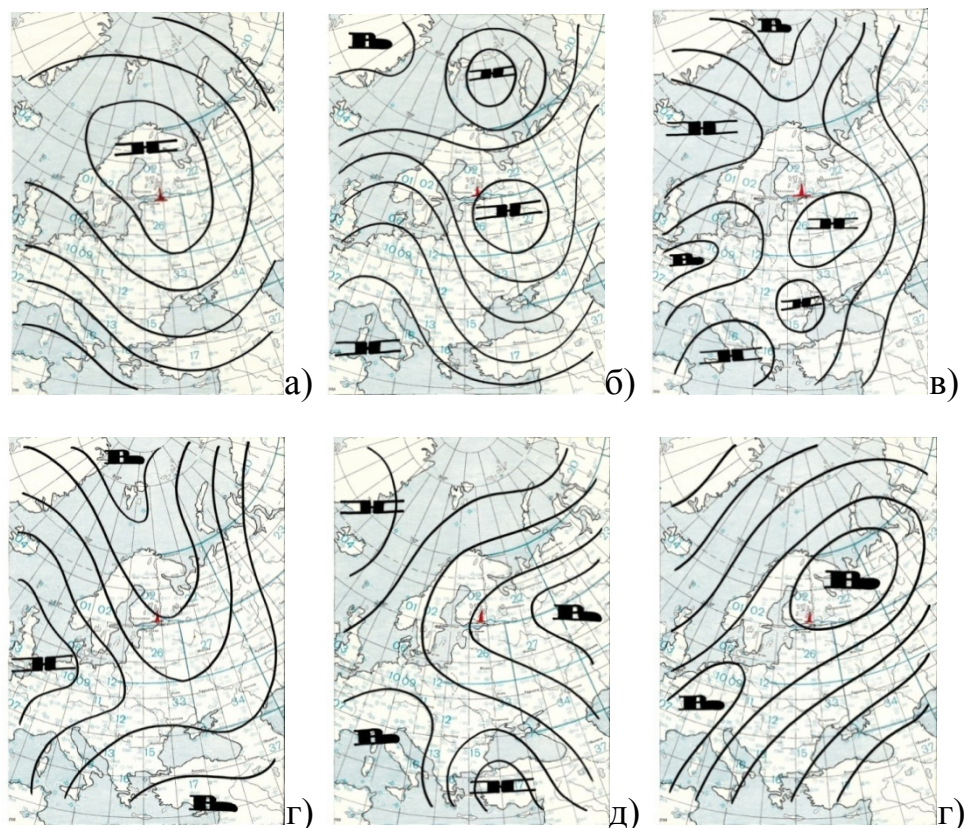


Рисунок 3 – Схемы синоптических процессов: а) атлантический циклон, б) «ныряющий» циклон, в) южный циклон, г) арктический антициклон, д) отрог Сибирского антициклона, е) отрог Азорского антициклона.

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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и радиационного баланса (аналогичным образом). Установлена повторяемость процессов для полугодий (таблица 1); дана характеристика погодных условий.

В работе по сезонам приведены основные погодные характеристики для каждого синоптического процесса. В целом, для Санкт-Петербурга характерен быстрый переход от осенне-зимних процессов к весенне-летним. Траектория циклонов, выходящих на территорию города одинакова для всех сезонов года.

Однако количество и интенсивность циклонов с наступлением весенне-летнего периода уменьшается, а скорости их перемещения возрастают. В то же время возрастает повторяемость антициклонов и присущих им радиационных туманов, слоёв инверсии, что способствует усилению накопления антропогенных примесей в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга.

Таблица 1 – Повторяемость характерных групп синоптических процессов для осенне-зимнего и весенне-летнего периодов года (2006 – 2014 гг)

Тип синоптической ситуации	Повторяемость, %	
	для осенне-зимнего периода	для весенне-летнего периода
атлантический циклон	48	43
«ныряющий» циклон	8	-
южный циклон	9	18
арктический антициклон	21	14
отрог Сибирского антициклона	14	-
отрог Азорского антициклона	-	25

В четвёртой главе описано состояние загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге. Для оценки уровня загрязнения воздуха Санкт-Петербурга в рамках данного исследования были выбраны следующие загрязняющие вещества: оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества. Указанные вещества являются продуктами неполного сгорания топлива в двигателях автотранспортных средств, которые, в свою очередь, вносят наибольший вклад в выбросы загрязняющих веществ города. Кроме того, указанные вещества, по данным всемирной организации здравоохранения, могут приводить к увеличению различных заболеваний человека.

