

На правах рукописи



**ДОНЦОВА ТАТЬЯНА ВАСИЛЬЕВНА**

**БАЛАНСОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ  
КРУПНЫХ ГОРОДОВ НА ПРИНЦИПАХ БИОСФЕРНОЙ  
СОВМЕСТИМОСТИ**

05.23.19 - Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Волгоград – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Азаров Валерий Николаевич**

Официальные оппоненты:

**Манохин Вячеслав Яковлевич,**  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»,  
кафедра «Пожарная и промышленная  
безопасность», профессор

**Сидякин Павел Алексеевич,**  
кандидат технических наук, доцент  
Институт сервиса, туризма и дизайна  
(филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский  
федеральный университет» в г. Пятигорске,  
кафедра «Строительство», профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Брянский государственный  
инженерно-технологический университет»

Защита состоится «18» марта 2017 г. в 13<sup>00</sup> на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.094.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет», по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» <https://www.swsu.ru>.

Отзывы на автореферат направлять в диссертационный совет по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет».

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., доцент



Бакаева Наталья Владимировна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время существует много подходов для оценки загрязнения воздуха. Законодательно закрепленной является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (ОНД-86). Нормы предназначены для расчета приземных концентраций в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикального распределения концентраций. Однако, существует ряд проблем данной методики. Основной недостаток заключается в том, что хозяйствующие субъекты, имеющие источники выбросов, разрабатывают проекты нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) только на собственные источники выбросов вредных веществ. Эффект суммации загрязняющих веществ, поступающих от всех источников в совокупности в атмосферу города, на сегодняшний момент, к сожалению, исследован мало. И только небольшой процент крупных городов имеют в настоящее время сводные проекты ПДВ для города, которые дают некоторую оценку ситуации, касающуюся количества и состава выбросов вредных веществ, и прогнозируют изменение состояния качества воздуха в результате ввода в эксплуатацию новых производственных мощностей. Из-за отсутствия сводных расчетов, а также должного количества постов наблюдений в некоторых городах по ряду загрязняющих веществ, фон при проектировании ОВОС не учитывается. Поэтому не видно полной картины загрязнения атмосферы и невозможно объективно оценить угрозу окружающей среде для того, чтобы принять предпроектные решения по выбору альтернативных площадок под промышленное строительство. Также, стоит отметить, что программы, разработанные на основе положений ОНД-86, дают оценку «сверху» для максимальных значений концентраций загрязняющих веществ и, как показывает анализ ряда исследователей, ошибка в расчетах от реального положения, в ряде случаев, может достигать до 70%.

Изучением мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переносом антропогенных примесей в воздушном бассейне занимаются во многих научных центрах России, например, в Москве, Санкт-Петербурге, Иркутске, Волгограде. Но каждый их разработанный математический аппарат, как правило, дает точечную оценку загрязнения атмосферы города при конкретном наборе параметров источников выбросов и требуют значительных затрат. Поэтому актуальным на сегодняшний день, в ряде случаев, является разработка упрощенной математической модели оценки загрязнения атмосферы районов крупных городов, не требующая больших затрат и долгосрочного выполнения

расчета, которая должна отвечать требованиям положений современной для России концепции биосферной совместимости.

**Степень разработанности темы исследования.** Изучение распространения загрязняющих веществ в воздушной среде отражено в работах Е.К. Федорова, М.Е. Берлянда, Е.Л. Гениховича, Р.И. Оникула, Э.Ю. Безуглой, П.И. Андреева, А.С. Гаврилова, А.В. Хоперскова, С.С. Храпова, В.К. Аргучинцева, А.В. Аргучинцевой, Ю.В. Ильиной, А.И. Бородулина, В.Ф. Бреховских, Л.Г. Качурина, Н.С. Буренина, И.А. Морозовой, В.Н. Азарова, Е.М. Пекелис, В.В. Пененко, Н.Л. Бызовой, А.Е. Алояна и других авторов. Принципами преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека, а также разработкой и расчетами критериев биосферной совместимости городской среды занимаются следующие исследователи: В.А. Ильичев, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, В.Н. Азаров, В.А. Гордон, Н.В. Бакаева и другие. Это направление достаточно новое, его ведет Российская академия архитектуры и строительных наук на протяжении десяти лет. Концепция предусматривает переход к практике градостроительства, как внутренней структуре системы управления городом, в котором акцент сделан на его самоорганизацию и формирование в нем биосферосовместимой городской среды на основе единства города, природы и сознания человека.

Упрощенная математическая модель оценки загрязнения атмосферы на основе балансового метода поступления вредных веществ в район города представлена впервые.

**Цель работы** – совершенствование системы оценок качества атмосферного воздуха на стадии предпроектных работ для предложения набора вариантов размещения площадок под новое промышленное строительство и ряда других экологических задач.

На основании цели работы были поставлены и решены следующие **задачи**:

- теоретическое обоснование балансового метода оценки переноса вредных веществ и составление математической модели учета взаимовлияния районов крупных городов для изучения загрязнения атмосферного воздуха;
- выбор и обоснование критериев экологической безопасности для анализа предпроектных решений;
- анализ климатических характеристик, влияющих на перенос вредных веществ в атмосфере города, и исследование взаимосвязи между ними на примере г. Волгограда;

- определение критериев экологической безопасности для г. Волгограда за изучаемый период исследования и формирование выводов по результатам расчетов;

- проведение натурных исследований загрязнения атмосферного воздуха и сравнение полученных результатов с расчетными, выполненными на основе балансового метода, ОНД-86 и модели имитационного моделирования;

- разработка и апробирование методики выбора альтернативных площадок под новое промышленное строительство.

**Научная новизна** заключается в создании теоретико-методологического инструментария совершенствования системы оценок качества атмосферного воздуха и обеспечения экологической безопасности промышленного строительства на принципах биосферной совместимости, и определяется следующими результатами:

- разработан балансовый метод оценки переноса вредных веществ в воздушной среде крупных городов с упрощенной расчетной математической моделью изучения загрязнения атмосферного воздуха;

- впервые составлена универсальная таблица взаимовлияния районов по сторонам света для определения переноса воздушных масс на примере г. Волгограда и разработана матрица воздействия выбросов промышленных предприятий и автотранспорта на загрязнение районов;

- предложены критерии экологической безопасности, характеризующие фоновое загрязнение атмосферного воздуха, на теоретической базе балансового метода;

- предложена методика выбора альтернативных (резервных) площадок под новое промышленное строительство для принятия предпроектных решений на стадии ОВОС.

**Теоретическая и практическая значимость** работы заключается в:

- развитии научных подходов оценки загрязнения атмосферного воздуха и совершенствовании расчетных аппаратов, таких как ОВОС, сводные проекты ПДВ, с использованием критериев экологической безопасности на основе балансового метода;

- получении расчетных зависимостей, характеризующих загрязнение атмосферного воздуха крупных городов путем поступления вредностей из загрязняющих районов в загрязняемые;

- применении предложенного балансового метода в проектах ОВОС для принятия предпроектных решений по выбору альтернативных площадок под

новое промышленное строительство, в сводных проектах ПДВ для изучения эффекта суммации загрязняющих веществ, поступающих от всех источников в совокупности в атмосферу города, и ряда других экологических задач;

- оценке загрязнения атмосферного воздуха районов г. Волгограда и г. Волжского путем межрайонного переноса вредных веществ в результате определения критериев экологической безопасности на базе балансового метода;

- разработке программы на ЭВМ «БалансЗВ 1.0» для расчета параметров балансового метода (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016613400 от 28.03.2016 г.).

