

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

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

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

Азаров Валерий Николаевич

ВОЛГОГРАД 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
1.1 Обзор существующих методик оценки распространения загрязняющих веществ в воздушной среде.....	10
1.1.1 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД- 86).....	11
1.1.2 Математическое моделирование мезометеорологических процессов	16
1.1.3 Моделирование трансграничного загрязнения.....	21
1.1.4 Имитационное моделирование динамики загрязняющих примесей	22
1.1.5 Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере.....	27
1.2 Основные предпосылки к разработке балансового метода поступления загрязняющих веществ в район города на основе концепции биосферной совместимости	28
1.3 Задачи, поставленные к исследованию.....	36
1.4 Выводы по первой главе.....	37
ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕЖРАЙОННОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ БАЛАНСОВОГО МЕТОДА.....	39
2.1 Основные вводные понятия балансового метода	39
2.2 Теоретические положения математической модели межрайонного переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.....	41
2.3 Предлагаемые критерии экологической безопасности	47
2.3.1 Удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района.....	47
2.3.2 Среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы.....	48

2.4	Выводы по второй главе.....	49
ГЛАВА 3	ОЦЕНКА МЕЖРАЙОННОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ КРУПНОГО ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДА.....	50
3.1	Общие сведения о Волгограде.....	50
3.2	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.....	53
3.3	Режим ветра и особенности атмосферной циркуляции	59
3.4	Распределение повторяемости скоростей ветра.....	62
3.5	Расчет поступления загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по районам города.....	72
3.6	Определение удельной нагрузки загрязнения на атмосферу районов города.....	80
3.7	Построение среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы районов города.....	82
3.8	Выводы по третьей главе	101
ГЛАВА 4	ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	103
4.1	Разработка информационной модели программы для расчета функций распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы.....	103
4.2	Реализация программы для определения функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы.....	110
4.3	Методика выбора альтернативных площадок	113
4.4	Проведение натурных исследований и их сравнение с расчетными	121
4.5	Выводы по четвертой главе	124
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	125
	СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	128
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Сопроводительная документация.....	141
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Режим ветра г. Волгограда за 2010-2014 гг.....	146

ВВЕДЕНИЕ

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, Р.И. Оникула, Р.И. Сонькина, 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, А.М. Обухова, 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 градоустройства, 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 оценки 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 оценки 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 вредных веществ 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. (приложение А)).

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:

- основание 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 натуральных 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 (приложение А);

- 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» (приложение А).

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.

Работа выполнялась под руководством доктора технических наук, профессора В.Н. Азарова, которому автор выражает глубочайшую признательность.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Обзор существующих методик оценки распространения загрязняющих веществ в воздушной среде

Для оценки загрязнения воздуха существует много подходов. Нормативным документом в настоящее время является ОНД-86, который был введен 1 января 1987 г. С середины 70-х годов начали разрабатываться программы расчета загрязнения атмосферы (ПРЗА). На сегодняшний день используется целый ряд действующих программ, основанных на положениях ОНД-86, самая популярная – УПРЗА «Эколог», разработанная фирмой «Интеграл» (г. Санкт-Петербург). Все эти программы вычисляют максимальное значение концентрации и по оценке ряда европейских исследователей совместно с санкт-петербургскими учеными ошибка в расчете от реального положения может достигать 70%. В Российском гидрометеорологическом университете Санкт-Петербурга под руководством профессора Гаврилова А. С. изучают мезометеорологические модели. Ими разработан программный комплекс «ZONE» – средства мониторинга и прогноза загрязнения атмосферы. НИИ «Атмосфера» в Санкт-Петербурге ведет работу, посвященную исследованию взаимного атмосферного загрязнения в контексте трансграничного переноса загрязняющих веществ. Расчеты переноса проводятся с использованием Унифицированной модели ЕМЕП, разработанной в г. Осло Метеорологическим синтезирующим центром «Запад». В результате расчетов получают карты распределения вредных веществ за год от всех источников, входящих в сетку ЕМЕП. Сотрудниками лаборатории «Вычислительной физики и экологического моделирования» Волгоградского государственного университета разработана математическая модель нестационарного переноса примесей в воздушном бассейне. Ими разработаны программные комплексы «ЭкоПром» и «АтмоГИС». Иркутский государственный университет ведет работу по моделированию мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона озера Байкал. Ниже рассмотрены перечисленные методики более подробно.

1.1.1 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)

ОНД-86 является нормативным документом, введенным в действие 01.01.1987 г. Нормы предназначены для расчета приземных концентраций в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикального распределения концентраций. В ходе расчетов по методике моделирования распространения вещества в атмосферном воздухе определяются параметры:

- C_m – уровень максимальной концентрации вредного вещества, достигнутый при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях [мг/с];
- v_m – опасная скорость ветра [м/с];
- X_m – расстояние от источника выбросов, на котором может быть достигнута максимальная концентрация загрязняющего вещества при неблагоприятных метеорологических условиях [м].

Уровень максимальной концентрации вещества в атмосферном воздухе рассчитывается по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot \Gamma \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot (V_1 \cdot dT)^{\frac{1}{3}}}, \quad (1.1)$$

где A – безразмерный коэффициент, который зависит от температурной стратификации атмосферы;

M – масса выбрасываемого в атмосферу загрязняющего вещества в единицу времени [г/с];

F – безразмерный коэффициент, который учитывает скорость оседания загрязняющих веществ в воздухе;

m и n – коэффициенты, которые учитывают условия выхода ГВС (газовоздушной смеси) из источника;

H – высота источника над уровнем земли [м];

Γ – безразмерный коэффициент, который учитывает влияние рельефа местности;

dT – разность между температурой выбрасываемой смеси - ГВС (T_2) и температурой окружающего воздуха (T_0) [град];

V_1 – расход ГВС [м³/с].

$$V = \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \cdot O_{mo}, \quad (1.2)$$

где D – диаметр источника [м];

O_{mo} – средняя скорость выхода ГВС из устья источника [м/с].

Величина безразмерного коэффициента A принимается равной для территории:

- Средняя Азия южнее 40° с.ш. – 250;
- Сибирь и южнее 50° с.ш. – 200;
- Урал и районы от 50° до 52° с.ш. – 180;
- районы севернее 52° с.ш. – 160;
- Московская область – 140.

Величина безразмерного коэффициента F равна единице для всех газообразных загрязняющих веществ и для мелкодисперсных веществ. Значение F принимается равным двум для мелкодисперсных аэрозолей в случае наличия на производстве газоулавливающих аппаратов. Величина F равна трем для аэрозолей при отсутствии очистных сооружений.

Коэффициенты m и n зависят от параметров f и V_m , которые определяются следующим образом:

$$f = 1000 \cdot \frac{O_{mo} \cdot O_{mo} \cdot D}{H \cdot H \cdot dT}, \quad (1.3)$$

$$V_m = 0,65 \cdot (V_1 \cdot dT / H)^{\frac{1}{3}}, \quad (1.4)$$

$$m = \begin{cases} \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot f^{\frac{1}{2}} + 0,34 \cdot f^{\frac{1}{3}}}, & \text{если } f < 100 \\ \frac{1,47}{f^{\frac{1}{3}}}, & \text{если } f \geq 100 \end{cases}, \quad (1.5)$$

$$n = \begin{cases} 4,4 \cdot V_m, & \text{если } V_m < 1 \\ 0,532 \cdot V_m^2 - 2,13 \cdot V_m + 3,13, & \text{если } 0,5 \leq V_m < 2 \\ 1, & \text{если } V_m \geq 2 \end{cases}. \quad (1.6)$$

Если $f \geq 100$ и $V_m \geq 0,5$, то C_m считается по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot \Gamma \cdot F \cdot m \cdot n}{H^{\frac{4}{5}}} \cdot K, \quad (1.7)$$

где

$$K = \frac{1}{7,1 \cdot (O_{mo} \cdot V_m)^{\frac{1}{2}}}, \quad (1.8)$$

Если $f < 100$ и $V_m < 0,5$, то C_m считается по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m_1 \cdot \Gamma}{H^{\frac{7}{8}}}, \quad (1.9)$$

где $m_1 = 2,86m$, при $f < 100$, $V_m < 0,5$.

Расстояние X_m определяется по формуле:

$$X_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (1.10)$$

где коэффициент d при $f < 100$ находится по формуле:

$$d = \begin{cases} 2,48 \cdot \left(1 + 0,28 \cdot f^{\frac{1}{3}}\right), & \text{при } V_m < 0,5 \\ 4,95 \cdot V_m \cdot \left(1 + 0,28 \cdot f^{\frac{1}{3}}\right), & \text{при } 0,5 < V_m \leq 2. \\ 7 \cdot V_m^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 + 0,28 \cdot f^{\frac{1}{3}}\right), & \text{при } V_m > 2 \end{cases} \quad (1.11)$$

При $f > 100$ коэффициент d определяют по формуле:

$$d = 16 \cdot \begin{cases} 5,7, & V \leq 0,5_m \\ 11,4 \cdot V_m, & 0,5 < V_m \leq 2. \\ 16 \cdot V_m^{\frac{1}{3}}, & V_m > 2 \end{cases} \quad (1.12)$$

Скорость и направление ветра – основные метеорологические факторы, которые влияют на концентрацию загрязняющих веществ в воздухе [17, 18]. Опасная скорость ветра v_{\max} , при которой достигается максимальная концентрация вредного вещества C_m на расстоянии X_m от источника выбросов, рассчитывается по формулам:

если $f < 100$, то

$$v_{\max} = \begin{cases} 0,5, & \text{при } V_m < 0,5 \\ V_m, & \text{при } 0,5 < V_m \leq 2 \\ V_m \cdot \left(1 + 0,12 \cdot f^{\frac{1}{2}}\right), & \text{при } V_m > 2 \end{cases}, \quad (1.13)$$

если $f \geq 100$, то

$$v_{\max} = \begin{cases} 0,5, & \text{при } V_m < 0,5 \\ V_m, & \text{при } 0,5 < V_m \leq 2. \\ 2,2 \cdot V_m, & \text{при } V_m > 2 \end{cases} \quad (1.14)$$

Приземная концентрация вредных веществ C в воздухе при опасной скорости ветра v_m на различных расстояниях X от источника выбросов находится по формуле:

$$C = S_1 \cdot C_m, \quad (1.15)$$

где S_1 , - безразмерная величина, которая зависит от отношения X / X_m :

$$S_1 = \begin{cases} 3 \cdot \left(\frac{X}{X_m}\right)^4 - 8 \cdot \left(\frac{X}{X_m}\right)^3 + 6 \cdot \left(\frac{X}{X_m}\right)^2, & \text{при } \left(\frac{X}{X_m}\right) \leq 1 \\ \frac{1,13}{\left(0,13 \cdot \left(\frac{X}{X_m}\right)^2 + 1\right)}, & \text{при } 1 < \left(\frac{X}{X_m}\right) \leq 8 \\ \frac{X}{X_m}, & \text{при } F \leq 1,5; \left(\frac{X}{X_m}\right) > 8 \\ \frac{1}{\left(3,58 \cdot \left(\frac{X}{X_m}\right)^2 - 35,2 \cdot \left(\frac{X}{X_m}\right) + 120\right)}, & \text{при } F \leq 1,5; \left(\frac{X}{X_m}\right) > 8 \\ \frac{1}{\left(0,1 \cdot \left(\frac{X}{X_m}\right)^2 + 2,17 \cdot \left(\frac{X}{X_m}\right) - 17,8\right)}, & \text{при } F > 1,5; \left(\frac{X}{X_m}\right) > 8 \end{cases} \quad (1.16)$$

В случае низких и приземных источников загрязнения ($2 \leq H < 10$), S_1 пересчитывается по формуле:

$$S_1 = 0,125(10 - H) \cdot (H - 2) \cdot S. \quad (1.17)$$

Концентрация вредного вещества в атмосферном воздухе на расстоянии X от источника загрязнения при скорости ветра $v \neq v_{\max}$ определяется по формуле:

$$C = S_2 \cdot C_m, \quad (1.18)$$

$$S_2 = \frac{1}{4 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4}, \quad (1.19)$$

где

$$t_y = \begin{cases} \frac{v}{X_2}, & \text{при } v \leq 5; \\ \frac{5}{X_2}, & \text{при } v > 5. \end{cases} \quad (1.20)$$

На рисунке 1.1 приведен график зависимости концентрации загрязняющего вещества в атмосферном воздухе от расстояния от источника выбросов.

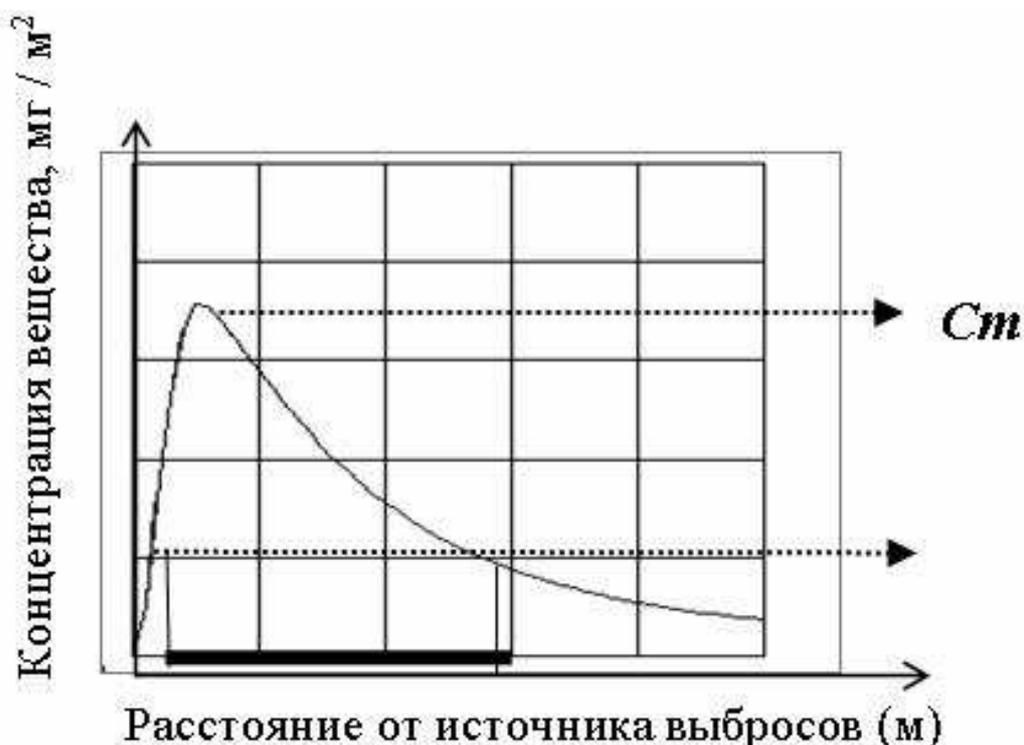


Рисунок 1.1 – Зависимость концентрации вещества от расстояния от источника выбросов

На основе ОНД-86 начали разрабатываться программы расчета загрязнения атмосферы (ПРЗА) с середины семидесятых годов. Программы расчета, которые успешно прошли тестирование в ГГО им. А.И. Воейкова, относятся к классу унифицированных ПРЗА (или УПРЗА). УПРЗА облегчает проводить расчет концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. При этом необходимо задать климатические параметры площади расположения промышленного объекта, охарактеризовать состояние источников загрязнения воздуха, определить расчетный многоугольник, создать поиск максимума по направлению и скорости ветра. В результате пользователь получает в заданных расчетных точках значения максимальных концентраций загрязняющих веществ и построенную карту предприятия с уровнями загрязнения атмосферы. В программе также определяются опасные скорости и направления ветра.