В работе изучены данные дискретных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха ФГБУ «Северо-Западное 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).

Для выявления закономерностей временной изменчивости состояния загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга в работе использованы два независимых подхода:

- изучен архивный материал, опубликованный в бюллетенях и ежегодниках. Для каждой примеси, на каждом посту отобраны среднемесячные ($q_{\text{ср}}$), максимальные концентрации ($q_{\text{м}}$). Полученные данные составили электронный массив, который использовался в исследовании.

- изучены данные наблюдений за состоянием атмосферного воздуха ФГБУ «Северо-Западное УГМС», где определены общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах (n) и количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями (q), которые превышают среднесезонное значение $q_{\text{ср}}$ более чем в 1.5 раза ($q > 1.5q_{\text{ср}}$) (m) по двум примесям (оксид углерода, диоксид азота), за период с 2006 по 2014 гг, за сроки 01:00 и 07:00; 13:00 и 19:00. Приведённые данные позволяют вычислить фактическое значение параметра P (формула 1).

$$P = m/n, \quad (1)$$

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 ($q > 1.5q_{\text{ср}}$)

При использовании параметра P , согласно РД 52.04.306-92, рекомендуется рассматривать три группы загрязнения воздуха: $P > 0.35$ – относительно высокое

(первая группа (I)), $0.20 < P \leq 0.35$ – повышенное (вторая группа (II)), $P \leq 0.20$ – пониженное (третья группа (III)).

Исследование уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга в течение года включает: анализ годового хода загрязняющих веществ (оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества) за период времени с 1980 по 2012 гг. (рисунок 4а); анализ годового хода параметра P за период с 2006 по 2014 гг. (рисунок 4б).

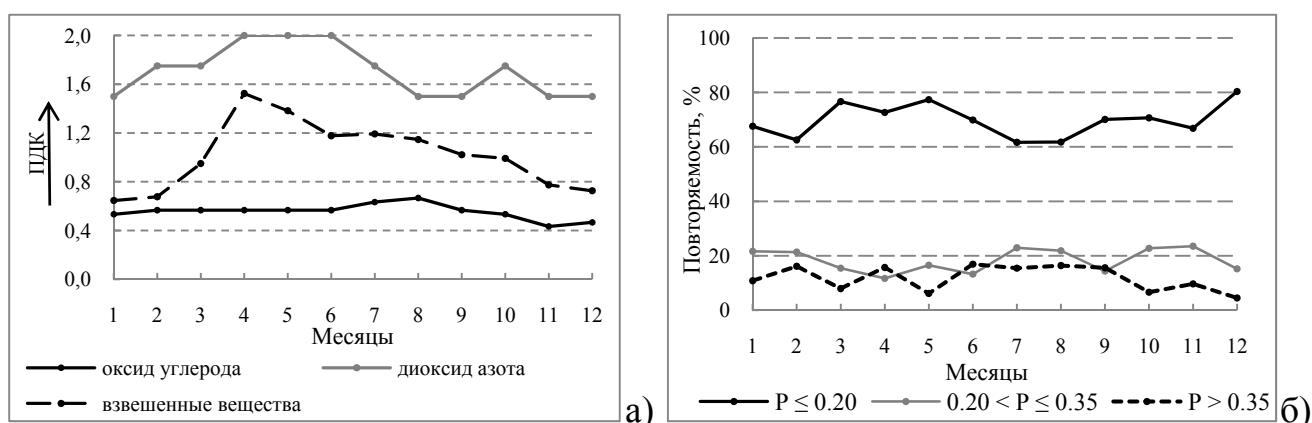


Рисунок 4 – Годовой ход для Санкт-Петербурга: а) среднемесячных концентраций, нормированных на ПДК, загрязняющих веществ, за период с 1980 по 2012 гг.; б) повторяемости дней с загрязнениями по параметру P , за период с 2006 по 2014 гг.