**Методология и методы исследования.** Методология включала в себя системный подход, абстрактно-логический, статистико-вероятностный, эмпирический и монографический методы, а также математическое моделирование. Теоретические положения проверялись экспериментальными исследованиями. Из теоретических методов применялись методы идеализации, формализации, из экспериментальных методов – эксперимент, методы сравнения, моделирования.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- обоснование разработки балансового метода;
- математическая модель межрайонного переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на основе балансового метода;
- критерии экологической безопасности на основе балансового метода;
- результаты численных исследований оценки загрязнения атмосферного воздуха г. Волгограда и г. Волжского;
- информационная модель и реализация программы для расчета функций распределения критерия экологической безопасности на основе балансового метода;
- методика выбора альтернативных площадок;
- результаты натурных исследований загрязнения атмосферного воздуха и сравнение полученных результатов с расчетными, выполненными на основе балансового метода, ОНД-86 и модели имитационного моделирования.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.** Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций соответствует современным требованиям, обоснована применением классических положений теоретического анализа, экспериментальным и вычислительным моделированием исследуемых процессов с применением математической теории планирования экспериментов, подтверждена проверкой критериями для оценки воспроизводимости опытов, адекватности математических моделей для натурных исследований.

Основные результаты и положения диссертации были доложены и одобрены на следующих научных конференциях и конкурсах: XIV Международная научно-практическая конференция «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии» (г. Пенза, 2012 г.); Всероссийский конкурс экологических проектов «Экологическая безопасность и природопользование: наука, инновации, управление» (г. Иркутск, Москва, 2012 г.); Международная конференция, посвященная 60-летию образования ВУЗа ВолгГАСУ (Волгоград, 2012 г.); XVII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 2012 г.); Международная научно-практическая конференция «Биосферносовместимые города и поселения» (г. Брянск, 2012 г.); II международные академические чтения «Биосферно-совместимые технологии в развитии регионов» (г. Курск, 2013 г.); Международная конференция «Практическая апробация и внедрение инновационных методов управления качеством атмосферного воздуха» (г. Анталия, 2013 г.); Международная научно-практическая конференция «Архитектура, градостроительство, историко-культурная и экологическая среда городов центральной России, Украины и Беларуси» (г. Брянск, 2014 г.); Четвертая международная научно-практическая конференция «Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах» (г. Брянск, 2015 г.).

#### **Реализация результатов работы:**

- предложенная методика выбора альтернативных площадок использовалась на стадии предпроектных работ в ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой», ООО «НИиПИ «Росстройпроект» и ЗАО «ВолгоградНИПИнефть» при выполнении проектов ОВОС;

- разработанные «Методические рекомендации по оценке загрязнения воздушной среды крупных городов балансовым методом» переданы для применения на стадии предпроектных работ по ОВОС в ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой».

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 21 научная работа, в том числе 6 печатных работ в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, 1 свидетельство на регистрацию программ для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения. Работа изложена на 161 странице, из них 140 основного текста. Содержит 57 рисунков, 26 таблиц, список литературы из 106 источников и два приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность избранной темы, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи работы, ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены методология и методы диссертационного исследования, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и сведения об апробации результатов проведенных исследований.

**В первой главе** представлен обзор методик оценки распространения загрязняющих веществ в воздушной среде и рассмотрены принципы устойчивого развития на примере концепций экологического следа (University of British Columbia) и биосферной совместимости (Российская академия архитектуры и строительных наук).

Анализ существующих подходов изучения загрязнения воздуха показал, что каждый разработанный математический аппарат дает точечную оценку при конкретном наборе параметров источников выбросов, не позволяет для ввода в эксплуатацию новых производственных мощностей определить загрязнение атмосферы путем поступления вредных веществ в совокупности в атмосферу от всех источников для выбора альтернативных площадок под промышленное строительство на стадии предпроектных решений при составлении проектов ОВОС, а также требуют значительных затрат. Основной недостаток законодательно закрепленного документа ОНД-86 заключается в том, что хозяйствующие субъекты, имеющие источники выбросов, разрабатывают проекты нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) только на собственные источники выбросов вредных веществ. И только небольшой процент крупных городов имеют в настоящее время сводные проекты ПДВ для города, которые дают некоторую оценку ситуации, касающуюся количества и состава выбросов загрязняющих веществ и прогнозируют изменение состояния качества воздуха в целом. Программы, разработанные на основе положений ОНД-86, дают оценку «сверху» для максимальных значений концентраций вредных веществ и, как показывает анализ ряда исследователей, ошибка в расчетах от реального положения, в ряде случаев, может достигать до 70%.

Согласно принципам устойчивого развития экономическое и социальное формирование должно быть направлено на то, чтобы удовлетворение наших потребностей не оказало негативного влияния на возможности удовлетворения потребностей будущих поколений. Концепция экологического следа показывает является ли страна (город, регион) «экологическим должником» или «экологическим донором» в результате расчета ресурсов, которые необходимы для удовлетворения потребностей человечества (спрос), и оценке возможностей Земли создать необходимые ресурсы (предложение). При достаточно высокой

степени разработки данной концепции, экологический след является интегральным показателем, отражающим устойчивое развитие поверхностно, так как не определяет социальные и экономические составляющие.

Концепция биосферной совместимости рассматривает принципиально новый подход к градостроительству, ориентированный на создании биосферно-совместимых поселений. Вместо традиционных критериев и механизмов регрессивного и деградиационного развития отраслей, построенных на теории расширенного экономического воспроизводства, предлагаются критерии и механизмы прогрессивного саморазвития регионов (прогрессивное развитие людей, технологий, организаций и биосферы), опирающихся на воспроизводстве главной производительной силы – чистой (лишенной загрязнений) части биосферы. Количественная оценка реализации принципа биосферной совместимости вытекает из расчета гуманитарного баланса биотехносферы регионов, который послужил основанием выбора диссертационного исследования по разработке упрощенной математической модели межрайонного переноса вредных веществ в атмосфере балансовым методом для оценки фоновое загрязнения атмосферы с минимальными затратами и сроками выполнения расчета.

**Вторая глава** посвящена теоретическим положениям расчетной модели межрайонного переноса вредных веществ в атмосфере балансовым методом.

В рамках балансового метода введены такие понятия как «чистый» и «грязный» воздух. Воздух, выведенный из категории «чистый», тот, в котором концентрация вредных веществ в жилой зоне превосходит по одному из показателей ПДК или сумма концентраций загрязняющих веществ группы суммаций  $C_i$ , деленных на их ПДК, в сумме превышает единицу. Воздух будет являться «грязным» при условии:

$$\sum_i \frac{C_i}{ПДК_i} \geq 1. \quad (1)$$

Для оценки фоновое загрязнения атмосферы при выборе вариантов размещения площадок под промышленное строительство предлагается ввести такие критерии экологической безопасности как удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района  $P$  и среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы района  $J$ . Основной задачей предлагаемого подхода является определение законов распределения этих критериев как случайных величин и нахождение их характеристик. Исходя из того, что каждый крупный город включает в себя  $N$ -ое количество районов, то каждый район является загрязняющим районом других районов и загрязняемым районом другими районами. Обозначим загрязняющие районы –  $j$ -ые районы, загрязняемые районы

–  $i$ -ые районы. Тогда, масса вредного вещества  $G_i$ , поступившего в загрязняемый  $i$ -ый район в текущий момент времени, определяется по формуле:

$$G_i(\nu, \varphi) = \sum_{j=1}^N M_{ij} \cdot \alpha_{ij}(\nu, \varphi), \quad (2)$$

где  $\nu$  – скорость ветра, м/с;

$\varphi$  – направление ветра;

$M$  – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

$\alpha_{ij}$  – поправочный коэффициент, учитывающий долю выбросов, поступающих в  $i$ -ый район из  $j$ -ого района, за исключением тех, которые оседают;  
 $j = 1 \div N$  – номера районов.