На сегодняшний день используется целый ряд действующих УПРЗА, основанных на положениях ОНД-86 и рекомендованных ГГО им. А.И. Воейкова и Минприроды России. Самая популярная – УПРЗА «Эколог», разработанная фирмой «Интеграл» (г. Санкт-Петербург).

Вообще говоря, данная методика дает оценку максимальной концентрации в приземном слое атмосферы города при наиболее опасной скорости ветра и для

решения задач переноса не предназначена. Например, при оценке влияния большого числа источников выбросов в атмосферу может оказаться, что наибольшее загрязнение в какой-то из точек будет достигаться не при наиболее опасной скорости ветра. Основная проблема действующего нормативного документа состоит в том, что хозяйствующие субъекты, имеющие источники выбросов, разрабатывают проекты нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) только на собственные источники выбросов вредных веществ и всего 1% крупных городов составляют сводные проекты ПДВ. В результате этого отсутствуют данные по фоновому загрязнению атмосферного воздуха, которые должны определяться в соответствии с п. 7.6. ОНД-86 по результатам сводных расчетов загрязнения атмосферы города. С целью сохранения благоприятного качества атмосферного воздуха, а также для уменьшения и контроля выбросов в окружающую среду путем установления нормативов предельно допустимых выбросов на источниках загрязнения, было бы целесообразно разработать сводный проект ПДВ загрязняющих веществ в атмосферный воздух [40]. Еще одной наиболее важной проблемой является отсутствие должных постов наблюдения. Учитывая их достаточно высокую стоимость необходима их оптимизация, особенно в условиях крупных городов. Из-за отсутствия сводных расчетов, а также должного количества постов наблюдений в некоторых городах по ряду загрязняющих веществ, при проектировании ОВОС фон не учитывается. Поэтому невозможно объективно оценить угрозу окружающей среде для того, чтобы принять предпроектные решения по выбору альтернативных площадок под новое промышленное строительство.

1.1.2 Математическое моделирование мезометеорологических процессов

Гаврилов А.С. рассмотрел основные вопросы применения методов математического моделирования [27, 99] при теоретическом исследовании атмосферных процессов мезометеорологического диапазона масштабов. Основное внимание сосредоточено на физических аспектах вывода системы уравнений для описания мезометеорологических процессов, ее замыкании, параметризации

различных физических процессов и численной реализации мезометеорологических моделей на ЭВМ.

Подход при создании математических моделей атмосферных процессов основывается на решении комплексной проблемы, включающей в себя три одинаково важные задачи: формулировку физико-математической модели, составление численного алгоритма и реализацию последнего на ЭВМ. Накопленный опыт создания математических моделей, основанных на интегрировании нелинейной системы уравнений гидротермодинамики атмосферы, убедительно показал, что без взаимной увязки этих трех задач трудно рассчитывать на успех в создании оптимальной математической модели, т. е. такой модели, которая дает наилучший в определенном смысле результат с минимальными затратами ресурсов ЭВМ: Последний критерий является уже технико-экономическим и не только предопределяет широту внедрения в народное хозяйство результатов исследований, но и во многом собственно возможность проведения этих исследований [27, 28].

Математическое моделирование мезометеорологических процессов основывается на следующей системе уравнений [27]:

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + l\bar{v} + F_{Tx}, \quad (1.21)$$

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} - l\bar{u} + F_{Ty}, \quad (1.22)$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \beta\bar{\theta} = 0, \quad (1.23)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{\omega}}{\partial z} = 0, \quad (1.24)$$

$$\frac{d\bar{\theta}}{dt} = \frac{L}{c_p} \Phi + \varepsilon_R - (\bar{\omega} + \tilde{\omega})\gamma_\theta + F_H, \quad (1.25)$$

$$\frac{d\bar{q}}{dt} = -\Phi - (\bar{\omega} + \tilde{\omega})\gamma_q + F_Q, \quad (1.26)$$

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (u_s + \bar{u}) \frac{\partial}{\partial x} + (v_s + \bar{v}) \frac{\partial}{\partial y} + (\bar{\omega} + \tilde{\omega}) \frac{\partial}{\partial z}, \quad (1.27)$$

где $l = 2\omega \sin \varphi$ – параметр Кориолиса;

p – давление;

ρ – плотность воздуха;

β – параметр плавучести;

c_p – его теплоемкость при постоянном давлении;

F_{Tx} , F_{Ty} – силы турбулентного терния (дивергенция от соответствующих

тензоров напряжений);

L – удельная теплота парообразования;

Φ – скорость образования жидкой фазы в атмосфере;

ε_R – радиационный приток тепла;

F_H и F_Q – турбулентные притоки тепла и водяного пара;

ω – круговая частота;

остальные члены в уравнениях отражают влияние крупномасштабных полей горизонтальных компонент скорости \tilde{u} , \tilde{v} , температуры $\tilde{\theta}$ и массовой доли водяного пара \tilde{q} .

Данная система уравнений принимает такой вид с использованием приближений (1.28) и с заданием фоновых полей в виде (1.29), (1.30), (1.31) и (1.32).

$$\left| \frac{\partial \bar{f}}{\partial x} \right| \gg \left| \frac{\partial \tilde{f}}{\partial x} \right|, \quad \left| \frac{\partial \bar{f}}{\partial y} \right| \gg \left| \frac{\partial \tilde{f}}{\partial y} \right|, \quad (1.28)$$

где $f = \tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{\theta}, \tilde{q}$.

В качестве наиболее простого способа задания фоновых полей горизонтальных компонент скорости ветра могут быть использованы геострофические соотношения:

$$\tilde{u} = u_g = -\frac{1}{\tilde{\rho}l} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial y}, \quad (1.29)$$

$$\tilde{v} = v_g = \frac{1}{\tilde{\rho}l} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x}, \quad (1.30)$$

а для макрополей температуры и влажности – линейные приближения

$$\tilde{\theta} = \tilde{\theta}_H + \gamma_\theta (z - z_H), \quad (1.31)$$

$$\tilde{q} = \tilde{q}_H + \gamma_q (z - z_H), \quad (1.32)$$

где $\tilde{\theta}_H$ и \tilde{q}_H – фоновые значения потенциальной температуры и массовой доли водяного пара на некотором уровне z_H в свободной атмосфере;

γ_θ и γ_q – соответствующие градиенты этих величин в той же области.

В качестве граничных условий на верхней границе расчетной области z_H , располагаемой в свободной атмосфере, принимается условие затухания всех мезовозмущений:

$$\text{при } z = z_H \quad \bar{u} = \bar{v} = \bar{\theta} = \bar{q} = \bar{p} = 0. \quad (1.33)$$

На подстилающей поверхности, точнее на некотором уровне шероховатости z_0 , потребуем выполнения условий прилипания и непротекания воздуха через поверхность:

$$\text{при } z = z_0 \quad \bar{u} + u_g = 0, \quad \bar{v} + v_g = 0, \quad \bar{\omega} = 0. \quad (1.34)$$

Наиболее простой случай нижних граничных условий для температуры и влажности когда они известны и заданы

$$\begin{aligned} \text{при } z = z_0 \quad \bar{\theta}(x, y, z_0, t) &= \theta_0(x, y, t), \\ \bar{q}(x, y, z_0, t) &= q_0(x, y, t). \end{aligned} \quad (1.35)$$

Более сложный способ задания нижних граничных условий – это использование уравнения теплового баланса подстилающей поверхности

$$\rho \cdot c_p \cdot H_0 + L \cdot E_0 + B_0 = R_0, \quad (1.36)$$

где $\rho \cdot c_p \cdot H_0$, E_0 – турбулентные потоки тепла и водяного пара в приземном слое;

B_0 – поток тепла в почву;

R_0 – радиационный баланс подстилающей поверхности.

Условие (1.36) должно быть дополнено соотношением для расчета B_0 , R_0 , а также влажности (или ее градиента) в приземном слое. Корректное использование этого соотношения требует создания специальной дополнительной модели верхнего деятельного слоя почвы.

В качестве граничных условий на боковых границах расчетной области $[-X, X; -Y, Y]$ принимаются условия:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x} = \frac{\partial \bar{q}}{\partial x} = 0, \quad x = \pm X, \quad (1.37)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial y} = \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} = 0, \quad y = \pm Y. \quad (1.38)$$

Наиболее сложная проблема в формулировке краевых условий – это задание начальных полей. Для этой цели необходима сеть наблюдательных пунктов с высоким пространственным разрешением. Реально такая сеть навряд ли когда-нибудь будет создана. По этой причине возникает необходимость построения специального вычислительного алгоритма, который в результате усвоения всей доступной, в том числе и косвенной, информации, восстанавливал бы диагностические поля \bar{u} , \bar{v} , $\bar{\theta}$ и \bar{q} таким образом, чтобы они, во-первых, не противоречили уравнениям гидротермодинамики атмосферы, во-вторых, удовлетворяли краевым условиям и, в-третьих, соответствовали бы тем прямым и косвенным данным наблюдений, которые имеются в наличии.

Проведенный анализ системы уравнений мезометеорологии и краевых условий позволяет следующим образом сформулировать основную задачу математического моделирования мезометеорологических процессов: это восстановление пространственной и временной структуры полей температуры, влажности и скорости ветра, а также статистических характеристик их турбулентных флуктуаций при известных свойствах подстилающей поверхности и заданных фоновых полях метеовеличин.

Для построения оптимальной математической модели важно произвести правильную предварительную типизацию атмосферных процессов. Среди многочисленных возможных способов такой типизации для решения этой проблемы наилучшим образом подходит типизация атмосферных движений по их пространственно-временным масштабам. Известно, что атмосферные процессы – это суперпозиция колебаний в весьма широком диапазоне временных и пространственных масштабов. Уравнения гидротермодинамики атмосферы – основной базис, на котором строится любая математическая модель атмосферы – с теоретической точки зрения допустимо использовать для описания всего спектра атмосферных движений, однако практически это оказывается невозможным, да и в этом нет особой необходимости.

Численный алгоритм физико-математической модели реализован на ЭВМ в программном комплексе «ZONE», предназначенном для прогноза загрязнения атмосферы. Математическое моделирование мезометеорологических процессов дает общее представление в отличие от законодательно закрепленной методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в

выбросах предприятий. Основной трудностью, препятствующей широкому практическому внедрению математических моделей мезо процессов, является проблема получения полей метеоэлементов, необходимых в качестве начальных условий для интегрирования системы уравнений гидротермодинамики атмосферы [27].

1.1.3 Моделирование трансграничного загрязнения

НИИ «Атмосфера» ведет работу, посвященную исследованию взаимного атмосферного загрязнения в контексте трансграничного переноса загрязняющих веществ. Расчеты переноса проводятся с использованием Унифицированной модели ЕМЕП по сетке 50x50 км², которая разработана в г. Осло Метеорологическим синтезирующим центром «Запад» [77]. Исходной информацией для моделирования атмосферного переноса соединений серы и азота являются эмиссии, метеорологические поля и типы подстилающей поверхности. Данные об эмиссии составляются на базе информации о выбросах вредных веществ из базы данных Центра по кадастрам и прогнозам выбросов (ЦКПВ) и информации о выбросах РФ, полученных на основе Обзоров выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В результате выполняются расчеты концентраций выпадений от источников, которые входят в сетку ЕМЕП, и от каждого источника загрязнения региона. В итоге получают карты распределения концентраций выпадений загрязняющих веществ.

Данная методика разработана для крупных объектов, таких как отдельные субъекты федеральных округов либо европейские страны. Применять ее для районов крупных городов достаточно сложно.

1.1.4 Имитационное моделирование динамики загрязняющих примесей

В основу имитационного моделирования динамики вредностей закладывается математическая модель нестационарного переноса примесей в приземном слое атмосферы. Данная модель решает разнообразные задачи динамики распространения вредных веществ на основе численного интегрирования нестационарных уравнений переноса, учитывая внешние факторы (рельеф местности, метеоусловия, химические превращения и др.). Математическое моделирование динамики загрязняющих примесей позволяет вести учет всех влияющих внешних факторов путем введения требуемых параметров в систему математических уравнений. С помощью компьютерных программ строятся информационно-математические модели территорий с развитой промышленностью [59, 94 – 97].

Математическая модель нестационарного переноса примесей в воздушном бассейне разработана в лаборатории “Вычислительной физики и экологического моделирования” Волгоградского государственного университета.

Компьютерная система состоит из следующих основных компонентов:

1) Модель приземного слоя атмосферы, учитывающая метеорологические и климатические параметры: направление и сила ветра, температура воздуха и т.п. Уравнение диффузии имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} = & - \frac{\partial}{\partial x}(u\rho) - \frac{\partial}{\partial y}(v\rho) - \frac{\partial}{\partial z}(w\rho) + \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(D \frac{\partial \rho}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D \frac{\partial \rho}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial \rho}{\partial z}\right) + Q - \beta\rho, \end{aligned} \quad (1.39)$$

где $u \equiv v_x$, $v \equiv v_y$, $w \equiv v_z$ – скорость ветра в x , y и z направлениях соответственно [м/с];

D – коэффициент турбулентной диффузии у земли;

K – коэффициент турбулентной диффузии в вертикальном направлении (в общем случае $K \neq D$);

Q – сумма источников примеси;

β – параметр, который описывает “вымывание” примеси из атмосферного воздуха;

ρ – плотность примеси [мг/м³].

Вся область интегрирования покрывается фиксированной в пространстве (эйлеровой) расчетной сеткой с прямоугольными ячейками со сторонами в декартовой системе координат Δx , Δy и Δz . Направление ветра задается в градусах.

2) Модель динамики загрязняющих примесей.