В результате анализа годового хода уровня загрязнения атмосферного воздуха за период с 1980 по 2014 гг. отмечен теплый период года как период с наибольшим загрязнением, что связано, главным образом, с сезонными изменениями как синоптической ситуации, так и погодных условий в целом.

Для оценки изменения уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга выполнены: анализ временного хода загрязняющих веществ (оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества) за период времени с 1980 по 2012 гг. (рисунок 5а); анализ временного хода параметра P за период с 2006 по 2014 гг. (рисунок 5б).

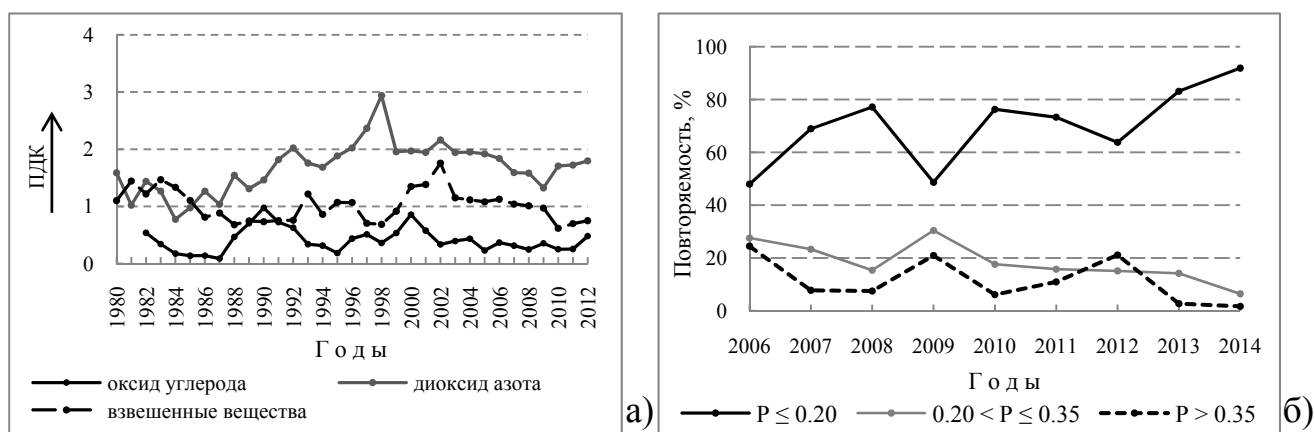


Рисунок 5 – Временной ход для Санкт-Петербурга: а) среднегодовых концентраций загрязняющих веществ, нормированных на ПДК, в течение периода наблюдений с 1980 по 2012 гг.; б) повторяемости дней с загрязнениями, по параметру P , за период с 2006 по 2014 гг

В результате анализа временного хода указанных соединений в совокупности с дальнейшим анализом определены синоптические ситуации, способствующие накоплению антропогенных примесей в воздухе Санкт-Петербурга, в частности для диоксида азота (1998 г) и для взвешенных веществ (2002 г) следующие: пребывания территории города в зоне тёплого сектора циклона; установление антициклонального режима.

Изучение временного хода параметра P за период с 2006 по 2014 гг. по Санкт-Петербургу позволяет выявить 2006, 2009 и 2012 гг. как время, когда повторяемость дней в году по I и II группам загрязнения наиболее велика; для этих групп отметить сокращение повторяемости после 2012 г, в то время как ситуация в III группе противоположна временному ходу I и II групп.

В работе дан подробный анализ причин показанного поведения антропогенных примесей как в годовом и во временном ходе; показаны синоптические ситуации, влияющие на накопление антропогенных примесей в воздухе Санкт-Петербурга: пребывание территории города в зоне тёплого сектора циклона, малоградиентное барическое поле; установление антициклонального режима.

В пятой главе выполнена детальная оценка вклада комплекса метеорологических условий и характерных синоптических процессов в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга, по данным за период с 2006 по 2014 гг.

Анализируемые данные сформированы в массивы для осенне-зимнего и весенне-летнего периодов года, отдельно анализируются дневные и ночные случаи; при этом рассматриваются три группы загрязнения воздуха (по параметру P).