При этом, в воздушной среде  $i$ -го района будет находиться следующее количество вредностей:

$$A_i(\nu, \varphi) = \sum_{j=1}^N M_{ij} \cdot \alpha_{ij}(\nu, \varphi) \cdot \frac{l_{ij}(\varphi)}{\nu(\varphi)}, \quad (3)$$

где  $l$  – расстояние прохождения по  $i$ -ому району вредных веществ, м.

Учитывая, что  $\nu$  и  $\varphi$  – вообще говоря, независимые величины, среднебалансовую концентрацию в районе поступивших из соседних районов загрязняющих веществ для одной группы суммации  $C_i$  выражаем по формуле:

$$C_i(\nu, \varphi) = \frac{1}{V} \cdot \left( \sum_{j=1}^N M_j \cdot \alpha_j(\nu, \varphi) \cdot \beta \cdot \frac{l_{ij}(\varphi)}{\nu(\varphi)} \right), \quad (4)$$

где  $V$  – условный объем воздуха в жилой зоне, м<sup>3</sup>;

$\beta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности.

Определение поступления вредных веществ в каждый из районов города по характеристике направления ветра базируется на составлении универсальной таблицы взаимовлияния районов города и прилегающих к нему территорий, на основании которой строится матрица  $B$  взаимовлияния районов, где каждая ячейка матрицы показывает вероятность максимального поступления выброса из  $j$ -ого района в  $i$ -ый район. Для определения межрайонного переноса вредных веществ  $\bar{G}_{nocm}$  выявлена зависимость:

$$\bar{G}_{nocm} = B \cdot \bar{g}_{выбр}, \quad (5)$$

где  $\bar{g}_{выбр} = (g_j)_{j=1}^N$  –  $N$ -мерный вектор вредных выбросов от стационарных  $g_{выбр}$  (промышленных предприятий) и передвижных  $g_{выбр}$  (передв (автомобильного транспорта) источников, т/год.

При этом, матрица взаимовлияния районов города и прилегающих к нему территорий будет определяться по формуле:

$$B_{ij} = \sum_{\varphi} T_{ij}(\varphi) \cdot \frac{1}{365} \int \frac{l_i(\varphi)}{v_{ij}} d\varphi, \quad (6)$$

где  $T_{ij}$  – количество дней, в которые ветер имеет направление  $\varphi$ .

Для определения удельной нагрузки загрязнения на атмосферу  $i$ -ого района  $P$ , которая, в общем случае, выражается вектором, используем формулу:

$$\bar{P} = (P_i)_{i=1}^N = \left( \frac{\bar{G}_{nocmi}}{S_i} \right)_{i=1}^N, \quad (7)$$

где  $S$  – площадь района, км<sup>2</sup>;

$i = 1 \div N$  – номера районов.

Для определения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы района  $J$  проводится расчет средней концентрации вредных веществ по каждой группе суммации  $i$ -района, поступивших из  $j$ -районов, а затем сумма концентраций каждой группы суммации загрязняющих веществ делится на их ПДК:

$$J_i = \sum_{k=1}^l \left( \frac{C_i^k(v, \phi)}{\text{ПДК}_k} \right), \quad (8)$$

где  $C_i^k$  – средняя концентрация вредных веществ по  $k$ -й группе суммации  $i$ -района, поступивших из  $j$ -районов;

$\text{ПДК}_k$  – ПДК  $k$ -го загрязняющего вещества.

Таким образом, разработана упрощенная математическая модель межрайонного переноса вредных веществ в городской среде, которая, вообще говоря, дает «грубую» оценку загрязнения атмосферы, но при этом не требует больших затрат и долгосрочного выполнения расчетов.

**В третьей главе** представлены анализ климатических характеристик и оценка межрайонного переноса загрязняющих веществ в атмосфере, в частности, критериев экологической безопасности, на примере г. Волгограда.

Для изучения характера распределения ветров в Волгограде по румбам за пятилетний период (2010-2014 гг.) приняты исходные данные Gismeteo. Розы ветров, построенные за этот период, подтвердили справочные данные о преобладании восточных (в 2010, 2012 и 2014 гг.) и западных румбов (в 2011 и 2013 гг.) в Волгограде (рисунок 1).

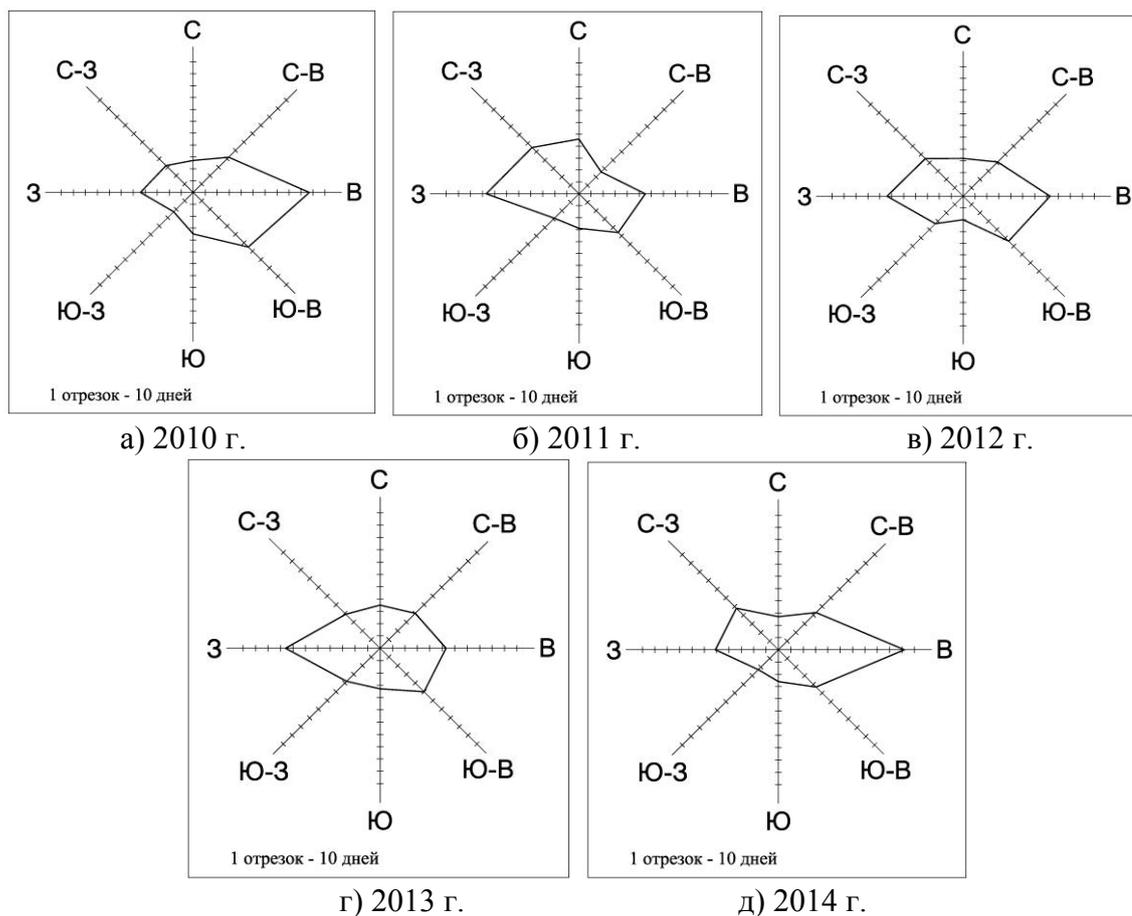


Рисунок 1 – Розы ветров г. Волгограда за 2010 – 2014 гг.

Среднегодовые характеристики ветра в г. Волгограде за 2010-2014 гг. указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Режим ветра г. Волгограда за 2010-2014 гг.