Расчет динамики распространения примесей учитывает основные физические факторы, определяющие этот процесс: ветровой снос, диффузионный перенос, осаждение на поверхность земли и повторное загрязнение. Величины параметров турбулентной диффузии задаются на основе модели ОНД-86 [76]. Ветровой снос и диффузионное расплывание можно определить на основе математической модели с помощью квазилинейного дифференциального уравнения в частных производных:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla[\bar{C}(\bar{r}, t)\rho] + \nabla(D(\bar{r}, t)\nabla\rho) + \bar{Q}(\bar{r}, t) - \beta(\bar{r}, t)\rho, \quad (1.40)$$

где t – время [сек.];

\bar{r} – радиус-вектор;

ρ – плотность примеси [мг/м³];

\bar{C} – вектор скорости ветра;

$\bar{D}(\bar{r}, t)$ – тензор турбулентной диффузии;

$\bar{Q}(\bar{r}, t)$ – сумма источников примеси;

β – параметр, который описывает “вымывание” примеси из атмосферы;

$\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$ – дифференциальный векторный оператор набла.

Сложность исследования динамики распространения пассивных (не испытывающих превращений) примесей связана с многомерностью, неоднородностью и нестационарностью изучаемых систем. Для реального прогнозирования необходимо исходить из трехмерной модели, что связано не только с рельефом местности и городскими застройками, но и с взаимообменом подстилающей поверхности, приземного слоя атмосферы и более высоких слоев атмосферы за счет конвективного переноса.

3) Графический и математический интерфейс обработки и визуализации информации.

Основой графического интерфейса является электронная карта районов города. Электронная карта включает набор слайдов разного разрешения на фоне которых отображаются распределения изолиний концентрации определенной

примеси. На фоне карты в динамическом режиме изображается пространственное распределение поверхностной плотности выбранной загрязняющей примеси.

4) База данных источников загрязнений, к которым относится высота, координаты, химический состав и объем выбросов, распределенные источники. База данных формируется согласно ОНД-86 [76].

Предположим, что труба имеет высоту H_0 , ее радиус на выходе примеси – R_0 , скорость выноса из жерла трубы – ω_0 , температура атмосферы – T_a и температура примеси – $T_a + \Delta T$. В данном случае, эффективная добавка ΔH к высоте трубы H_0 ($H = H_0 + \Delta H$) удовлетворительно аппроксимируется соотношением:

$$\Delta H = 3.75 \frac{\omega_0 R_0}{C} + 1.6 \frac{g \Delta T}{T_a C^3} \pi \omega_0 R_0^2. \quad (1.41)$$

Выброшенная из трубы примесь попадает в приземный слой на некотором удалении от трубы, величина которого зависит от силы и направления ветра, высоты трубы и толщины пограничного приземного слоя атмосферы, коэффициента диффузии и других параметров задачи. При этом примесь успевает продиффундировать поперек направления ветра [66, 68, 93].

Для описания этих эффектов введем в плоскости (x, y) систему декартовых координат (ξ, η) , начало которой локализовано на источнике примеси, а ось ξ направлена по ветру. По поперечной к направлению ветра координате η имеет место диффузия, которая за время $t(\xi) = \xi/C$ превращает начальное “точечное” распределение $Q = Q_0 \delta(\xi) \delta(\eta)$ (δ – дельта-функция Дирака) в нормальное по η :

$$Q \propto \frac{f(\xi)}{2\sqrt{\pi D \xi / C}} \exp(-\eta^2 C / 4D\xi). \quad (1.42)$$

Такой же процесс диффузии имеется и вдоль направления ветра. Однако из-за неоднородности по высоте ветрового сноса распределение по координате ξ будет существенно отличаться от нормального. Результаты многочисленных работ на эту тему свидетельствуют, что удовлетворительная точность достигается при следующей аппроксимации:

$$f(\xi) \propto \xi^2 \theta(\xi) \exp(-\xi^2 / \xi_m^2), \quad (1.43)$$

где $\theta(\xi)$ – функция Хевисайда. Нормировка распределений (1.42) и (1.43) приводит к результату:

$$Q = \frac{2Q_0 \sqrt{C}}{\pi \sqrt{D} \xi_m^3} \xi^{3/2} \exp(-\xi^2 / \xi_m^2 - \eta^2 C / 4D\xi), \quad (1.44)$$

где Q_0 – мощность источника (кг/м²сек).

Величину ξ_m с учетом зависимости C и D от вертикальной координаты z в приземном слое атмосферы ($C \sim z_{0.2}$, $D \sim z$) можно (после усреднения по толщине приземного слоя) представить в виде:

$$\xi_m = \xi_m^{(0)} \cong 0.26 \frac{CL^2}{D} \left(\frac{H}{L} \right)^{1.2}, \quad (1.45)$$

где L – толщина приземного слоя атмосферы ($L \sim 50 — 100$ м).

Если рассматриваемая примесь не газообразна и, следовательно, ее частицы не обладают “плавучестью” то следует учесть эффект ускоренного выпадения этой примеси на землю [103, 106]. Вводя для этого стоксову скорость падения отдельной частицы w_1 , имеем:

$$\xi_m = \frac{\xi_m^{(0)}}{1 + 0.28w_1L/D}. \quad (1.46)$$

В зависимости от величины и знака вертикального градиента температуры, исходящая из локализованных и распределенных источников примесь может либо “всплыть” в верхние слои атмосферы (турбулентная конвекция), либо прижиматься к земле и накапливаться в приземном слое толщиной порядка высоты деревьев и зданий. И в первом и во втором случаях соответствующие эффекты можно описать с помощью модельного параметра β ($\beta_2 > 0$, $\beta_3 > 0$ соответственно). Однако второй из указанных факторов, как наиболее опасный в экологическом отношении, необходимо учесть с помощью локального уравнения “накопления”:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \beta_3 \rho - \delta q, \quad (1.47)$$

где q – локальная плотность накапливающейся в приземном слое атмосферы примеси;

δ – параметр, описывающий полное “вымывание” накопленной примеси.

Граничные условия

Для выделения конкретного решения необходимо задание дополнительных условий, гарантирующих единственность решения. Эти условия определяются физической постановкой задачи и могут быть разбиты на две группы:

- краевые (граничные) условия;
- начальные условия.

Краевые условия определяются способом диффузионного обмена на границе рассматриваемой области и бывают четырех видов:

1. Краевые условия 1-го рода – заключаются в задании концентрации на границе области. Заменяет действие источников вне расчетной области:

$$\rho(t, \vec{r})|_S = \varphi(t). \quad (1.48)$$

2. Краевые условия 2-го рода – заключаются в задании диффузионного потока на границе области:

$$\left. \frac{\partial \rho(t, \vec{r})}{\partial \vec{n}} \right|_S = \varphi(t), \quad (1.49)$$

где \vec{n} – единичный вектор нормали к поверхности.

3. Краевые условия 3-го рода – заключаются в задании линейной комбинации функции ρ и её нормальной производной $\partial\rho/\partial\vec{n}$ на границе области.

$$\alpha \rho(t, \vec{r})|_S + \beta \left. \frac{\partial \rho(t, \vec{r})}{\partial \vec{n}} \right|_S = \varphi(t), \quad (1.50)$$

где α, β – произвольные постоянные.

4. Краевые условия 4-го рода – заключаются в задании на одной части границе условий 1-го рода, а на другой условий 2-го рода.

Начальные условия заключаются в задании концентрации примеси в расчетной области в момент времени $t=0$. С физической точки зрения начальные условия учитывают действие источников действовавших до момента времени $t=0$.

При использовании граничных условий второго типа отсутствует диффузионный поток вещества через границы расчетной области. Это может приводить к накоплению примесей в области расчета в отсутствие ветрового переноса. Поэтому более корректными являются граничные условия первого типа [96].

Математическое моделирование динамики загрязняющих примесей позволяет вести учет всех влияющих внешних факторов (метеоусловия, ветер, рельеф местности, солнечная радиация, химические и фотохимические превращения и т.п.) на “математическом уровне”, т.е. путем введения требуемых факторов в систему математических уравнений. Программный комплекс «ЭкоПром» предназначен для компьютерного моделирования процесса распространения загрязняющих примесей от промышленных источников, расположенных на территории предприятия. В основе «ЭкоПром» лежат геоинформационная система GeoMapBuilder и математическая модель для описания нестационарной трехмерной динамики загрязнений, в том числе от

нестационарных источников для конкретного задаваемого физического состояния атмосферы. В предлагаемом подходе используется прямое численное интегрирование точных уравнений переноса примеси в атмосфере с учетом основных физических факторов, что приближает данный метод к проведению вычислительного эксперимента. Программный комплекс «АтмоГИС» [69] предназначен для решения различных задач динамики распространения загрязняющих примесей и аэрозолей в приземном слое на основе численного интегрирования нестационарных уравнений переноса с учетом внешних факторов. Результатом моделирования являются карты распределения загрязняющих веществ в атмосфере. Программный комплекс может быть использован для прогнозирования последствий аварийных ситуаций на промышленных предприятиях.

1.1.5 Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере

Иркутский государственный университет ведет работу по моделированию мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона озера Байкал. Для изучения атмосферных процессов регионального масштаба рассматриваются гидростатические трехмерные модели в условиях термической и орографической неоднородностей местности [8, 15, 73]. Для описания мезомасштабных процессов предложены негидростатические трехмерные модели, основанные на наиболее полных уравнениях геофизической гидродинамики (негидростатичность, учет сжимаемости и всех составляющих силы Кориолиса) [7, 9 – 13, 72]. Также предложен новый подход к моделированию переноса и осаждения примесей, выбрасываемых различными промышленными источниками. Модели работают в диагностическом и прогностическом вариантах. В результате получаемая информация используется проектировщиками и руководителями промышленных комплексов для обоснования выбора вариантов модернизации объектов, оправдываемости ввода в строй очистного оборудования, выбора площадки для ввода в строй новых блоков; городскими властями для принятия оптимальных

мер; врачами для выявления причин специфического заболевания населения; дендрологами для установления зон потенциальных условий поражения растительности; экспериментаторами для выбора обоснованных точек наблюдения. Предлагаемые модели и методы могут быть использованы для экологической экспертизы загрязнения окружающей среды действующими и проектируемыми промышленными объектами.

1.2 Основные предпосылки к разработке балансового метода поступления загрязняющих веществ в район города на основе концепции биосферной совместимости

В настоящее время человечество живет расточительно. Наша планета способна поддерживать разнообразие видов, и в том числе человека, при этом существуют рамки ограничения: сегодня мы потребляем значительно больше, чем экосистема Земли может произвести. Экологический дефицит растет с каждым годом. По сравнению с 1960-ми годами в начале XXI столетия количество природных бедствий увеличилось более чем в 3 раза [1, 45]. Для будущих поколений стоит огромная угроза благосостоянию живых систем планеты. Загрязнение Биосферы результатами человеческой деятельности представляет собой глобальную проблему мирового масштаба. Факт признания ментальностью человечества приоритета Биосферы над действиями людей не представляется полной фантастикой, и многие страны, в том числе и в Европе, уже встали на этот путь и имеют весьма серьезное законодательство по восстановлению природы. Решение проблемы устойчивого развития изначально подразумевает взаимодействие с природой, сохранение ее «самоподдерживающего» состояния и антропогенная нагрузка не должна превышать этого предела. Экономической составляющей данного подхода может являться высокая цена на продукты природы совместно с затратами на воспроизводство. При этом, правительство должно направлять полученные доходы на ликвидацию причиненного ущерба природе. И речь идет в целом о человечестве на Земном шаре, а не об отдельной отрасли, каком-либо городе, предприятии и т.п., что бессмысленно. Города и

промышленность в них – источники загрязнения, поэтому начинать заботиться о Биосфере надо именно с городских поселений [49, 56].

Экономическое и социальное развитие в условиях устойчивого развития должно быть направлено на то, чтобы удовлетворение наших потребностей не оказало негативного влияния на возможности удовлетворения потребностей будущих поколений. В 1990 г. Mathis Wackernagel и William Rees (University of British Columbia) создали концепцию экологического следа [87]. Экологический след соответствует площади биологически продуктивной территории и акватории, необходимой для производства ресурсов, потребляемых отдельными лицами, группами населения или при осуществлении той или иной деятельности, а также для ассимиляции образующихся отходов с учетом преобладающей технологии и подходов к использованию ресурсов. Эта площадь выражается в глобальных гектарах, то есть гектарах территории или акватории, имеющей среднемировую биологическую продуктивность [46].

Общий экологический след популяции рассчитывается по формуле [87]:

$$F_p = \sum_{i=1}^n a_i, \quad (1.51)$$

где a_i – экологический след элемента.

экологический след a_i рассчитывается по формуле [58]:

$$a_i = \frac{c_i}{y_i \cdot F \cdot E_f}, \quad (1.52)$$

где c_i – годовое потребление элемента;

y_i – продуктивность земли (кг/га);

F – фактор урожайности;

E_f – эквивалентный фактор.

Экологический след – отрицательный экологический показатель. При этом выделяется другой показатель: биологический потенциал – это возможность биосферы Земли производить возобновляемые ресурсы. Его следует считать, как положительный экологический показатель.

Биологический потенциал определяется по формуле [87]:

$$БП = S \cdot F \cdot E_f, \quad (1.53)$$

где S – площадь.

Данное выражение показывает потенциальную возможность площади земли производить возобновляемые ресурсы.

Таким образом, экологический след – это ресурсы, которые необходимы для удовлетворения потребностей человечества (спрос), а биологический потенциал – это возможности Земли создать необходимые ресурсы (предложение). Данные показатели следует оценивать комплексно, то есть по их взаимной связи. В результате можно увидеть, является страна (город, регион) «экологическим должником» или «экологическим донором». Концепция экологического следа относительно новая, однако, она приобретает высокую значимость в решении глобальных международных проблем охраны окружающей среды, при подготовке национальных и региональных программ устойчивого развития, а также при развитии экологической ответственности. По результатам исследований [101, 102, 105] США, Объединенные Арабские Эмираты, Кувейт и высокоразвитые государства Европейского Союза оставляют наибольший экологический след. Финляндия и Швеция обладают наибольшим экологическим резервом, а Испания и Греция имеют наибольший экологический дефицит среди стран ЕС. Литва, Латвия, Эстония, Россия и Казахстан имеют положительный экологический баланс, в то время как экологический след Украины, Румынии и Белоруссии уже несколько превышает их биологический потенциал. При этом, можно отметить один недостаток: экологический след является интегральным показателем, отражающим устойчивое развитие территории только условно, так как он не отражает социальные и экономические составляющие.