Массивы сформированных данных анализировались по следующей схеме:

- оценка суточного хода загрязнения;
- оценка зависимости прогнозируемого уровня загрязнения от метеорологических характеристик и явлений погоды;
- оценка вклада явления температурной инверсии в формирование прогнозируемого уровня загрязнения атмосферного воздуха;
- оценка положения города относительно синоптической ситуации, вклад каждого положения в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха;
- оценка вклада синоптического процесса в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха;
- оценка вероятности загрязнения при выделенных характерных группах синоптических процессов;
- регрессионный анализ;
- расчёт коэффициентов взаимной сопряжённости и уровня загрязнения воздуха и синоптических процессов.

Оценка зависимости загрязнения от метеорологических характеристик и явлений погоды выполнена в два этапа: математическое осреднение метеорологических данных, характерных для каждой группы загрязнения (с учётом времени суток); проверка полученных результатов путём применения гипотезы о равенстве средних, что показало статистическую значимость различий в средних значениях всех характеристик. В результате выявлено, что 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.

Для оценки тесноты связи синоптического процесса и уровня загрязнения воздуха использован коэффициент взаимной сопряжённости Пирсона-Чупрова. Проверка статистической гипотезы о виде распределения выполнена при помощи критерия согласия – χ^2 . 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 2.

Таблица 2 – Оценка тесноты связи синоптического процесса и уровня загрязнения атмосферного воздуха при уровне значимости 0.05, для г. Санкт-Петербург за осенне-зимний и весенне-летний периоды с 2006 по 2014 гг.

Коэффициент	Время суток					
	Осенне-зимний период			Весенне-летний период		
	День	Ночь	Сутки	День	Ночь	Сутки
Кп	0.21	0.26	0.24	0.19	0.24	0.22
Кч	0.12	0.15	0.13	0.12	0.15	0.13
χ^2	38.1	61.2	49.9	45.8	76.7	60.5
$\chi^2_{кр}$	18.3			15.5		

Так как для всех рассматриваемых случаев $\chi^2 > \chi^2_{кр}$, различия статистически значимые, что позволяет отметить наличие существенной связи между синоптическими процессами и загрязнением атмосферного воздуха, несмотря на малую величину коэффициентов Пирсона-Чупрова.

В результате пошагового регрессионного анализа (методом включения) для ночных часов отмечено значимое влияние предикторов в 39 % (для холодного периода) и 38 % (для тёплого периода); и почти вдвое больше для дневных часов – значимое влияние предикторов 64 % (для холодного периода) 67 % (для тёплого периода), которые представляют инерционный фактор, что говорит о ведущей

роли инерционного фактора при прогнозировании уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Поиск зависимостей уровня загрязнения атмосферного воздуха от синоптической ситуации показал, что формирование относительно высокого и повышенного уровня загрязнения наиболее часто встречается при влиянии малоградиентного барического поля (в течение года). Повышение уровня загрязнения воздуха отмечены также в арктическом антициклоне – для холодного периода года и в отроге Азорского антициклона – для тёплого периода года. Пониженный уровень загрязнения воздуха чаще всего обуславливается прохождением атлантического циклона.

Таким образом, для г. Санкт-Петербург сформулированы уточнения метода прогноза загрязнения атмосферного воздуха, включающие прогностические правила и качественные выводы о возможном изменении уровня загрязнения воздуха. Например, для холодного периода года это выглядит, как показано в таблице 3.

В рамках проделанной работы разработаны 4 схемы для определения ожидаемой группы загрязнения воздуха: для дневных и ночных часов холодного и тёплого периодов года (рисунок 6). Указанные схемы разработаны по методу «дерево принятия решения». Предлагаемый метод отражает инерционную составляющую загрязнения 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); текущее значение параметра P и текущий синоптический процесс (относительно определяемого значения это – предыдущий срок). При этом на первом шаге необходимо выбрать в «дереве» прогнозируемый синоптический процесс, на втором – определить группу загрязнения воздуха на текущий момент, на третьем – текущий синоптический процесс (если это необходимо), что позволяет четвёртым шагом определить прогнозируемую группу загрязнения воздуха.