Год	Характеристика	Направление ветра							
		с	с-в	в	ю-в	ю	ю-з	з	с-з
2010	Кол-во дней	27	42	97	65	35	23	44	32
	Средняя скорость ветра, м/с	4.4	5.8	5.8	6.1	4.8	5.5	5.3	4.8
2011	Кол-во дней	46	26	55	46	29	29	77	55
	Средняя скорость ветра, м/с	4.3	4.4	5.6	5.4	5.3	6.1	5.7	4.7
2012	Кол-во дней	32	41	73	54	20	33	64	45
	Средняя скорость ветра, м/с	4.5	5.6	6.3	5.2	5.2	5.2	5.6	4.6
2013	Кол-во дней	35	40	53	50	33	38	76	39
	Средняя скорость ветра, м/с	4.9	5.1	5.8	5.0	4.3	5.7	5.6	5.2
2014	Кол-во дней	27	43	102	43	26	23	51	48
	Средняя скорость ветра, м/с	5.0	5.7	5.5	6.1	5.0	6.1	5.4	5.0

Корреляционный анализ данных показал практическое отсутствие взаимосвязи между скоростью и направлением ветра в течение всего периода

наблюдений. Распределение значений скоростей ветра в выборке близко к усеченному нормальному. Значения коэффициентов корреляции между метеорологическим направлением ветра и его скоростью, вычисленные на уровне значимости  $\alpha = 0.95$  для дневного и ночного времени, составляют 0.02 и -0.02 соответственно.

Также была проведена проверка подчинения повторяемостей скоростей ветра распределению Вейбулла в г. Волгограде за изучаемый пятилетний период, двухпараметрическое уравнение которого выражается по формуле:

$$F(U) = 1 - \exp\left[-(U/c)^k\right], \quad (9)$$

где  $k$  – параметр формы,  $c$  – параметр масштаба,

$U$  – скорость ветра, м/с.

Дифференциальная функция распределения повторяемости скоростей ветра в г. Волгограде за 2010-2014 гг. приведена на рисунке 2.

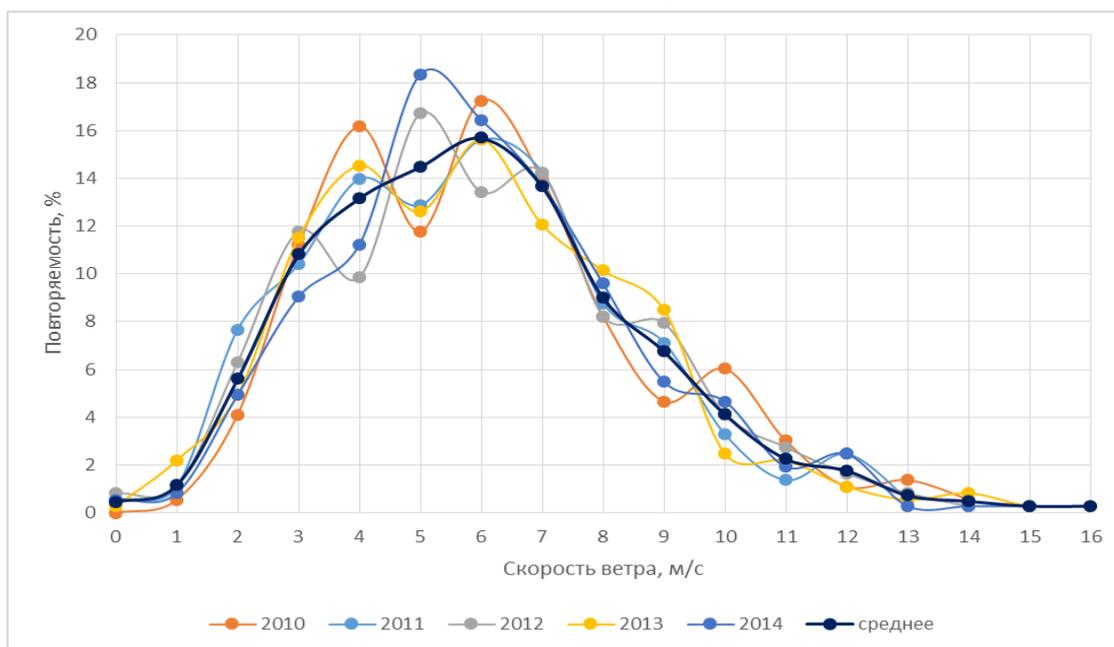


Рисунок 2 – Дифференциальные функции распределения повторяемости скоростей ветра за 2010 – 2014 гг.

Проверка гипотезы о подчинении распределения повторяемости ветра закону Вейбулла осуществлялась с помощью критерия согласия Пирсона  $\chi^2$ . В случае, если  $\chi_{набл}^2 \leq \chi_{теор}^2$ , то эмпирический ряд хорошо согласуется с гипотезой о предполагаемом распределении и можно утверждать, что расхождение между теоретическими и наблюдаемыми частотами случайно. Для расчетов данных повторяемости скоростей ветра нами была разработана программа согласно ГОСТ 19.701-90, результаты расчетов по этой программе представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты обработки данных повторяемости скоростей ветра за 2010–2014 гг.

Год	Число интервалов, $n$	Выборочное среднее, $\bar{U}$	Выборочная дисперсия, $D_U$	Параметр формы, $k$	Параметр масштаба, $c$	Теоретическое значение критерия Пирсона, $\chi_{теор}^2$	Наблюдаемое значение критерия Пирсона, $\chi_{набл}^2$
2010	8	6.07123	12.5669	10.001	6.70564	10.7794	1.49668e-030
2011	8	5.80274	11.7643	10.001	6.40176	10.7794	1.06097e-031
2012	8	5.95068	12.528	10.001	6.56102	10.7794	5.17233e-031
2013	9	5.92329	12.6372	10.001	6.52508	12.2995	6.39524e-031
2014	9	6.03836	12.2139	10.001	6.67468	12.2995	4.69746e-031
Среднее за 5 лет	9	5.96164	12.3761	10.001	6.57811	12.2995	9.84004e-031

Таким образом, из условия  $\chi_{набл}^2 \leq \chi_{теор}^2$  следует, что распределение повторяемости скорости ветра за 2010-2014 гг. по г. Волгограду подчиняется закону Вейбулла.

Исходные данные для исследования межрайонного переноса по фактическим выбросам загрязняющих веществ в атмосферу за 2010-2013 гг. приняты из официальных докладов о состоянии окружающей среды в Волгоградской области. Анализ результатов расчетов показал, что максимальное поступление вредных веществ в воздушной среде приходится на Тракторозаводский район, минимальное – на Советский и Ворошиловский районы. Также был сделан вывод, что загрязнение атмосферы района от собственных источников намного меньше загрязнения атмосферы путем поступления вредных веществ из других районов, причем разница по каждому году составляет 5-10 %.

Результаты расчета критерия экологической безопасности  $P$  представлены на рисунке 3. Таким образом, наибольшую удельную нагрузку загрязнения на атмосферу испытывают Центральный, Краснооктябрьский, Тракторозаводский и Ворошиловский районы, хотя поступления вредных веществ в эти районы были самыми минимальными.