Российская академия архитектуры и строительных наук ведет исследование по названию «Создание биосферосовместимых поселений». Руководитель данного направления В.А. Ильичев разрабатывает принципиально новый подход к градостроительству, ориентированный на создании биосферно-совместимых поселений. Основная идея парадигмы: достигнуть единения города и окружающей природы, так как человек является ее частью и не может без нее существовать. Вместо традиционных критериев и механизмов регрессивного и деградационного 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. Критерий реализации концепции биосферной совместимости – уровень развития «человеческого потенциала», основывающийся на гармонии человека и природы [32, 52, 56, 57].

Принципиальные основы преобразования поселения в биосферосовместимый и развивающий человека заложены в матрице (рисунок 1.2), представленной в виде структуры системы управления и планирования, которая описывает жизнь города, содержит параметры результативности работы города в целом и его служб, устанавливает приоритеты и иерархию понятий, позволяет найти слабые места в организации жизни города и рассчитать уровень симбиоза города и природы [25, 48].

<p>1 Единение города и окружающей Природы, Единство Сознания</p>	<p>4 Законодательное закрепление Гуманитарного Баланса Биотехносферы</p> <p>или поэтапного перехода к нему: земля, вода, воздух, энергия и социальные критерии</p>	<p>7 Функции города, удовлетворяющие потребности человека:</p> <p>жизнеобеспечение, развлечения, власть, милосердие, образование, творчество, связь с природой</p>
<p>2 Сопоставление внешнего (изъятие ресурсов, вбрасывание отходов) и внутреннего (человеческий потенциал) направлений деятельности города</p>	<p>5 Знания, как основа управления городом:</p> <p>Профессионализм, интеллект, информация, предложения по развитию, по устранению факторов, мешающих развитию.</p> <p>Итог: Программы превращения патологии в ресурс развития</p>	<p>8 Надежность,</p> <p>“Конституция” города и другие законы, традиции этносов, советы старейшин.</p> <p>Результат, контроль, баланс, деловитость</p>
<p>3 Гуманитарный Баланс Биотехносферы, т.е. тройственные балансы 1) населения, 2) мест удовлетворения потребностей населения, 3) Потенциала Жизни Биосферы</p>	<p>6 Прогресс,</p> <p>сравнение планируемых природных факторов с фактическими, уровень человеческого потенциала</p>	<p>9 Познание,</p> <p>как основа для политики, силовых структур, взаимодействий со всеми, праздников, стиля города</p>

Рисунок 1.2 – Матрица преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека

Количественная оценка реализации принципа биосферной совместимости вытекает из расчета баланса биосферы и техносферы для района и определяется нормируемым соотношением потребностей человека и уровнем развития производительной силы – чистой части биосферы [79]. Балансы биотехносферы регионов – это тройственные балансы населения, мест удовлетворения потребностей населения и потенциала биосферы регионов, которые позволяют гармонично развивать биосферу, людей и техносферу района, страны и планеты, согласовать их количественные и качественные изменения, предотвратить кризисы и катастрофы [53, 60]. В качестве расчетных параметров балансов биотехносферы регионов предлагается применять [43, 44, 48]:

- единица Техносферы – место удовлетворения потребностей человека, которое создано людьми (рабочее место, место отдыха и пр.);

- единица Биосферы – место Биосферы, потенциал жизни которого соответствует единице Техносферы, т.е. одному месту удовлетворения потребностей человека;

- единица Биотехносферы – единица Биосферы, которая включает единицу Техносферы.

Гуманитарный баланс Биотехносферы – это система уравнений, устанавливающая количественные нормативные соотношения между:

а) потенциалом Жизни Биосферы, численностью населения и числом мест удовлетворения потребностей населения в регионах;

б) потребностями людей и Техносферы в ресурсах Биосферы и возможностью Биосферы регионов удовлетворять эти потребности.

Чтобы оценить темп возможного развития, Гуманитарные Балансы Биотехносферы разрабатываются для прошлого, настоящего и будущего. Показатели Баланса рассчитываются в среднегодовом исчислении [26, 81].

Если люди и Техносфера с ее продукцией и отходами не разрушают Биосферу, не создают опасности для Людей, Техносферы и Биосферы региона, все они сосуществуют и развиваются. Если же численность людей и объемы Техносферы превышают способность Биосферы региона к их симбиозу, происходят чрезвычайные происшествия. Для прогрессивного гармоничного развития Биотехносферы необходимо чтобы каждому месту удовлетворения потребностей людей соответствовало место Биосферы [19, 38, 48]. Если потенциал жизни биосферы недостаточен, то нужно ограничивать численность населения в данном регионе или менять технологии мест удовлетворения рациональных потребностей населения [47, 58, 79].

Биосфера района состоит из трех частей (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Схема баланса

Первая часть Биосферы Земли в районе, необходимая для жизни Земли, не является природным ресурсом для человека. Такие части Биосферы называются природными или биосферными заповедниками, парками и т.п. В пространстве эта часть обособлена от двух других. Количество вещества в Первой части Биосферы Земли в районе, которому соответствует такое же вещество во Второй части Биосферы и такой же ресурс в Третьей части, обозначено B_1 . Особенность Первой части Биосферы Земли в районе состоит в том, что она связана расчетами Баланса со Второй и Третьей частями Биосферы, но не обусловлена потребностями человека.

Вторая часть Биосферы Земли в районе не является природным ресурсом для человека. Она предназначена для производства Третьей части Биосферы Земли в районе, которая является природным ресурсом. Пространственно эта часть обособлена от первой части. Количество вещества во Второй части Биосферы Земли в районе, которому соответствует такое же вещество в Первой части Биосферы и такой же ресурс в Третьей части, обозначено B_2 . Особенность Второй части Биосферы Земли в районе состоит в том, что она связана расчетами с Первой и Третьей частями Биосферы и обусловлена потребностями человека.

Третья часть Биосферы Земли в районе, произведенная Второй частью Биосферы Земли, является природным ресурсом для человека. Пространственно, для целей изъятия, она обособлена от первой части. Она может находиться в одном пространстве со второй частью или быть обособленной от нее. Количество природного ресурса, рассчитываемого в Третьей части, которому соответствует такое же вещество в Первой и Второй частях Биосферы Земли, обозначено B_3 . Особенность Третьей части Биосферы Земли в районе состоит в том, что она связана расчетами со Второй частью Биосферы, как с ее создателем, и с людьми и техносферой, как с ее потребителями [48].

Общее количество рассчитываемого вещества (в Первой и Второй частях Биосферы) и природного ресурса (в Третьей части Биосферы) является суммой трех слагаемых [48]:

$$B = B_1 + B_2 + B_3. \quad (1.54)$$

Каждая из указанных трех частей Биосферы состоит из двух секторов – основного и резервного. Резервные секторы необходимы на случай чрезвычайных происшествий, уничтожающих вещества-ресурсы (например, природные и техногенные катастрофы) [48].

$$B_1 = B_{1o} + B_{1p}, \quad (1.55)$$

$$B_2 = B_{2o} + B_{2p}, \quad (1.56)$$

$$B_3 = B_{3o} + B_{3p}. \quad (1.57)$$

Основной сектор Третьей части Биосферы района – ресурсной части – состоит из пяти элементов.

Первый элемент необходим для удовлетворения потребностей людей в природных ресурсах [48]:

$$B_{3o1} = P_{\lambda} \cdot L, \quad (1.58)$$

где P_{λ} – средняя потребность одного человека в год в рассчитываемом природном ресурсе, [ед. на чел. в год];

L – среднегодовая численность людей в рассматриваемом районе, [чел.].

Второй элемент предназначен для удовлетворения потребностей техносферы в природных ресурсах [48]:

$$B_{3om} = P_m \cdot T, \quad (1.59)$$

где P_m – средняя потребность единицы техносферы в год в рассчитываемом природном ресурсе, [ед. на ед. тех. в год];

T – среднегодовое количество единиц техносферы (мест удовлетворения потребностей людей – ученых, рабочих и других), [ед.].

Третий, четвертый и пятый элементы – это: ввоз природного ресурса в район B_{3ov} [ед. в год]; вывоз природного ресурса из района B_{3oi} [ед. в год]; деградация природного ресурса в районе вследствие загрязнения B_{3od} [ед. в год].

Потребность города в ресурсах [48]:

$$B_{3o} = B_{3ol} + B_{3om} + B_{3oi} + B_{3od} - B_{3ov}, \quad (1.60)$$

где B_{3ol} – общая потребность всех людей в рассчитываемом природном ресурсе [ед. на чел. в год],

B_{3om} – общая потребность техносферы в рассчитываемом природном ресурсе [ед. на ед. тех. в год],

B_{3oi} – вывоз природного ресурса из района [ед. в год],

B_{3od} – деградация природного ресурса в районе вследствие загрязнения [ед. в год],

B_{3ov} – ввоз природного ресурса в район [ед. в год].

Общее количество рассчитываемого вещества – природного ресурса в Биосфере района [48]:

$$B = B_{1o} + B_{1p} + B_{2o} + B_{2p} + B_{3p} + (P_l \cdot L) + (P_m \cdot T) + B_{3oi} + B_{3od} - B_{3ov}. \quad (1.61)$$

Вышеприведенные уравнения позволяют рассчитать ряд показателей.

Предельная численность населения района при фактических показателях Биосферы:

$$L_n(\text{чел.}) = \frac{B - B_{1o} - B_{1p} - B_{2o} - B_{2p} - B_{3p} - (P_m \cdot T) - B_{3oi} - B_{3od} + B_{3ov}}{P_l}. \quad (1.62)$$

Предельное количество техносферы в районе при фактических показателях Биосферы:

$$T_n(\text{чел.}) = \frac{B - B_{1o} - B_{1p} - B_{2o} - B_{2p} - B_{3p} - (P_l \cdot L) - B_{3oi} - B_{3od} + B_{3ov}}{P_m}. \quad (1.63)$$

Предельный объем вывоза рассчитываемого ресурса:

$$B_{3oi}(ед.) = B - B_{1o} - B_{1p} - B_{2o} - B_{2p} - B_{3p} - (P_l \cdot L) - (P_m \cdot T) + B_{3ov} - B_{3od}. \quad (1.64)$$

Потребность района во ввозе рассчитываемого ресурса:

$$B_{3ov}(ед.) = B - B_{1o} - B_{1p} - B_{2o} - B_{2p} - B_{3p} - (P_l \cdot L) - (P_m \cdot T) + B_{3oi} + B_{3od}. \quad (1.65)$$

Показатели количества вещества в Первой части Биосферы необходимого району, могут рассчитываться двумя способами.

Первый способ основан на применении данных о круговороте вещества в теле Земли, о потребности одних организмов Биосферы в других организмах или веществах. Второй способ основан на применении данных о районах, где сохранились гармоничные соотношения между Биосферой, человеком и техносферой (способ подобия). Показатели количества вещества во Второй части Биосферы, необходимого району, могут рассчитываться по известным в биологии показателям продуктивности в зависимости от показателей Третьей части Биосферы. Показатели резервов для всех частей Биосферы рассчитываются на основе статистических данных о гибели природных ресурсов при наступлении чрезвычайных происшествий [48, 50].

Таким образом, если Гуманитарный Баланс Биотехносферы района не достигается, то развитие будет деградационным, если достигается – прогрессивным. [54, 55].

1.3 Задачи, поставленные к исследованию

Как показал обзор методик оценки распространения загрязняющих веществ в воздушной среде, каждый математический аппарат, как правило, дает точечную оценку загрязнения атмосферы города при конкретном наборе параметров источников выбросов. При этом, выполнение расчетов занимает много времени, кадровых, а также денежных затрат. Для предпроектных решений по выбору альтернативных площадок под новое промышленное строительство и ряда других экологических задач требуется упрощенная модель оценки загрязнения атмосферы, которая будет соответствовать концепции преобразования города в

биосферосовместимый и развивающий человека. Для достижения данной цели поставлены следующие задачи исследования:

- 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.

1.4 Выводы по первой главе

1. В настоящее время существует много подходов для оценки загрязнения воздуха. 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.

2. Законодательно действующим документом является ОНД-86. Основной недостаток данной методики заключается в том, что хозяйствующие субъекты, имеющие источники выбросов, разрабатывают проекты нормативов

предельно допустимых выбросов только на собственные источники выбросов вредных веществ.

3. 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.

4. 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%.

5. Экономическое и социальное развитие в условиях устойчивого развития должно быть направлено на то, чтобы удовлетворение наших потребностей не оказало негативного влияния на возможности удовлетворения потребностей будущих поколений.

6. В международном опыте изучения проблемы устойчивого развития сейчас активно ведется работа над концепцией экологического следа, которая все еще воспринимается поверхностно среди органов власти. При достаточно высокой степени разработки данной концепции, экологический след отражает поверхностно устойчивое развитие региона, так как он не показывает социальные и экономические составляющие.

7. В России на сегодняшний день ведется научная работа под руководством академика В.А. Ильичева на тему «Создание биосферосовместимых поселений». В основе преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека лежит парадигма биосферной совместимости и концепция эколого-ноосферных преобразований биотехносферы.

8. Актуальным является разработать математическую модель расчета межрайонного переноса вредных веществ балансовым методом для оценки фонового загрязнения атмосферы на принципах биосферной совместимости.

ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕЖРАЙОННОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ БАЛАНСОВОГО МЕТОДА

2.1 Основные вводные понятия балансового метода

Основной сектор Третьей части Биосферы района (ресурсной части), как отмечалось в параграфе 1.2 – состоит из пяти элементов: общая потребность всех людей в рассчитываемом природном ресурсе, общая потребность техносферы в рассчитываемом природном ресурсе, вывоз природного ресурса из района, деградация природного ресурса в районе вследствие загрязнения и ввоз природного ресурса в район [48]. При поиске алгоритма определения третьего и пятого элементов ресурсной части – ввоз природного ресурса (в нашем случае кислорода) в район и вывоз природного ресурса из района, был разработан балансовый метод поступления вредных веществ в район города, применимый для крупных городов (количество районов $n \geq 3$). В результате пересчета объема поступивших загрязняющих веществ в район, определенных данным методом, на объем кислорода можно найти искомые элементы. Предлагаем объем загрязненного воздуха на ассимиляцию (разбавление) выбросов одной группы суммаций рассчитывать следующим образом:

$$V = \frac{M_{\text{выб}}}{C_{\text{ПДК}}}, \quad (2.1)$$

где $M_{\text{выб}}$ – масса вредного выброса, [г];

$C_{\text{ПДК}}$ – предельно допустимые среднесуточные концентрации вредных веществ для воздушной среды в жилой зоне населенных мест, [мг/м³].