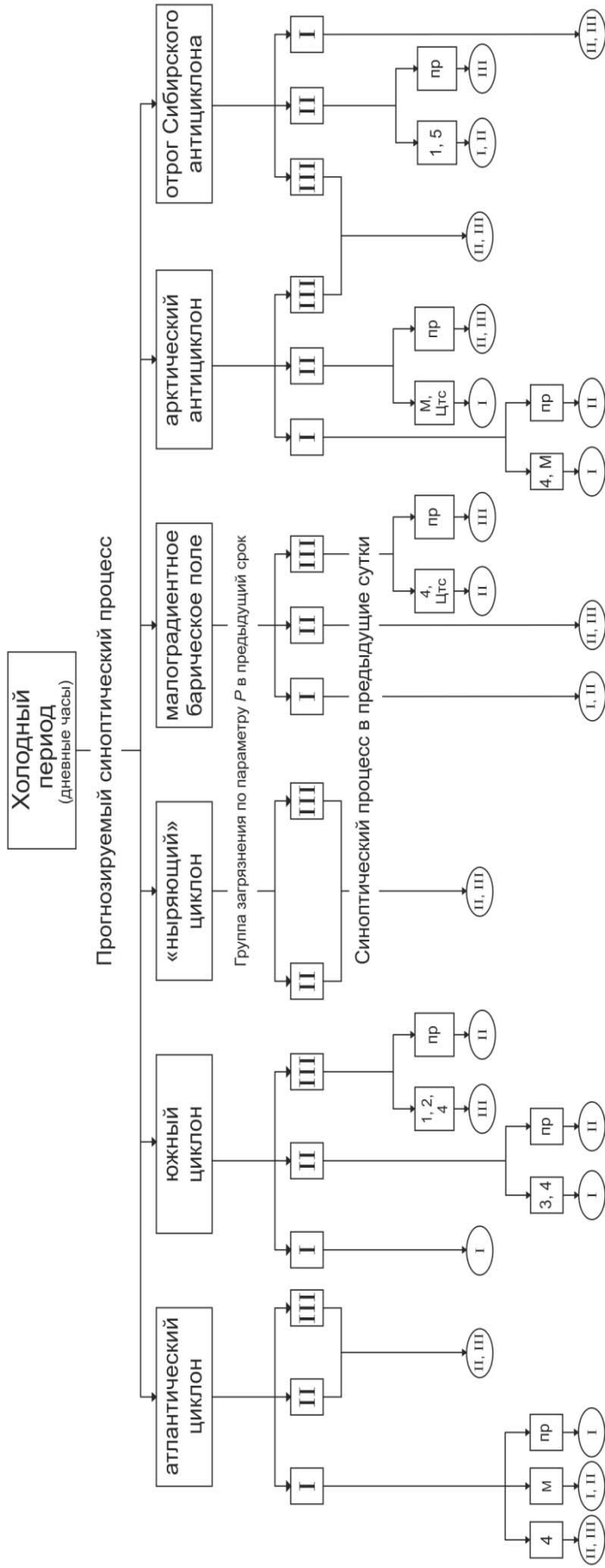
Таблица 3 – Уточнения метода прогноза загрязнения атмосферного воздуха для г. Санкт-Петербург, осенне-зимнего периода, по материалам с 2006 по 2014 гг

Прогностические правила, о ожидаемой группе загрязнения воздуха			Качественные выводы о уровне загрязнения воздуха	
I	II	III	Повышение при	Понижение при
- Ночь - М - 1	- День - М - 2	-3 -4	- ослабление ветра; - СВ; - понижение температуры воздуха; - повышение ВНГО; - образование туманов; - увеличение повторяемости явления инверсии; - Цтс	- ЮЗ; - выпадение осадков
Примечание: I – $P > 0.35$; II – $0.20 < P \leq 0.35$; III – $P \leq 0.20$; 1 – арктический антициклон; 2 – «ныряющий» циклон; 3 – атлантический циклон; 4 – южный циклон; М – малоградиентное барическое поле; ВНГО – высота нижней границы облаков; СВ – северо-восточное направление ветра; ЮЗ – юго-западное направление ветра; Цтс – тёплый сектор циклона				

На зависимом материале была рассчитана оправдываемость прогностического определения ожидаемой группы загрязнения атмосферного воздуха по Санкт-Петербургу, которая оказалась достаточно высокой и составила 84 – 91 % (таблица 4).