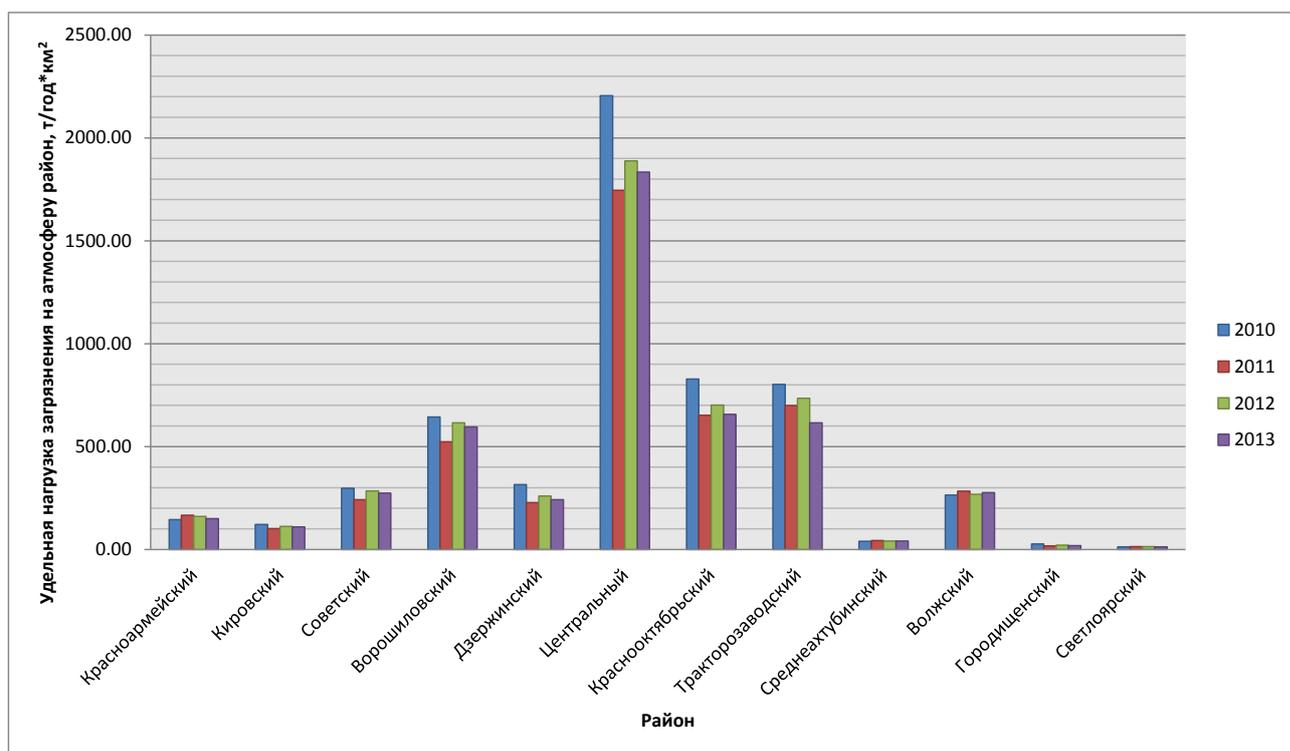


Рисунок 3 – Удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района за 2010-2013 г.

Среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы районов определялся для групп суммаций основных вредных веществ воздушного бассейна города в разработанной с участием автора программе для ЭВМ «БалансЗВ 1.0». Расчет проводился в 110-и метровом слое над поверхностью земли, поскольку это наивысшая точка жилого здания города. На основании полученных данных построены интегральные и дифференциальные функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы для районов г. Волгограда и г. Волжского. В качестве примера ниже приведены функции для Краснооктябрьского района (рисунки 4, 5), для которых вероятность выполнения неравенства  $J \leq 1$  в разные годы колеблется от 0,80 до 0,94.

Одним из этапов исследований была проверка гипотез о подчинении полученных значений среднебалансового интегрального критерия одному из теоретических законов распределений: логарифмически-нормальному, гамма-распределению и экспоненциальному. Для этого использовались критерии согласия Пирсона и одновыборочный критерий Колмогорова для уровня значимости  $\beta = 5\%$ . В результате проведенных расчетов доказано, что значения среднебалансового интегрального критерия в районах г. Волгограда и г. Волжского на протяжении 2010-2013 гг. подчиняются логарифмически-нормальному закону распределения.

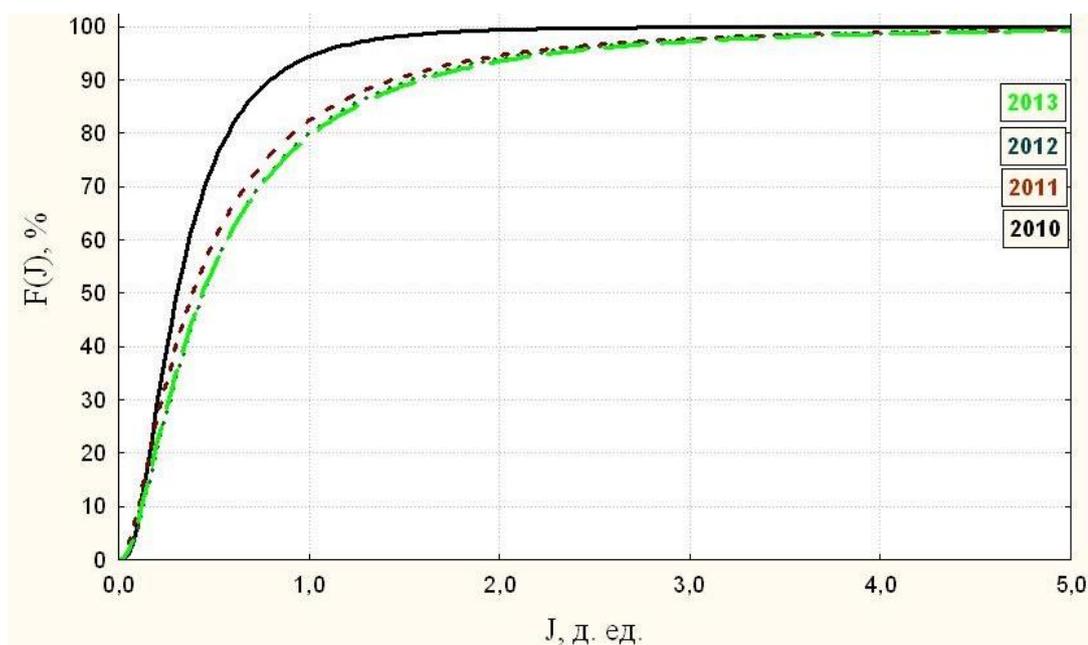


Рисунок 4 – Интегральная функция распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы  $J$  в Красноярском районе

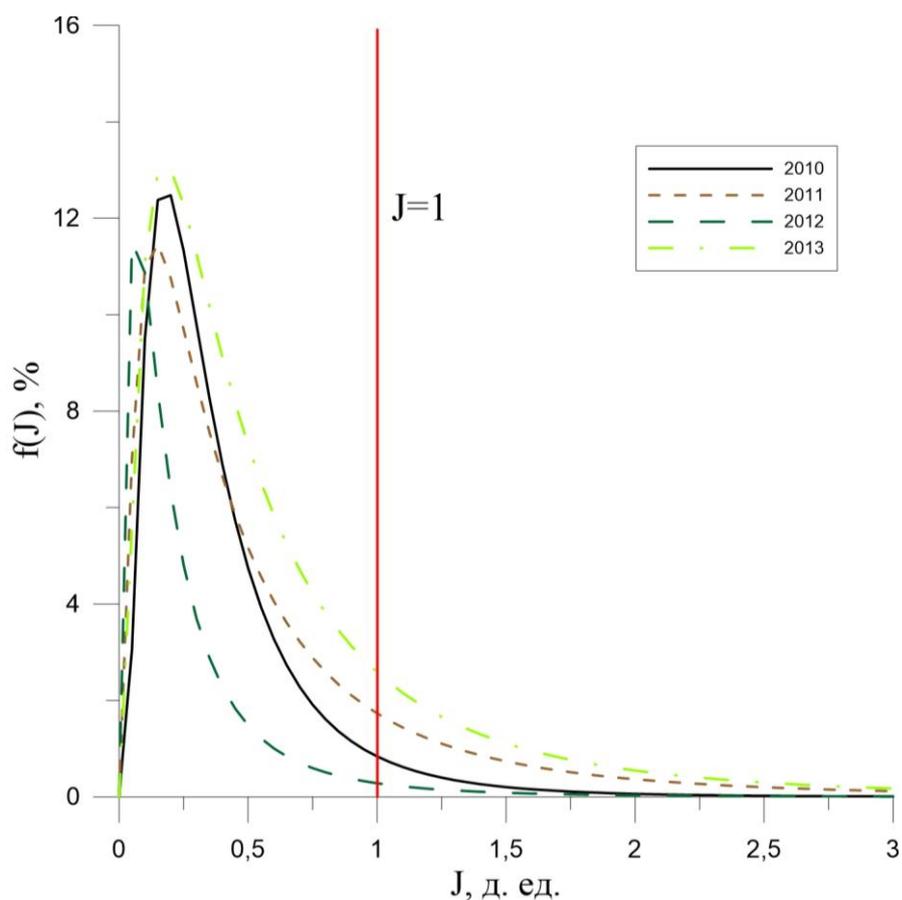


Рисунок 5 – Дифференциальная функция распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы  $J$  в Красноярском районе