Тогда, объем кислорода:

$$V_{O_2} = \frac{M_{\text{выб}} \cdot 0,21}{C_{\text{ПДК}}}. \quad (2.2)$$

В рамках балансового метода введем 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 групп суммаций загрязняющих веществ, деленных на их ПДК, в сумме превышает единицу. Воздух будет являться «грязным» при условии:

$$\sum \frac{C_i}{ПДК_i} \geq 1. \quad (2.3)$$

Для оценки фоновое загрязнение атмосферы введены критерии экологической безопасности: удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района P и среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы района J . Выполнение условия (2.3) характеризуется среднебалансовым интегральным критерием загрязнения атмосферы районов, более подробно об этом рассмотрено в параграфах 2.3 и 3.7. На основании данных, получаемых при расчете критериев экологической безопасности P и J , проводим построение карт альтернативных площадок под новое промышленное строительство, методика представлена в параграфе 4.3.

Алгоритм решения задач балансового метода поступления вредных веществ в район города представлен на рисунке 2.1.

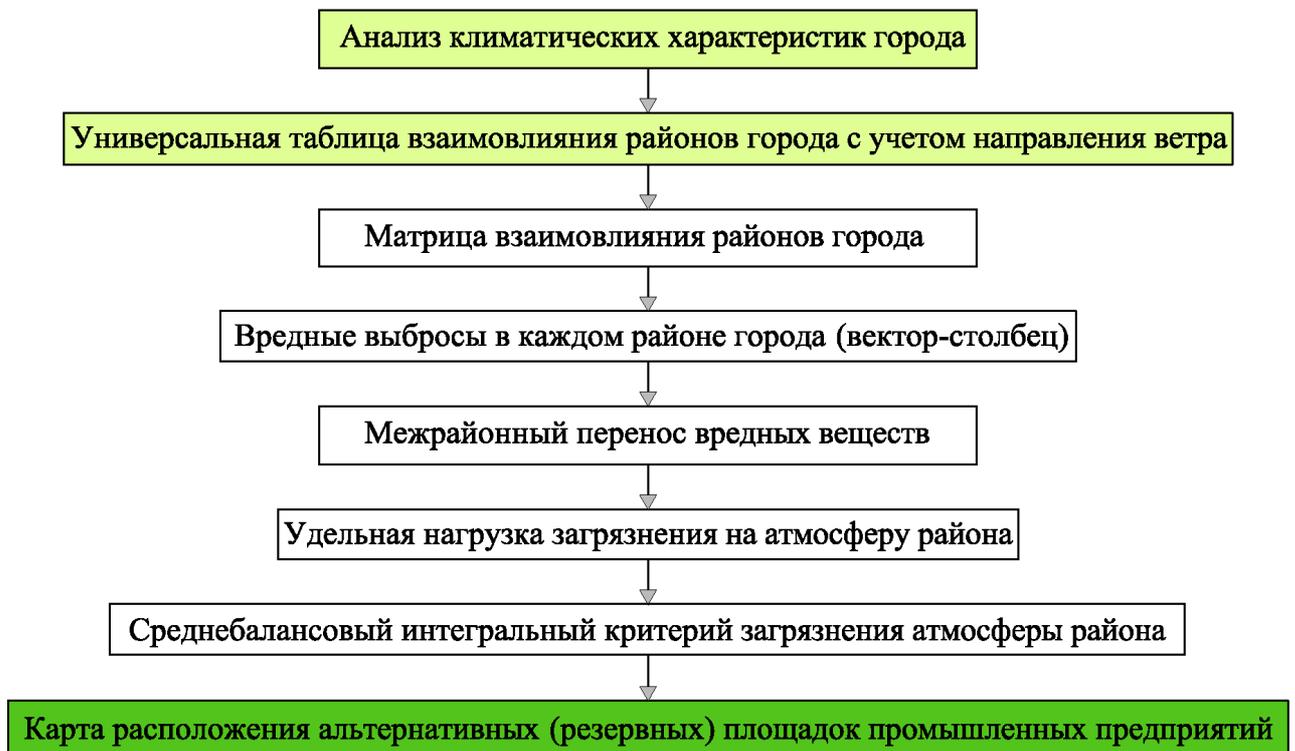


Рисунок 2.1 – Алгоритм решения задач балансового метода поступления вредных веществ в район города

В настоящей работе рассмотрены теоретические основы балансового метода, расчет межрайонного поступления загрязняющих веществ в атмосфере и экологических критериев безопасности на примере города Волгограда и прилегающих к нему территорий. Определение элементов Третьей части Биосферы города в исследование не включалось.

2.2 Теоретические положения математической модели межрайонного переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Оценка межрайонного переноса атмосферного воздуха в жилой зоне городов и прилегающих к нему территорий основывается на нахождении поступления вредных веществ в район. При определении межрайонного переноса загрязняющих веществ необходимо учитывать гидротермодинамику атмосферы [98], а в частности режим ветра, а также рельеф местности, источники загрязнения, массу выбросов в атмосферу, рассеивание и оседание вредных веществ.

Процессы, происходящие в атмосфере городов (движение воздушных потоков, изменение концентрации вредных веществ и пр.) являются стохастическими процессами, т. е. такими, для описания которых следует использовать математический аппарат с применением случайных величин и случайных функций. При этом, распространение вредных веществ между районами (межрайонный перенос) зависит от величин, которые можно условно разделить на две группы: детерминированные и случайные величины. К детерминированным можно отнести характеристики стационарных источников выбросов (высота, диаметр устья), расстояние от источника до границ районов, характеристика подстилающей поверхности. Условно можно приурочить к детерминированным и другие характеристики стационарных выбросов (расход и температуру газовых потоков, концентрации вредных веществ), хотя, вообще говоря, вследствие изменений технологических процессов, качества сырья, исключения одновременности работы некоторых источников согласно проектам ПДВ предприятий, различного времени функционирования работы источников выбросов, эти величины не являются постоянными. К случайным – в первую очередь, климатологические факторы (направление и скорость ветра, температура и влажность воздуха, давление). Кроме того, к ним следует отнести характеристики нестационарных источников выбросов в атмосферу, например, автотранспорта.

Основной задачей предлагаемой расчетной модели межрайонного переноса является определение закона распределения случайных величин и нахождение его характеристик. Для этого введем следующие обозначения:

i – индекс, определяющий загрязняемый район;

j – индекс, определяющий загрязняющий район;

φ – направление ветра;

v – скорость ветра [м/с];

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

G_i – масса вредного вещества, поступившего в загрязняемый i -ый район в текущий момент времени [мг/м³];

A_i – количество вредностей, которое находится в воздушной среде i -го района [мг/м³];

C_i – среднебалансовая концентрация в атмосфере i -го района поступивших из соседних районов загрязняющих веществ [мг/м³];

l – расстояние прохождения по i -ому району вредных веществ [м];

τ_{ij} – время прохождения выделившихся вредных веществ в j -ом районе по i -ому району [с];

α_{ij} – поправочный коэффициент, учитывающий долю выбросов, поступающих в i -ый район из j -ого района, за исключением тех, которые оседают [д.ед.]. α_{ij} зависит от плотности загрязняющего вещества. В случае, если вещество имеет плотность меньше или приблизительно равную плотности воздуха, то, в первом приближении, горизонтальная составляющая скорости движения загрязняющего вещества будет совпадать со скоростью v и направлением φ движения воздуха, если вещество тяжелее, то оно будет оседать;

β – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности [д.ед.]. В случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, например, для г. Волгограда $\beta = 1$ [76];

P_{ij} – удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района [$\frac{m}{год} \cdot км^2$];

V – условный объем воздуха в жилой зоне [м³];

J_i – среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы района [д.ед.].

Для всего набора значений индексов факторов: i, j, φ, v , необходимо найти $M_{ij}, G_i, A_i, C_i, l_{ij}(\varphi), \tau_{ij}(\varphi), \alpha_{ij}(v, \varphi), \beta, P_{ij}, J_i$.

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:

$$G_i(v, \varphi) = \sum_{j=1}^N M_{ij} \cdot \alpha_{ij}(v, \varphi). \quad (2.4)$$

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

$$A_i(v, \varphi) = \sum_{j=1}^N M_{ij} \cdot \alpha_{ij}(v, \varphi) \cdot \frac{l_{ij}(\varphi)}{v(\varphi)}. \quad (2.5)$$

Так как под воздействием ветра происходит движение приземных слоев воздуха со всеми включениями газообразных и дисперсных загрязняющих веществ [100], то для нахождения межрайонного переноса вредных веществ в атмосфере необходимо рассмотреть годовой режим ветра. При этом, для оценки направления ветра как стохастической случайной величины нужно построить розу ветров.

Учитывая, что v и φ – вообще говоря, независимые величины, среднебалансовую концентрацию в районе поступивших из соседних районов загрязняющих веществ C_i выражаем по формуле:

$$C_i(v, \varphi) = \frac{1}{V} \cdot \left(\sum_{j=1}^N M_j \cdot \alpha_j(v, \varphi) \cdot \beta \cdot \frac{l_{ij}(\varphi)}{v(\varphi)} \right), \quad (2.6)$$

где V – условный объем воздуха в жилой зоне [м^3].

Формула 2.6 позволяет оценить максимально-разовую концентрацию вредного вещества.

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 по сторонам света [2, 37]. Предположим, город А (рисунок 2.2) включает в себя 3 района (район 1, район 2, район 3). Причем, в районе 3 располагается крупное промышленное предприятие, которое является основным загрязнителем воздушной среды города. Выделим его территорию в отдельный район 4. Тогда универсальная таблица будет иметь вид, где каждая ячейка показывает воздействие ветра j -ого района на i -ый район (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Универсальная таблица взаимовлияния районов города

Наименование i-ых районов	Направления ветра при переносе из j-ого в i-ый район			
	Район j=1	Район j=2	Район j=3	Район j=4
Район i=1	φ_{11}	φ_{12}	φ_{13}	φ_{14}
Район i=2	φ_{21}	φ_{22}	φ_{23}	φ_{24}
Район i=3	φ_{31}	φ_{32}	φ_{33}	φ_{34}
Район i=4	φ_{41}	φ_{42}	φ_{43}	φ_{44}

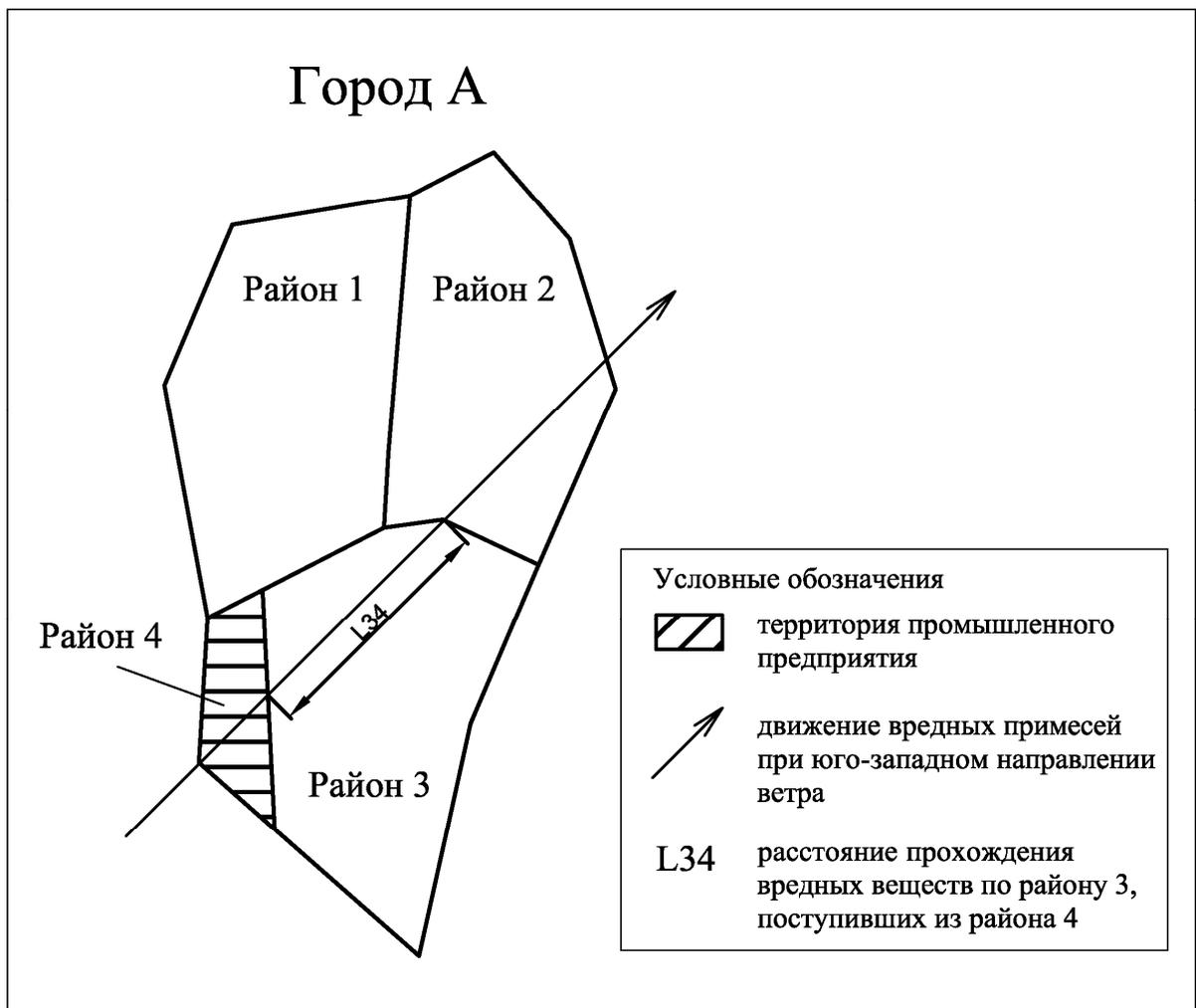


Рисунок 2.2 – Схема города А

На основании универсальной таблицы с учетом дней воздействия направления ветра на район в год можно составить матрицу B взаимовлияния районов города и прилегающих к нему территорий, где каждая ячейка матрицы показывает вероятность максимального поступления выброса из j -ого района в i -ый район. Умножив данную матрицу на выбросы, получаем поступление вредных

веществ в каждом районе. Таким образом, для определения межрайонного переноса вредных веществ выявлена зависимость:

$$\bar{G}_{пост} = B \cdot \bar{g}_{выбр}, \quad (2.7)$$

где $\bar{G}_{пост}$ – вектор поступления вредных выбросов вследствие межрайонного переноса, имеющий следующий вид:

$$\bar{G}_{пост} = (G_i)_{i=1}^N; \quad (2.8)$$

B – матрица взаимовлияния районов города и прилегающих к нему территорий [доля дней в год];

$\bar{g}_{выбр}$ – вектор вредных выбросов от стационарных $\bar{g}_{выбр}^{стационар}$ (промышленных предприятий) и передвижных $\bar{g}_{выбр}^{передв}$ (автомобильного транспорта) источников (т/год), имеющий следующий вид:

$$\bar{g}_{выбр} = (g_i)_{i=1}^N. \quad (2.9)$$

При этом, матрица взаимовлияния районов города и прилегающих к нему территорий [51] будет определяться по формуле:

$$B_{ij} = \sum_{\varphi} T_{ij}(\varphi) \cdot \frac{1}{365} \int \frac{l_i(\varphi)}{v_{ij}} d\varphi, \quad (2.10)$$

где T_{ij} – количество дней, в которые ветер имеет направление φ ;

$l_i(\varphi)$ – расстояние, при котором проходят загрязняющие вещества по району с учетом направления ветра [м].