Таблица 4 – 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 6.а – Схема «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения воздуха для дневных часов холодного периода для г. Санкт-Петербург

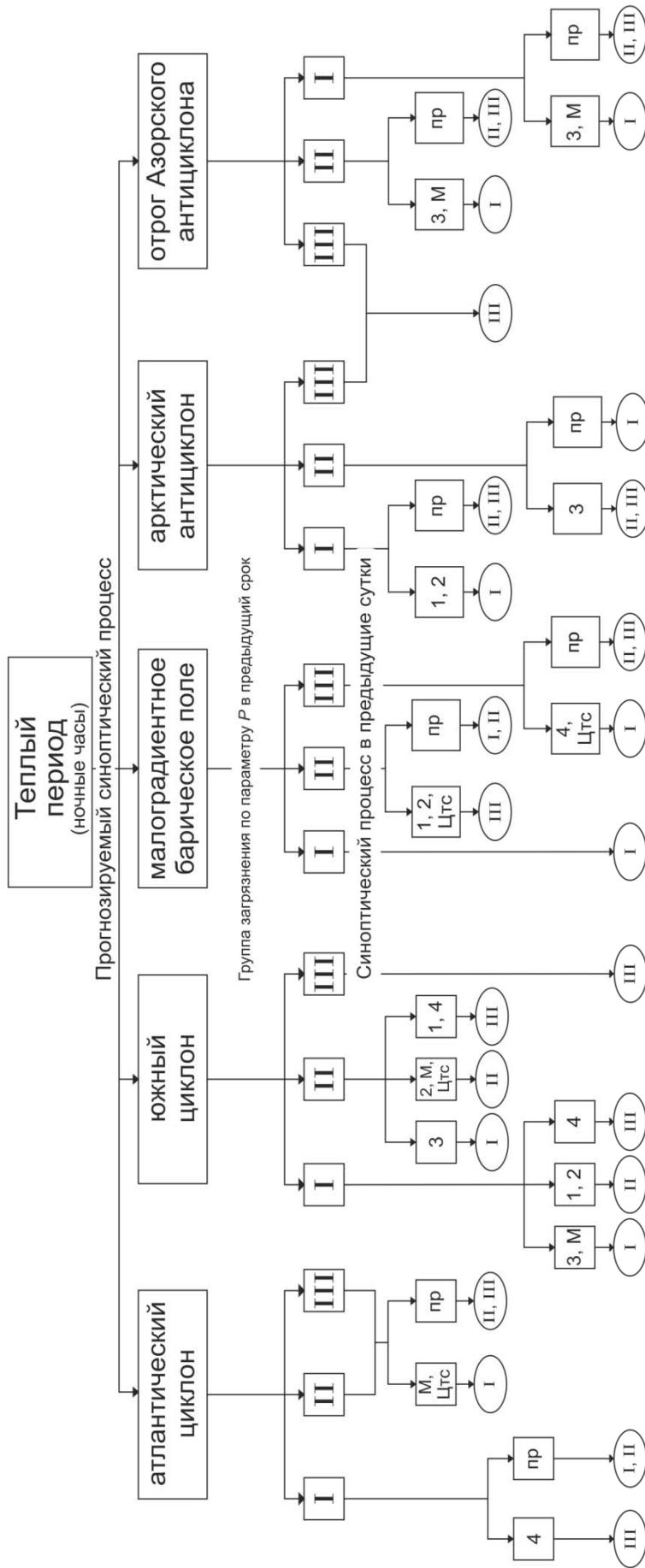


Рисунок 6.б – Схема «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения воздуха для ночных часов тёплого периода для г. Санкт-Петербург

Из таблицы 4 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.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные при выполнении работы:

- 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 временном ходе 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 прогноза загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург, позволяет учитывать нестабильные погодные условия последнего десятилетия.

- Разработанные схемы по методу «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 %.

Основные публикации по теме диссертации

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации в рецензируемых источниках по списку ВАК:

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. Научно-теоретический журнал. – СПб.: 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. Научно-теоретический журнал. – СПб.: 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. – М.: Спутник+. – 2016. – №3. – С.117-127.

И другие:

4. **Милютина (Лазарева), Е.О.** Влияние выбросов автотранспорта на изменение климата / Е.О. Милютина // Конференция в рамках III Международного полярного года: сб. трудов, Санкт-Петербург, 12 – 13 ноября 2008 г. – 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: мат. III междунар. науч.-практ. конф., т. 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: междунар. сб. науч. ст., 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 гг.) / 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.