Анализ показал, что наибольший объем «грязного» воздуха приходится на Тракторозаводский и Центральный районы, что соответствует результатам расчетов удельной нагрузки загрязнения на атмосферу, при которых максимальные значения данного критерия были получены по Центральному, Краснооктябрьскому, Тракторозаводскому и Ворошиловскому районам.

Таким образом, в рамках диссертационной работы была осуществлена оценка межрайонного переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Волгограда и прилегающих территорий за период с 2010 по 2013 гг. Из вышесказанного можно сделать вывод, что Тракторозаводский район г. Волгограда находится в зоне риска тяжелой экологической обстановки.

**Четвертая глава** посвящена практической реализации результатов исследования.

Для оценки среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы была разработана программа на ЭВМ «БалансЗВ 1.0» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016613400 от 28.03.2016 г.), видовое окно которой приведено на рисунке 6.

Добавить Удалить Сохранить изменения Расчет

Города  
 - Волгоград  
 - Год  
 - 2013  
 - Поправочный коэффициент  
 - Коэффициент учета скорости ветра  
 - Скорости ветра  
 - Направления ветра  
 - Районы  
 - Красноармейский  
 - Кировский  
 - Советский  
 - Ворошиловский  
 - Дзержинский  
 - Информация о концентрации  
 - Концентрация  
 - Центральный  
 - Краснооктябрьский  
 - Тракторозаводский  
 - Среднеахтубинский  
 - Волжский  
 - Городищенский  
 - Светлоярский  
 - 2010  
 - 2011  
 - 2012

Значения J в Дзержинском районе за 2013 г.

	Ск	ве	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮЕ	ЮВ	ЮЮИ	Ю	ЮЮ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ
1	0.46	1.8	4.94	5.85	0.73	1.27	0.99	3.29	3.59	1.35	0.62	0.63	0.55	0.75	0.75	0.56		
2	0.23	0.9	2.47	2.93	0.37	0.63	0.5	1.65	1.79	0.68	0.31	0.31	0.28	0.37	0.37	0.28		
3	0.15	0.6	1.65	1.95	0.24	0.42	0.33	1.1	1.2	0.45	0.21	0.21	0.18	0.25	0.25	0.19		
4	0.12	0.45	1.23	1.46	0.18	0.32	0.25	0.82	0.9	0.34	0.16	0.16	0.14	0.19	0.19	0.14		
5	0.09	0.36	0.99	1.17	0.15	0.25	0.2	0.66	0.72	0.27	0.12	0.13	0.11	0.15	0.15	0.11		
6	0.08	0.3	0.82	0.98	0.12	0.21	0.17	0.55	0.6	0.23	0.1	0.1	0.09	0.12	0.12	0.09		
7	0.07	0.26	0.71	0.84	0.1	0.18	0.14	0.47	0.51	0.19	0.09	0.09	0.08	0.11	0.11	0.08		
8	0.06	0.23	0.62	0.73	0.09	0.16	0.12	0.41	0.45	0.17	0.08	0.08	0.07	0.09	0.09	0.07		
9	0.05	0.2	0.55	0.65	0.08	0.14	0.11	0.37	0.4	0.15	0.07	0.07	0.06	0.08	0.08	0.06		
10	0.05	0.18	0.49	0.59	0.07	0.13	0.1	0.33	0.36	0.14	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06		
11	0.04	0.16	0.45	0.53	0.07	0.12	0.09	0.3	0.33	0.12	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.05		
12	0.04	0.15	0.41	0.49	0.06	0.11	0.08	0.27	0.3	0.11	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05		
13	0.04	0.14	0.38	0.45	0.06	0.1	0.08	0.25	0.28	0.1	0.05	0.05	0.04	0.06	0.06	0.04		
14	0.03	0.13	0.35	0.42	0.05	0.09	0.07	0.24	0.26	0.1	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04		
15	0.03	0.12	0.33	0.39	0.05	0.08	0.07	0.22	0.24	0.09	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04		
16	0.03	0.11	0.31	0.37	0.05	0.08	0.06	0.21	0.22	0.08	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.03		

Рисунок 6 – Видовое окно программы «БалансЗВ 1.0»

На основе балансового метода разработана методика выбора альтернативных площадок для принятия предпроектных решений по размещению новых промышленных предприятий на стадии ОВОС. Алгоритм поиска альтернативных площадок базируется на вычислительном эксперименте (рисунок 7).

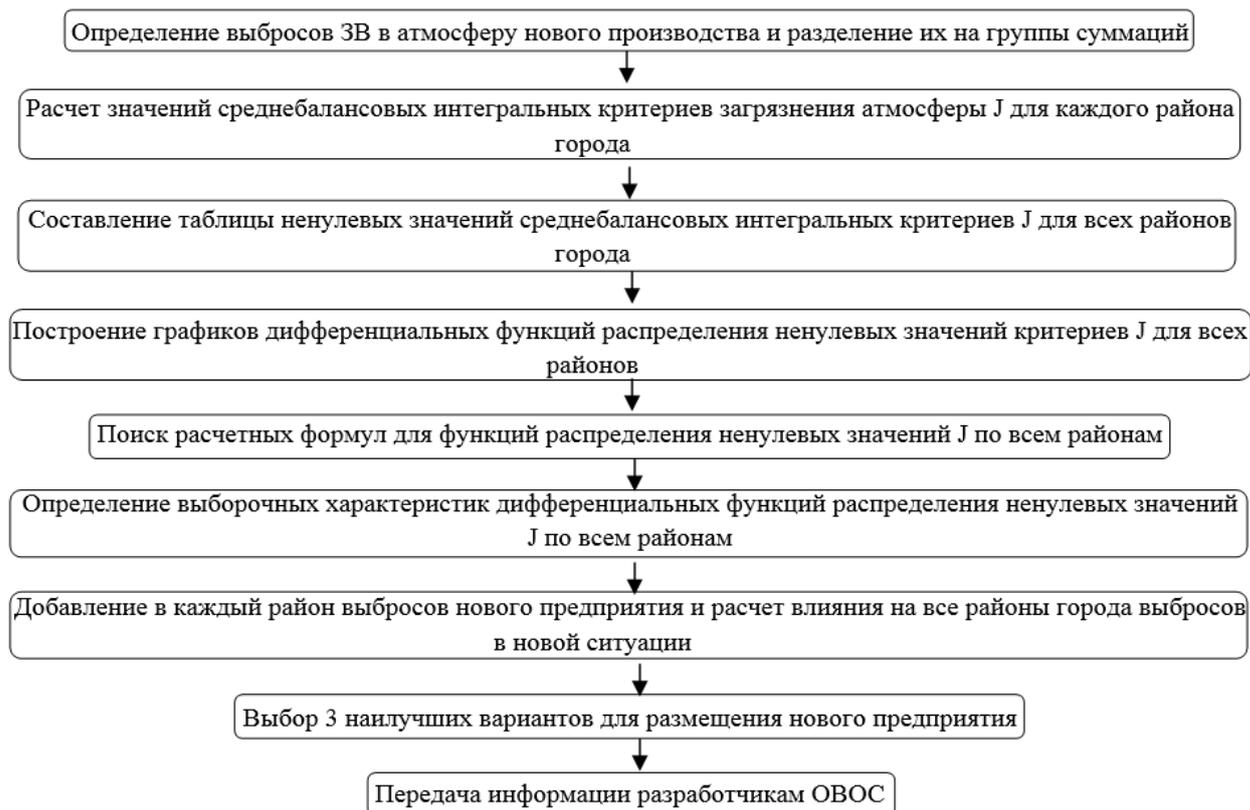


Рисунок 7 – Алгоритм поиска альтернативных (резервных) площадок для размещения промышленного предприятия