С учетом вероятности оседания и рассеивания вредных выбросов по пути из j -ого района в i -ый район необходимо использовать формулу:

$$B_{ij} = B_{ij}^{вemp} (1 - B_{ij}^{осед} - B_{ij}^{расс}), \quad (2.11)$$

где $B_{ij}^{вemp}$ – матрица ветрового взаимовлияния районов города и прилегающих к нему территорий;

$B_{ij}^{осед}$ – вероятность оседания вредных выбросов по пути из j -ого района в i -ый район;

$B_{ij}^{расс}$ – вероятность рассеивания вредных выбросов по пути из j -ого района в i -ый район.

Например, матрица B для города А ($N=4$) будет иметь следующий вид:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

Затем определяем вектор вредных выбросов $\bar{g}_{\text{выбр}}$. Данный вектор представлен выбросами от стационарных $\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац}}$ (промышленных предприятий) и передвижных $\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{передв}}$ (автомобильного транспорта) источников. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от предприятий классифицируются на 2 вида:

- 1) твердые;
- 2) газообразные и жидкие.

Вектор вредных выбросов от стационарных источников $\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац}}$ – сумма вектора твердых вредных выбросов $\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац1}}$ и вектора газообразных и жидких вредных выбросов $\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац2}}$.

$$\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац}} = \bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац1}} + \bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац2}}, \quad (2.13)$$

где $\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац}}$ – вектор вредных выбросов от стационарных источников [т/год];

$\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац1}}$ – вектор твердых вредных выбросов [т/год];

$\bar{g}_{\text{выбр}}^{\text{стац2}}$ – вектор газообразных и жидких вредных выбросов [т/год].

Для определения выбросов в каждом районе от автомобилей нужно использовать исходные данные:

- 1) количество автотранспорта в каждом районе;
- 2) величины удельных выбросов загрязняющих веществ на 1 км пробега;
- 3) значения среднегодового пробега автомобиля.

Таким образом, вектор вредных выбросов $\bar{g}_{\text{выбр}}$ от промышленных предприятий и автомобильного транспорта для города А будет иметь следующий вид:

$$\bar{g}_{\text{выбр}} = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \end{bmatrix}. \quad (2.14)$$

Каждая последующая строка вектора-столбца $\bar{g}_{\text{выбр}}$ показывает выбросы в районе 1, районе 2, районе 3 и районе 4 соответственно.

Тогда зависимость (2.7) будет иметь следующий матричный вид:

$$\begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \end{bmatrix}. \quad (2.15)$$

Для определения объема условно загрязненного воздуха на ассимиляцию поступивших выбросов для каждого загрязняющего вещества используем формулу (2.1). Тем самым, мы определяем поступление условно загрязненного воздуха в каждый район.

2.3 Предлагаемые критерии экологической безопасности

При разработке балансового метода поступления загрязняющих веществ выявлены критерии экологической безопасности: удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района P и среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы района J .

2.3.1 Удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района

Для оценки фонового загрязнения атмосферы от переноса вредностей из загрязняющих районов необходимо определить удельную нагрузку загрязнения на атмосферу загрязняемого района.

Удельная нагрузка загрязнения на атмосферу районов P города, в общем случае, выражается вектором:

$$\bar{P} = (P_i)_{i=1}^N = \left(\frac{G_i}{S_i} \right)_{i=1}^N, \quad (2.16)$$

где $i = 1 \div N$ номера районов;

S – площадь района [км^2].

В случае примера (рисунок 2.2) при $N=4$ получаем:

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{G_1}{S_1} \\ \frac{G_2}{S_2} \\ \frac{G_3}{S_3} \\ \frac{G_4}{S_4} \end{bmatrix}. \quad (2.17)$$

Таким образом, удельная нагрузка на атмосферу – критерий оценки фонового загрязнения атмосферы от переноса вредностей из загрязняющих районов, учитывающий площадь воздействия.

2.3.2 Среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы

Для оценки фонового загрязнения атмосферы и построения карт альтернативных площадок под новое промышленное строительство необходимо определить среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы района. Для его нахождения проводится расчет средней концентрации вредных веществ по каждой группе суммации загрязняемого i -района, поступивших из загрязняющих j -районов, а затем сумма концентраций групп суммаций загрязняющих веществ делится на их ПДК.

$$J_i = \sum_{k=1}^l \left(\frac{C_i^k(v, \phi)}{\text{ПДК}_k} \right), \quad (2.18)$$

где C_i^k – средняя концентрация вредных веществ по k -й группе суммации загрязняемого i -района, поступивших из загрязняющих j -районов (определяется по формуле (2.6));

ПДК_k – ПДК k -го загрязняющего вещества.

Для оценки балансовых концентраций загрязняющих веществ по группам суммаций в i -х районах города путем поступления из j -х районов и расчета среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы разработана программа «БалансЗВ 1.0», физическая модель которой описана в параграфе 4.1.

2.4 Выводы по второй главе

1. Предложен и теоретически обоснован балансовый метод поступления вредных веществ в район города, разработанный на базе положений, в частности тройственных балансов населения, актуальной в сегодняшние дни концепции биосферной совместимости.

2. Разработана упрощенная математическая модель межрайонного переноса вредных веществ, которая, вообще говоря, дает «грубую» оценку загрязнения атмосферы, но при этом не требует больших затрат и долгосрочного выполнения расчета. Основной задачей предлагаемого аппарата является определение законов распределения среднебалансового загрязнения воздушной среды районов как случайных величин и нахождение его характеристик.

3. Для оценки фонового загрязнения атмосферы выявлены критерии экологической безопасности, характеризующие загрязнение атмосферы крупных городов: удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района P и среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы района J .

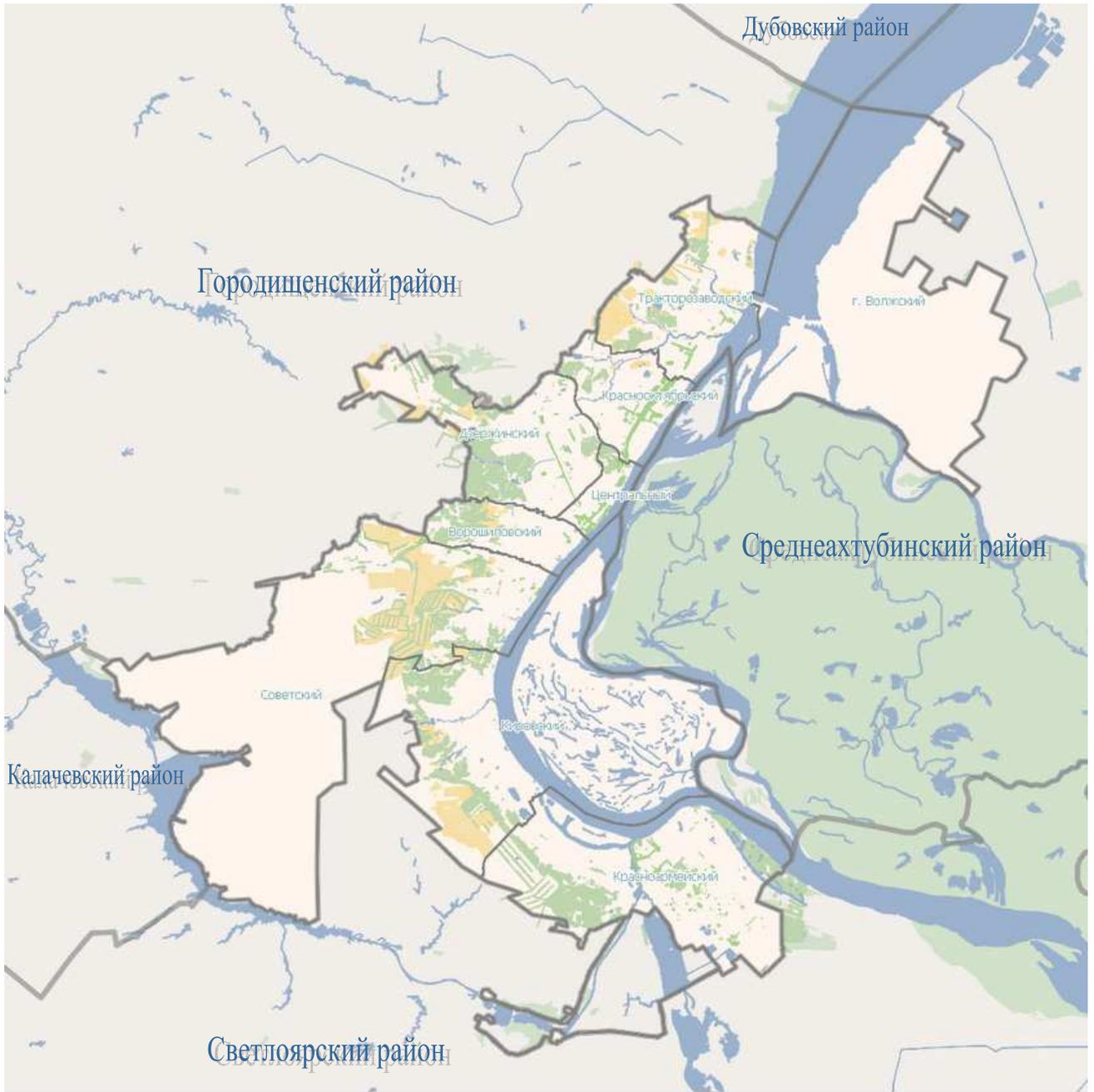
4. Результатом балансового метода служит оценка фонового загрязнения атмосферы для принятия предпроектных решений по выбору альтернативных площадок под новое промышленное строительство. В том числе, разработанная методика позволит решать ряд экологических задач, в частности, полученные данные балансового метода можно применять при составлении сводного проекта ПДВ для изучения эффекта суммации загрязняющих веществ, поступающих от всех источников в совокупности в атмосферу города.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА МЕЖРАЙОННОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ КРУПНОГО ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДА

3.1 Общие сведения о Волгограде

Город Волгоград, расположенный на правом берегу реки Волги, находится на стыке трех геоморфологических районов: Приволжской возвышенности, Ергеней и Прикаспийской низменностей. В пределах Приволжской возвышенности (в городской черте) максимальные отметки рельефа (130-150 м над уровнем моря) находятся в западной части города. Слабовыпуклые водоразделы обычно постоянно переходят в склоны речных долин и балок. Склонная часть возвышенности расположена в интервале высот от 40-50 до 100-120 м. Главный склон спускается к Хвалынской террасе, на которой расположена нижняя, основная часть города. В районе Бекетовка – Красноармейск на поверхности террасы расположено понижение, которое было одним из рукавов Волги. Таким образом, в рельефе города выделяются два уровня: водоразделы и террасы. Характерными формами рельефа являются также овраги и балки. Протяженность города 90 км вдоль берега Волги, площадь – 859,353 км². Волгоград делится на 8 административных районов: Тракторозаводский, Краснооктябрьский, Центральный, Дзержинский, Ворошиловский, Советский, Кировский, Красноармейский (рисунок 3.1, таблица 3.1). Причем, с момента начала исследования до сегодняшнего времени административно-территориальные границы районов претерпевали изменения, в частности Советский и Дзержинский районы увеличились по площади, что следует учитывать в результатах работы. Волгоград по состоянию на 01.12.2015 г. граничит с Городищенским, Среднеахтубинским, Светлоярским и Калачёвским районами Волгоградской области.

К северу-востоку от Волгограда на плоской Прикаспийской низменности расположен второй по величине город – Волжский. Для него характерна радиально-концентрическая структура, выделение промышленной и селитебной зон и хорошее озеленение.



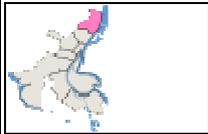
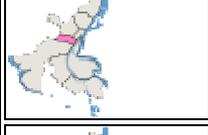
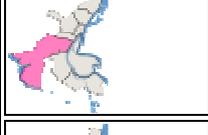
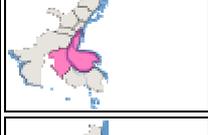
Условные обозначения

-  - парки
-  - лес
-  - пашни
-  - водоемы
-  - острова
-  - поймы рек



Рисунок 3.1 – Карта города Волгограда

Таблица 3.1 – Список районов Волгограда по площади и населению

Карта района	Название района	Площадь, км ² (2015)	Население, тыс. чел. (2002)	Население, тыс. чел. (2007)	Население, тыс. чел. (2015)
	Тракторозаводский	54	136,746	145,6	138,707
	Краснооктябрьский	34,2	155,041	153	150,211
	Дзержинский	85,8	175,330	182,3	184,709
	Центральный	11,02	97,167	96,7	81,198
	Ворошиловский	27,8	80,928	80,9	81,251
	Советский	60	83,052	100,1	113,124
	Кировский	183,98	107,733	105	101,299
	Красноармейский	230	175,420	176	166,952

Волгоград – город-миллионер: важнейшее место сосредоточения и притяжения человеческих, трудовых, промышленных, культурных, экономических ресурсов и центров социально-экономического развития как для своего региона, так для окружающих регионов.

3.2 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

В соответствии с районированием территории России Волгоградская область по значениям климатических параметров, определяющих перенос и рассеивание примесей, поступающих в воздушный бассейн с выбросами от предприятий и автотранспорта, относится к зоне с повышенным потенциалом загрязнения атмосферы [33, 22 – 24, 42].

Исходные данные для исследования по фактическим выбросам загрязняющих веществ в атмосферу за 2010-2013 гг. приняты из официальных докладов о состоянии окружающей среды в Волгоградской области [33, 22 – 24]. На момент исследования доклад о состоянии окружающей среды в Волгоградской области за 2014 г. не опубликован.

Основным загрязнителем воздушного бассейна Волгоградской области является автотранспорт, выбросы загрязняющих веществ которого по данным Управления Росприроднадзора по Волгоградской области за 2013 г. составили 208,6 тыс. т (количество зарегистрированных автотранспортных средств при этом – 787 014 ед.), за 2012 г. – 255,1 тыс. т (количество зарегистрированных автотранспортных средств при этом – 741 300 ед.), за 2011 г. – 236,6 тыс. т (количество зарегистрированных автотранспортных средств при этом 664 217 ед.). Доля выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от автотранспорта в общем объеме выбросов по области за 2013 г. составила в целом 54,74%, за 2012 г. – 60%, за 2011 г. – 57%.

При определении выбросов в атмосферу от автомобильного транспорта в каждом районе Волгограда использовались следующие данные:

- 1) количество зарегистрированного транспорта по районам г. Волгограда по сведениям аналитического обзора состояния аварийности и результатов работы подразделений Госавтоинспекции по г. Волгограду за 2010-2013 гг.;
- 2) величины удельных выбросов загрязняющих веществ на 1 км пробега [83];
- 3) значения среднегодового пробега автотранспорта.

Результаты расчетов выбросов автотранспорта включены в оценку межрайонного переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Волгограда, которые приводится в параграфе 3.5.

Согласно данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области масса выбросов

загрязняющих веществ в атмосферу по Волгоградской области от стационарных источников за отчетный год составила 172,504 тыс. т, что на 1,66 тыс. т (0,97%) больше, чем в 2012 году. Среди объектов промышленности наибольшими выбросами характеризуются металлургия, химическая и топливная промышленность [33, 22 – 24]. Основные промышленные источники загрязнения атмосферного воздуха представлены на карте (рисунок 3.2) и приведены в таблице 3.2.



Условные обозначения

■ - промышленные зоны



Рисунок 3.2 – Промышленные зоны города Волгограда

Таблица 3.2 – Список предприятий – основных источников загрязнения атмосферного воздуха за 2010-2013 гг. [33, 22 – 24]

№ п/п	Наименование предприятий	Масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 2010 г., т/год			Масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 2011 г., т/год			Масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 2012 г., т/год			Масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 2013 г., т/год		
		твердые	газообразные и жидкие	всево									
<i>г. Волгоград</i>													
1	Волгоградская ГРЭС	0.4	967.3	967.7	0.4	1062.5	1062.9	2.3	932.9	935.2	2.3	433.4	435.7
2	Волгоградская ТЭЦ-2	6.3	2832.6	2838.9	3.6	3158.7	3162.3	0.3	4007.9	4008.24	0.4	4014.6	4015.0
3	Волгоградский филиал ООО «Омсктехуглерод»	96.8	607.4	704.2	86.4	663.5	749.9	86.4	701.1	787.5	111.3	814.0	925.3
4	ОАО «СУАЛ» филиал «ВГАЗ-СУАЛ»	2125.6	16820.9	18946.5	2159	18244.4	20403.7	2248.1	18281.5	20529.6	1425.7	13901.9	15327.6
5	ВОО «Химпром»	2107.2	3980.4	6087.6	1967	2822.9	4790.3	1691.5	3005.1	4696.64	1496.7	4018.6	5515.3
6	ОАО «Волгограднефтемаш»	34.2	323.7	357.9	32.3	281.2	313.5	63.2	252.8	316.0	64.7	232.6	297.3
7	ООО «ЛУКОЙЛ – «Волгограднефтепереработка»	78.3	14119.9	14198.2	65.1	13406.2	13471.3	35.1	12943.5	12978.6	96.8	11479.4	11576.2
8	ОАО «Каустик»	19.5	737.7	757.2	19.4	757.4	776.8	312.2	1564.3	1876.46	270.6	1278.9	1549.5
9	ЗАО Волгоградский металлургический завод «Красный Октябрь»	596.7	1840.1	2436.8	689.5	2450.2	3139.7	764.5	2290.0	3054.5	663.7	2684.3	3348.0
<i>г. Волжский</i>													
10	Волжская ТЭЦ	32.4	2627.3	2659.7	32.9	2859.9	2892.8	32.5	2947.3	2979.83	32.4	2487.2	2519.6
11	Волжская ТЭЦ -2	0.5	2780.6	2781.1	2.0	3157.1	3159.1	1.4	3228.5	3229.89	1.3	2769.0	2770.3
12	ОАО «ВАТИ»	18.3	1217.4	1235.7	14.2	1153.2	1167.4	14.0	1074.0	1088.0	13.9	987.5	1001.4
13	ОАО «Волтайр-Пром»	16.6	574.8	591.4	18.2	582.3	600.5	18.2	407.3	425.5	24.0	443.9	467.9
14	ОАО «Волжский подшипниковый завод»	24.9	57.3	82.2	24.9	57.3	82.2	24.9	57.3	82.2	24.9	57.3	82.2
15	ОАО «Волжский абразивный завод»	729.3	35841.8	36571.1	649.7	36418.5	37068.2	757.6	33408.2	34165.8	738.2	33401.0	34139.2
16	ОАО «ЭКТОС – Волга»	37.5	205.8	243.3	61.8	303.1	364.9	41.6	178.7	220.3	32.7	188.8	221.5
17	ОАО «Волжский Оргсинтез»	51.2	3602.9	3654.1	49.0	3393.3	3442.3	36.4	4089.9	4126.25	46.0	6099.1	6145.1
18	ОАО «Волжский трубный завод»	598.5	2421.2	3019.7	605.7	2692.3	3298.0	517.8	2483.3	3001.0	385.0	2855.6	3240.6
<i>Городищенский район</i>													
19	Городищенское ЛПУ	8.5	1931.5	1940.0	5.6	695.4	701.1	89.3	1003.1	1092.32	18.2	1119.6	1137.8

Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников предприятий Волгоградской области за период 2010-2013 гг. представлены в таблице 3.3.

На города Волгоград и Волжский приходится 107,8 тыс. т выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (62,49%), в том числе: по г. Волгограду – 56,4 тыс. т, по г. Волжскому – 51,5 тыс. т. В среднем по области в 2013 году уловлено и обезврежено 59,8 % загрязняющих веществ по отношению к общему

количеству отходящих загрязняющих веществ от стационарных источников, в том числе по г. Волгограду – 73,4%, по г. Волжскому – 27,6%. Основные показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 2013 год по Волгограду и Волжскому представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.3 – Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу [33, 22 – 24]

Показатели выбросов	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Масса загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу				
всего, тыс.т/год	201,1	178,2	170,8	172,5
в том числе:				
твердые	13,6	13,4	13,1	12,2
газообразные и жидкие, из них:	187,5	164,8	157,7	160,3
диоксид серы	6,5	6,8	7,7	9,1
оксид углерода	69,1	75,4	74,0	72,3
оксиды азота	25,3	26,2	26,5	26,0
углеводороды (без ЛОС)	59,2	28,0	21,9	25,5
ЛОС	24,6	24,6	24,2	23,9
прочие газообразные и жидкие	2,8	3,8	3,4	3,5

Таблица 3.4 – Показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [33, 22 – 24]

Показатели выбросов	Волгоград		Волжский	
	Выброшено, тыс. т	Уловлено к общему кол-ву ЗВ, %	Выброшено, тыс. т	Уловлено к общему кол-ву ЗВ, %
всего, в том числе:	56,4	73,4	51,5	27,6
- твердых	5,3	95,7	1,3	92,9
- газообразных и жидких, из них:	51,0	42,3	50,1	4,4
диоксид серы	2,6	87,3	-	0,02
оксид углерода	22,4	5,3	-	-
оксиды азота	10,8	0,02	6,1	0,02
углеводороды (без ЛОС)	3,7	34,0	0,1	-
ЛОС	10,5	34,3	4,4	34,2
прочие газообразные и жидкие	1,0	91,4	0,2	1,6

По результатам государственного экологического мониторинга за состоянием атмосферного воздуха уровень загрязнения атмосферы по Волгограду оценивается как «очень высокий» и определен стандартным индексом СИ=12 по

фенолу (при $ИЗА_5=10,9$ – «высокий» уровень загрязнения). В 2013 году отмечается увеличение уровня загрязнения формальдегидом [24].

На территории Волгоградской области установлено 15 стационарных постов наблюдения: Волгоград – 8, г. Волжский – 5, г. Краснослободск – 1, р.п. Светлый Яр – 1. Размещение стационарных постов наблюдения в городе Волгограде представлено на рисунке 3.3. Характеристика загрязнения атмосферы по данным наблюдений на постах Волгограда за 2013 г. приведена в таблице 3.5.

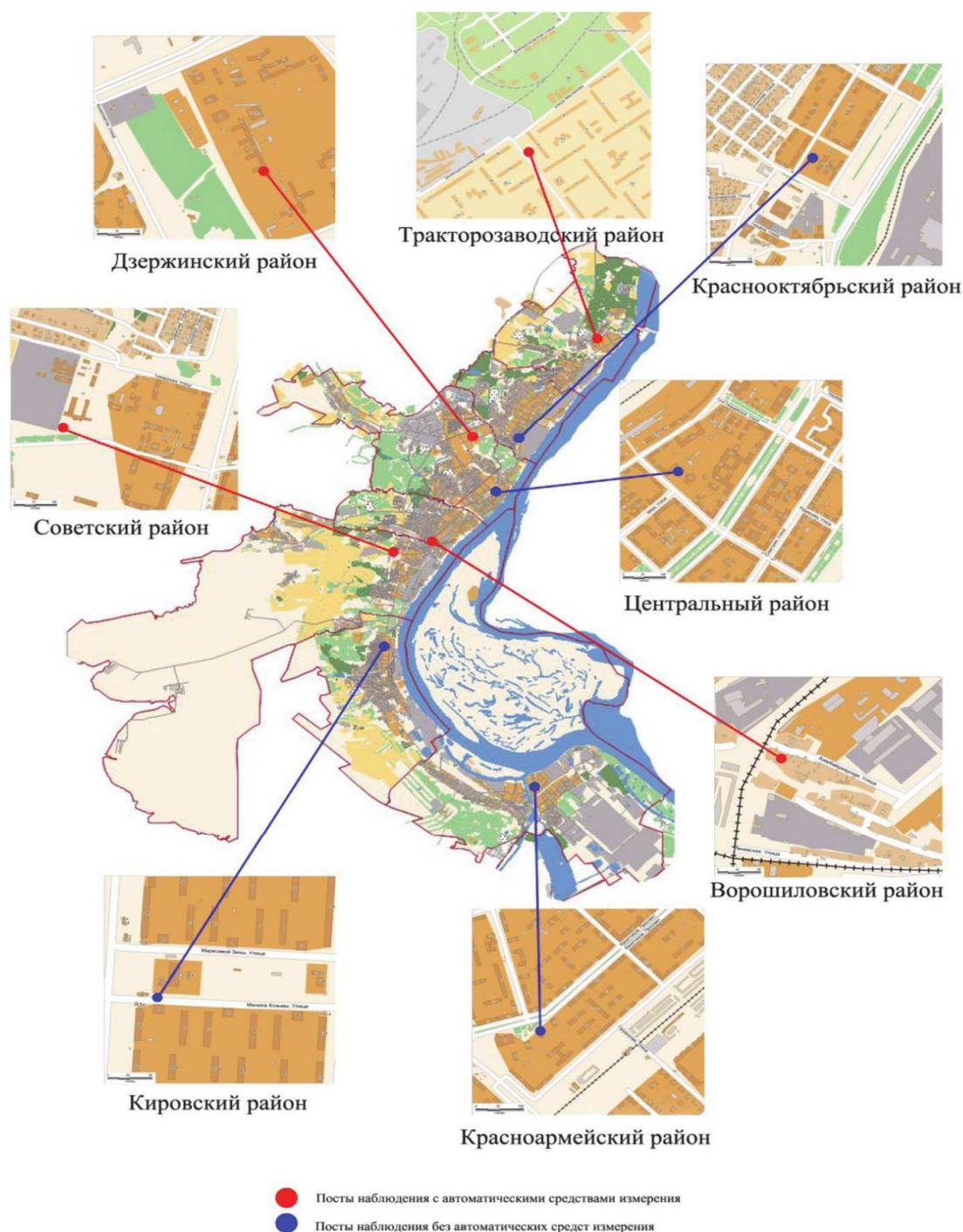


Рисунок 3.3 – Размещение стационарных постов наблюдения на территории Волгограда

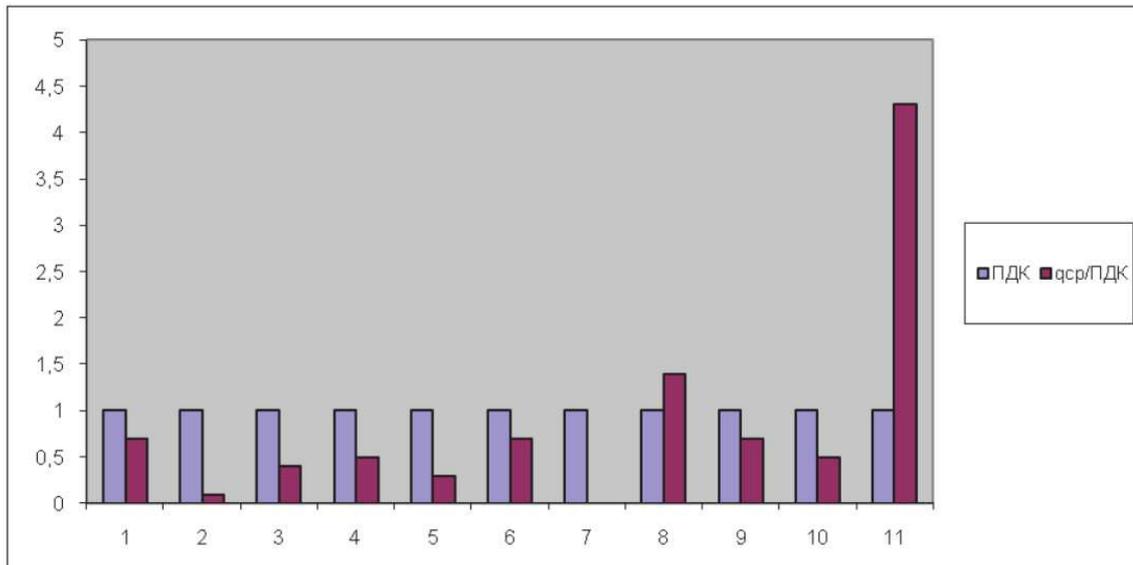
Таблица 3.5 – Характеристика загрязнения атмосферы Волгограда в 2013 г.
по данным наблюдений на постах, мг/м³ [24]

Наименование примеси	В целом по городу/ в ПДК	q _{ср}	q _м	g, %	g ₁ , %	n
Пыль	в целом по городу	102	400	0,0	0,0	2121
	в ПДК	0,7	0,8	0,0	0,0	-
Диоксид серы	в целом по городу	6	55	0,0	0,0	2387
	в ПДК	0,1	0,1	0,0	0,0	-
Оксид углерода	в целом по городу	1127	4000	0,0	0,0	2334
	в ПДК	0,4	0,8	0,0	0,0	-
Диоксид азота	в целом по городу	21	150	0,0	0,0	2386
	в ПДК	0,5	0,8	0,0	0,0	-
Оксид азота	в целом по городу	17	180	0,0	0,0	527
	в ПДК	0,3	0,5	0,0	0,0	-
Сероводород	в целом по городу	1	8	0,0	0,0	1440
	в ПДК	-	1,0	0,0	0,0	-
Фенол	в целом по городу	2	122	0,8	0,1	1562
	в ПДК	0,7	12,2	1,3	0,1	-
Сажа	в целом по городу	1	30	0,0	0,0	556
	в ПДК	0,0	0,2	0,0	0,0	-
Фторид водорода	в целом по городу	7	36	7,7	0,0	685
	в ПДК	1,4	1,8	12,7	0,0	-
Хлорид водорода	в целом по городу	74	1060	6,2	0,1	1432
	в ПДК	0,7	5,3	12,8	0,1	-
Аммиак	в целом по городу	15	100	0,0	0,0	553
	в ПДК	0,5	0,5	0,0	0,0	-
Формальдегид	в целом по городу	13	121	4,5	0,0	626
	в ПДК	4,3	3,5	6,7	0,0	-
Бенз(а)пирен	в целом по городу	0,0013	0,0036	-	-	30
	в ПДК	1,3	3,6	-	-	-

Примечание. q_{ср} – среднегодовая концентрация примеси; q_м – максимальная из разовых концентрация примеси; g, g₁ – повторяемость случаев превышения ПДК_{м.р.} и 5ПДК_{м.р.} соответственно разовыми значениями концентрации примеси; n – количество проб

В 2013 году по сравнению с 2012 годом отмечено снижение средних концентраций пыли, диоксида серы, диоксида и оксида азота, аммиака. Средние концентрации сероводорода, сажи, фенола, фторида водорода сохранились на уровне 2012 года. Средние концентрации оксида углерода, хлорида водорода и формальдегида выросли [71].