В рамках настоящей работы методика выбора альтернативных площадок была использована на примере г. Волгограда путем размещения новых промышленных предприятий в каждом районе города. Таким образом, получена оценка влияния выбросов на все районы города при добавлении в каждом районе поочередно нового промышленного производства. В результате получено, что Ворошиловский район является наиболее оптимальным районом для размещения альтернативных площадок. Также предложенная методика выбора альтернативных площадок использовалась на стадии предпроектных работ в ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой», ООО «НИиПИ «Росстройпроект» и ЗАО «ВолгоградНИПИнефть» при выполнении проектов ОВОС.

Натурные исследования проводились по отбору проб пыли в жилой зоне, у автодорог и вблизи постов наблюдений г. Волгограда. Для сравнения полученных результатов с расчетными были определены средние значения концентраций пыли балансовым методом, согласно методики ОНД-86, методом имитационного моделирования динамики загрязняющих веществ. Функции распределений концентраций пыли по выполненным расчетам и проведенным замерам, осредненных с данными постов наблюдений, представлены на рисунке 8.

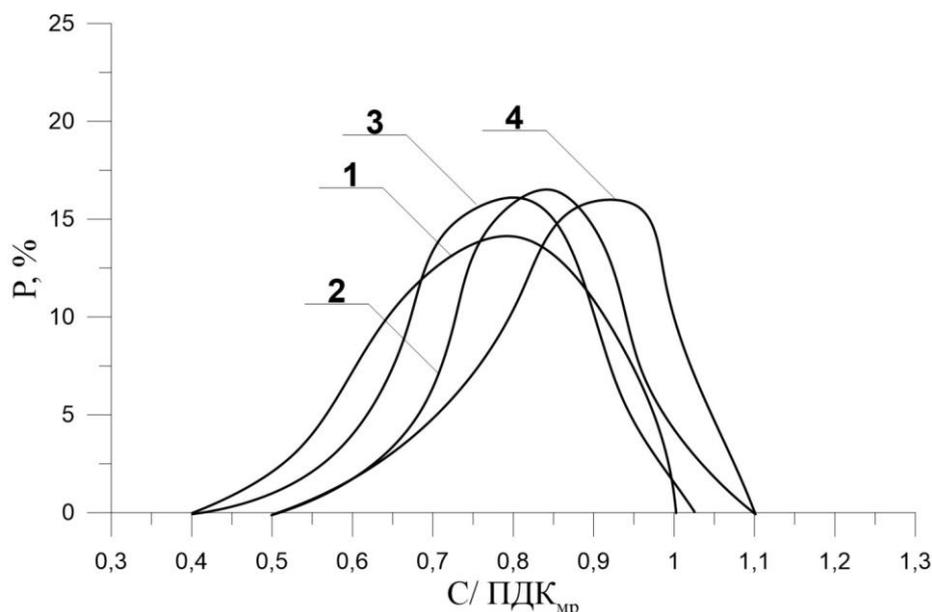


Рисунок 8 – Дифференциальные функции распределения для средних по району значений концентрации пыли в атмосфере г. Волгограда, полученных на основании: 1 – замеров и данных постов наблюдения; 2 - балансового метода поступления вредных веществ в район города; 3 – имитационного моделирования динамики загрязняющих примесей; 4 – методики расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе по ОНД-86

Таким образом, результаты расчета поступления вредных веществ в район города по балансовому методу отличаются в среднем по району не более, чем на 30%. При этом, наилучшую точность показал метод имитационного моделирования динамики загрязняющих примесей. Вычисления по методике расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе (ОНД-86) подтвердили, что она дает оценку «сверху» и предназначена для оценки максимально-разовой концентрации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе, на основе теоретических разработок и проведенных по ним исследований и расчетов, можно сделать следующие выводы:

- выполнен анализ существующих методик оценки распространения загрязняющих веществ в воздушной среде. Обзор показал, что изученные математические аппараты, как правило, дают точечную оценку загрязнения атмосферы города при конкретном наборе параметров источников выбросов либо оценку «сверху» для максимальных значений концентраций вредных веществ (ОНД-86), при этом они требуют значительных затрат;

- анализ стратегии устойчивого развития на зарубежном и отечественном опыте позволил разработать балансовый метод поступления вредных веществ в каждый район крупного города на принципах биосферной совместимости для оценки фонового загрязнения атмосферы в случае принятия предпроектных решений по выбору альтернативных площадок под новое промышленное строительство на стадии ОВОС, составления сводного проекта ПДВ при изучении эффекта суммации загрязняющих веществ, поступающих от всех источников в совокупности в атмосферу города, и ряда других экологических задач. Расчетная математическая модель, основанная на балансовом методе, не требует больших затрат, а также долгосрочного выполнения расчета;

- проведен анализ климатических характеристик г. Волгограда, который показал, что повторяемость скоростей ветра подчиняется закону Вейбулла, в годовом ходе наблюдается преобладание восточного и западного направления ветров, а также практически отсутствует взаимосвязь между скоростью и направлением ветра в течение всего периода наблюдений;

- выполнены численные исследования по разработанной упрощенной математической модели межрайонного переноса загрязняющих веществ в воздушной среде на примере г. Волгограда. Показано, что загрязнение атмосферы района от собственных источников намного меньше загрязнения атмосферы путем поступления вредных веществ из других районов по анализируемым годам, при этом максимальное поступление загрязняющих веществ приходится на Тракторозаводский район;

- в рамках балансового метода выявлены критерии экологической безопасности: удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района и среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы района. По результатам численного исследования наибольшую удельную нагрузку загрязнения на атмосферу испытывают Тракторозаводский, Центральный, Краснооктябрьский и Ворошиловский районы. Анализ расчета среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы районов показал, что максимальный объем «грязного» воздуха приходится на Тракторозаводский и Центральный районы. Доказано, что дифференциальные функции распределения значений среднебалансовых концентраций вредных веществ по группам суммаций в районах г. Волгограда и г. Волжского за период исследования подчиняются логарифмически-нормальному закону распределения;

- разработана программа «БалансЗВ 1.0» для расчета параметров балансового метода. Хранилищем исходных данных в программе является компактная БД

SQLite, движок и интерфейс к которой реализованы в одной библиотеке, что увеличивает скорость выполнения запросов;

- разработана методика выбора альтернативных площадок под новое промышленное строительство, основанная на вычислительном эксперименте, которая апробирована на ряде предприятий. В рамках работы методика была использована на примере г. Волгограда путем размещения новых промышленных предприятий в каждом районе города, в результате чего, получено, что Ворошиловский район является наиболее оптимальным районом для размещения альтернативных площадок под производство;

- выполнены натурные исследования загрязнения атмосферного воздуха и проведено сравнение полученных результатов с расчетными на основе балансового метода, ОНД-86 и модели имитационного моделирования, которое показало, что балансовый метод при большом числе источников дает соизмеримую оценку загрязнения.

Предлагаются следующие **рекомендации**:

- использовать результаты расчетов балансовым методом для оценки загрязнения воздушной среды перед составлением сводных проектов ПДВ;

- применять методику выбора альтернативных площадок на стадии предпроектных работ при составлении проектов ОВОС;

- использовать программу «БалансЗВ 1.0» при проведении расчетов балансовым методом для оценки загрязнения воздушной среды.

**Перспективы дальнейшей разработки темы:**

- проведение расчетов балансовым методом для оценки загрязнения воздушной среды в других крупных городах РФ с использованием программы «БалансЗВ 1.0»;

- применение полученных результатов расчетов балансовым методом для составления сводного проекта ПДВ в крупных городах РФ;

- применение методики выбора альтернативных площадок под новое промышленное строительство на стадии предпроектных работ при составлении проектов ОВОС в других крупных городах РФ;

- совершенствование балансового метода для оценки загрязнения воздушной среды путем интегрированного выбора в программе групп суммаций вредных веществ при общем исходном наборе источников;

- совершенствование определения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы районов путем включения в расчет 16 румбов направления ветра.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

**Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях:**

1. Азаров, В. Н. Основы балансового метода оценки поступления вредных веществ в район крупного города в рамках концепции биосферной совместимости [Текст] / В. Н. Азаров, Т. В. Донцова, Д. С. Хегай // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2015. - № 4. – С. 10-19.
2. Донцова, Т. В. О возможности использования балансового метода для сводных расчетов рассеивания выбросов в атмосферу [Текст] / Т. В. Донцова, М. А. Шкляр, Д. А. Николенко // Инженерный вестник Дона. - 2015. - № 1. - URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2770](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2770).
3. Азаров, В. Н. О балансах вредных веществ в атмосфере крупных городов [Электронный ресурс] / В. Н. Азаров, Т. В. Донцова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политемат. - 2014. - Вып. 1 (31). - URL: <http://vestnik.vgasu.ru/>.
4. Донцова, Т. В. О моделировании динамики переноса примесей в атмосфере городов [Текст] / Т. В. Донцова, С. С. Храпов, В. Н. Азаров // Альтернативная энергетика и экология. - 2013. - №12. – С. 67-72.
5. Азаров, В. Н. Концепции биосферной совместимости и экологического следа и их роль в достижении экологически устойчивого развития урбанизированных территорий [Текст] / В. Н. Азаров, Т. В. Донцова // Социология города. - 2013. - №1. – С. 39-45.
6. Донцова, Т. В. Достижение экологически устойчивого развития планеты как социального процесса в рамках концепций биосферной совместимости и экологического следа [Текст] / Т. В. Донцова, Е. А. Семёнова // Научные проблемы гуманитарных исследований. – Пенза, 2012. – Вып. 7. – С. 176-180.

**Свидетельство на программу для электронных вычислительных машин:**

7. Свид. 2016613400 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. БалансЗВ 1.0 / Т. В. Донцова, В. Н. Азаров, Д. С. Хегай; заявитель и правообладатель Т. В. Донцова. - №2016610863; заявл. 01.02.2016; опубл. 28.03.2016, Реестр программ для ЭВМ – 1 с.

**Отраслевые издания и материалы конференций:**

8. Азаров, В. Н. О законе распределения среднебалансовой концентрации загрязняющих веществ в атмосфере районов мегаполиса [Текст] / В. Н. Азаров, Т. В. Донцова, Д. С. Хегай // Материалы 4-й междунар. науч.-практич. конф. «Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах». – Брянск, 2015. – Т. 2. – С. 7-10.
9. Азаров, В. Н. О расчетах концентрации загрязняющих веществ в атмосфере городов балансовым методом [Электронный ресурс] / В. Н. Азаров, Т. В. Донцова, Д. С. Хегай // Интернет-вестник ВолгГАСУ. - 2015. - Вып. 4 (40). - Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>.
10. Донцова, Т. В. О законе распределения концентрации загрязняющих веществ в атмосфере городов балансовым методом [Текст] / Т. В. Донцова, Д. С. Хегай // Проблемы охраны производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. – Волгоград, 2015. - Вып. 6. – С. 119-122.
11. Донцова, Т. В. О влиянии розы ветров на межрайонный перенос загрязняющих веществ города Волгограда [Текст] / Т. В. Донцова, Л. Е. Сытник // Проблемы охраны

производственной и окружающей среды : сб. материалов и науч. тр. инженеров-экологов. – Волгоград, 2015. - Вып. 6. – С. 18-21.

12. Азаров, В. Н. Анализ динамики межрайонного переноса загрязнения атмосферы в Волгограде [Текст] / В.Н. Азаров, Т.В. Донцова, Д.А. Николенко // Материалы междунар. науч.-практич. конф. «Архитектура, градостроительство, историко-культурная и экологическая среда городов центральной России, Украины и Беларуси». – Брянск, 2014. – С. 367-371.

13. Донцова, Т. В. Оценка межрайонного переноса загрязняющих веществ в крупном промышленном городе Волгограде [Текст] / Т. В. Донцова // Биосферная совместимость : человек, регион, технологии. - 2013. - № 2. – С. 93-99.

14. Ильичев, В. А. Изъятие кислорода из биосферы как внешнее направление деятельности города [Текст] / В. А. Ильичев, В. Н. Азаров, Т. В. Донцова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2013. - № 1. – С. 20-29.

15. Азаров, В. Н. О расчете межрайонного переноса вредных веществ в атмосфере промышленных городов на примере г. Волгограда [Текст] / В. Н. Азаров, Т. В. Донцова // Материалы междунар. конф. «Биосферносовместимые города и поселения». – Брянск, 2012. – С. 163-168.

16. Донцова, Т. В. Практическая реализация расчетов гуманитарных балансов атмосферного воздуха [Текст] / Т. В. Донцова // XVII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области : тез. докл. – Волгоград, 2012. – С. 10-13.

17. Донцова, Т. В. Практическая реализация расчетов гуманитарных балансов атмосферного воздуха для оценки биосферной совместимости в промышленных городах [Текст] / Т. В. Донцова // Сб. работ всероссийского конкурса эколог. проектов молодых ученых и специалистов «Экологическая безопасность и природопользование: наука, инновации, управление». – Москва, 2012. – С. 55-68.

18. Маринин, Н. А. Оценка состояния воздушной среды города Волгограда [Текст] / Н. А. Маринин, Т. В. Донцова // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конф., посвящ. 60-летию образования вуза, 18-19 сент. 2012 г. – Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2012. – Ч. 2. – С. 92-94.

19. Донцова, Т. В. Взаимовлияние воздушных потоков районов города Волгограда и прилегающих к нему территорий с учетом выбросов от предприятий [Текст] / Т. В. Донцова, Л. М. Лаврентьева, В. С. Зауэрвейн // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конф., посвящ. 60-летию образования вуза, 18-19 сент. 2012 г., Волгоград : в 2 ч. – Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2012. – Ч. 1. – С. 83-87.

20. Глинянова, И. Ю. О расчете элементов ресурсной части балансов атмосферного воздуха и растительности Волгограда с позиции концепции биосферной совместимости [Текст] / И.Ю. Глинянова, Т.В. Донцова, М.М. Ботнарь // Проблемы охраны производственной и окружающей среды: сборник материалов и научных трудов инженеров-экологов. – Волгоград, 2012. - Вып. 4. – с. 28-31.

21. Донцова, Т. В. Устойчивое развитие планеты на примере концепций биосферной совместимости и экологического следа [Текст] / Т. В. Донцова // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии : сб. ст. XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2012. – С. 13-17.

Подписано в печать 17.01. 2017 г. Формат 60x90/16 Гарнитура Times New Roman.  
Объем 1,0 усл. п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 70.

---

Отпечатано с готового оригинал-макета Сектором оперативной полиграфии  
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».  
400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1.