Отношение средних концентраций загрязняющих веществ к ПДК_{с.с} за 2013 год в Волгограде представлено на рисунке 3.4.



1 – взвешенные вещества, 2 – диоксид серы, 3 – оксид углерода, 4 – диоксид азота, 5 – оксид азота, 6 – фенол, 8 – фторид водорода, 9 – хлорид водорода, 10 – аммиак, 11 – формальдегид

Рисунок. 3.4 – Отношение средних концентраций примесей к ПДКс.с в Волгограде

Таким образом, Волгоград представляет интерес к изучению распространения вредных веществ в воздушной среде для оценки загрязнения атмосферы.

3.3 Режим ветра и особенности атмосферной циркуляции

Характеристика ветра и особенности атмосферной циркуляции оказывают существенное влияние на перенос примесей [82]. По справочным данным [14, 16, 36, 62, 78] в Волгограде в течение года преобладает широтная циркуляция атмосферы, особенно хорошо она выражена в холодный период. В годовом ходе в Волгограде наблюдается преобладание восточного и западного направления ветров.

Для изучения характера распределения ветров в Волгограде по румбам за пятилетний период (2010-2014 гг.) приняты исходные данные дневника погоды Gismeteo [84]. Розы ветров [39], 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 3.5).

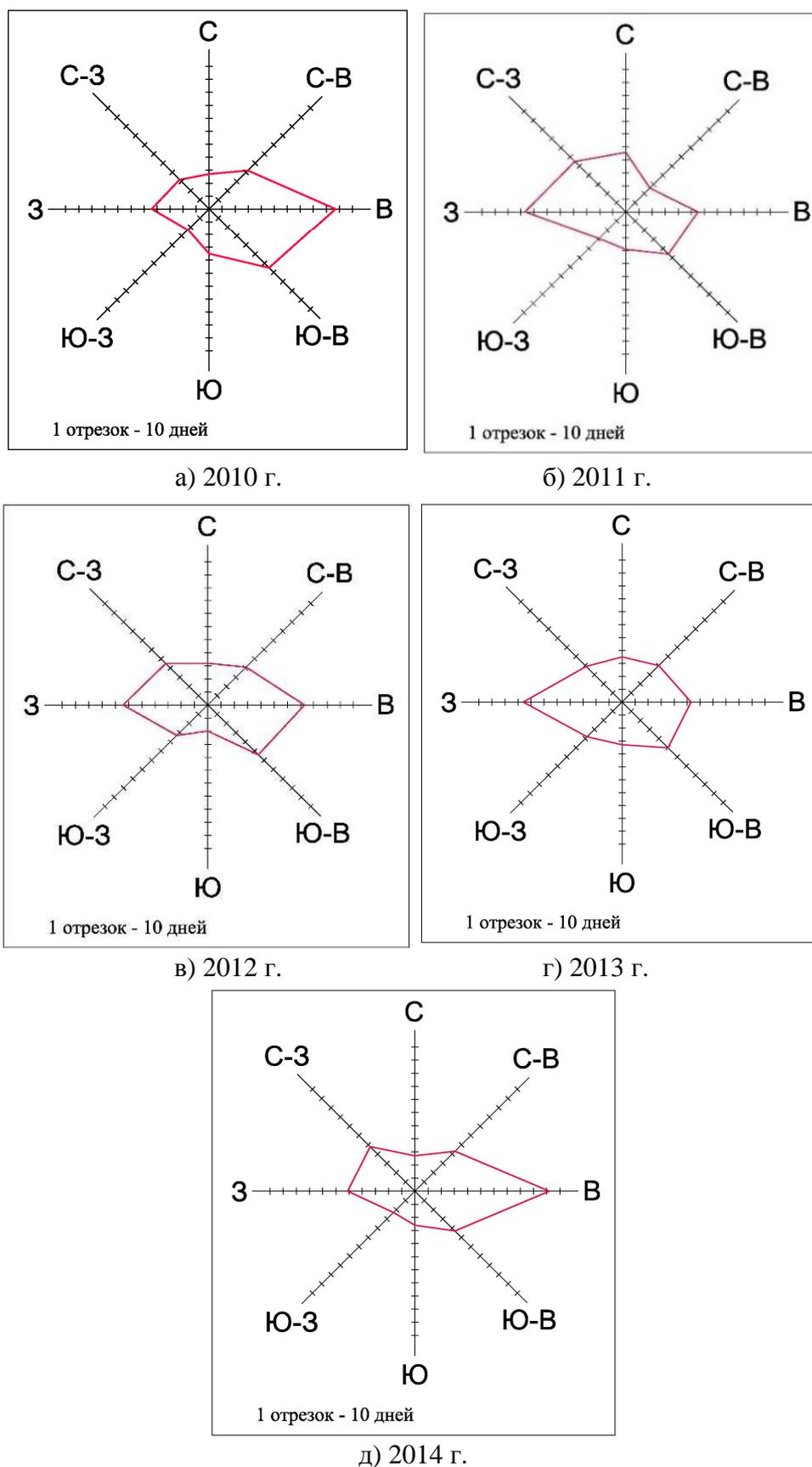


Рисунок 3.5 – Розы ветров г. Волгограда за 2010 – 2014 гг.

Характеристика режима ветра, также изученная за 2010-2014 гг. по данным Gismeteo [84], обработана и составлена в 40 таблицах, пример одной из которых представлен в приложении Б. Среднегодовая скорость ветра в Волгограде составляет 5,3 м/с. Распределения скорости ветра по 8 румбам за 2010-2014 гг. приведены в приложении Б. Среднегодовые характеристики ветра в г. Волгограде за 2010-2014 гг. указаны в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – 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 показывает 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 это находит подтверждение в построенной зависимости скорости ветра от повторяемости направления ветра в течение года (рисунок 3.6).

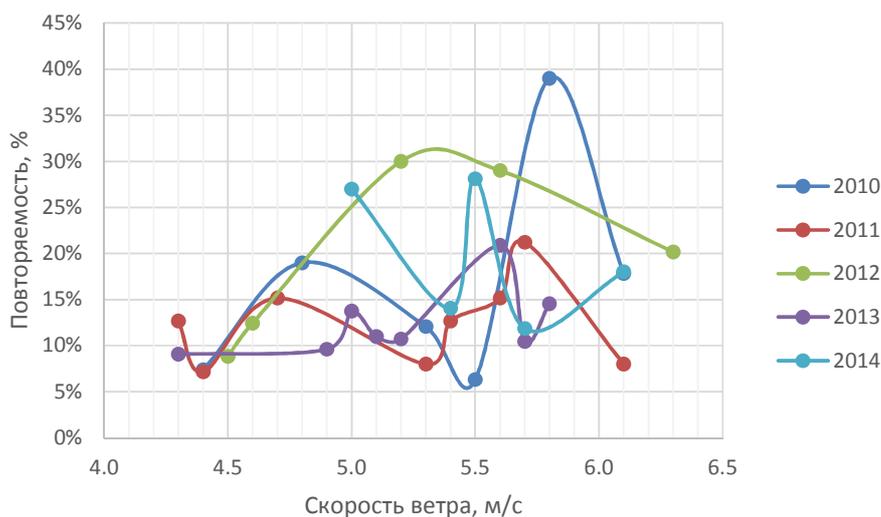


Рисунок 3.6 – Функции распределения повторяемости направления ветра от скорости ветра

По проведенным исследованиям дана характеристика режима ветра г. Волгограда за 2010-2014 гг., а также доказано практическое отсутствие взаимосвязи между скоростью и направлением ветра в течение всего периода наблюдений.

3.4 Распределение повторяемости скоростей ветра

В результате многочисленных исследований [31, 65, 89, 91] выявлено, что распределение скоростей ветра описывается двухпараметрическим уравнением Вейбулла [86]:

$$F(U) = 1 - \exp\left[-(U/c)^k\right], \quad (3.1)$$

где k – параметр формы, c – параметр масштаба,
 U – скорость ветра [м/с].

Проверка гипотез о подчинении значений повторяемости скоростей ветра нормальному, логнормальному, Максвелла и др. законам распределения [88, 90, 91] показала, что закон Вейбулла наиболее характерен и обладает неоспоримым преимуществом.

Нами была проведена проверка подчинения повторяемостей скоростей ветра распределению Вейбулла в г. Волгограде за изучаемый пятилетний период.

Исходные данные принимались из дневника погоды [84], которые представлены в сводной таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Повторяемость скоростей ветра

Скорость ветра, м/с	Количество дней				
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
0	0	2	3	1	2
1	2	4	4	8	3
2	15	28	23	18	18
3	41	38	43	42	33
4	59	51	36	53	41
5	43	47	61	46	67
6	63	57	49	57	60
7	51	52	52	44	50
8	30	32	30	37	35
9	17	26	29	31	20
10	22	12	15	9	17
11	11	5	10	8	7
12	4	9	6	4	9
13	5	2	3	2	1
14	2	-	1	3	1
15	-	-	-	1	1
16	-	-	-	1	-

По исходным данным построены дифференциальные функции распределения повторяемости скоростей ветра г. Волгограда за 2010-2014 гг. (рисунок 3.7). Площадь под каждой из приведенных кривых одинакова.

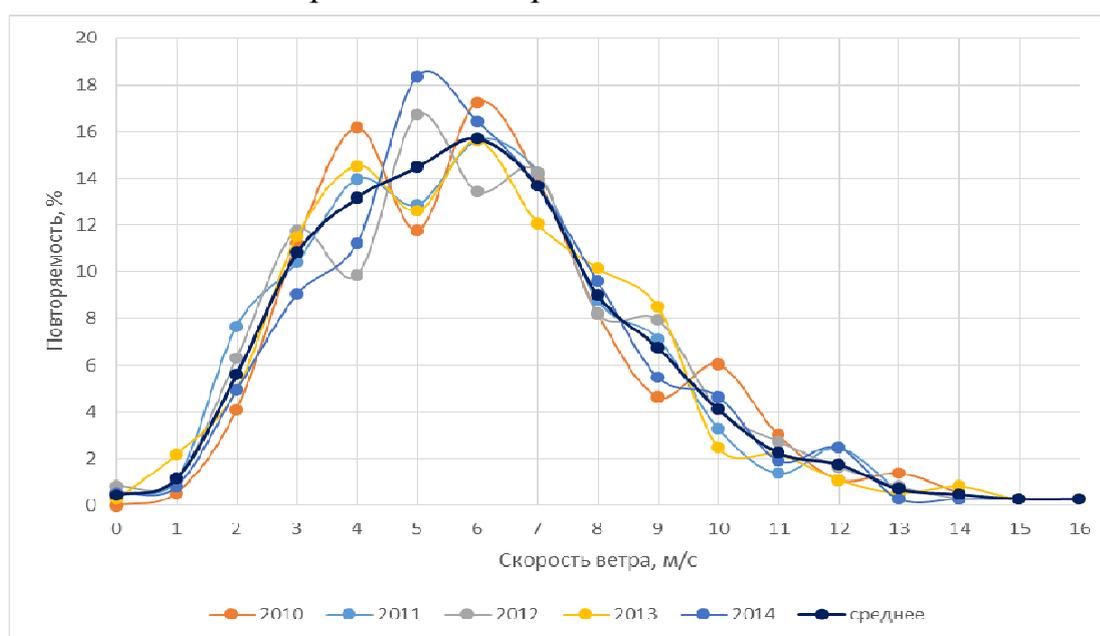


Рисунок 3.7 – Дифференциальные функции распределения повторяемости скоростей ветра за 2010 – 2014 гг.

После этого, при обработке статистических данных были рассчитаны выборочная средняя скорость ветра \bar{U} и выборочная дисперсия D_U аналогично формулам [65, 92]:

$$\bar{U} = \sum_{i=1}^n w_i U_i, \quad (3.2)$$

где n – число измерений U за данный период,

n_i – частота попадания U в i -ый интервал,

$w_i = n_i / n$ – относительная частота.

$$D_U = \sum_{i=1}^n w_i (U_i - U_{bc})^2. \quad (3.3)$$

Для расчета параметра формы k применялось трансцендентное уравнение относительно данного параметра аналогично формуле [65]:

$$f(k) = \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) / \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) - \frac{D_U}{\bar{U}^2} - 1 = 0, \quad (3.4)$$

где $\Gamma(x)$ – гамма-функция.

Для решения уравнения (3.4) использовался метод бисекций, затем вычислялся параметр масштаба c :

$$c = \bar{U} / \Gamma(1 + 1/k). \quad (3.5)$$

Проверка гипотезы о подчинении распределения повторяемости ветра закону Вейбулла осуществлялась с помощью критерия согласия Пирсона χ^2 . Наблюдаемое значение критерия согласия Пирсона [29] вычислялось по формуле:

$$\chi_n^2 = n \sum_{i=1}^m (w_i - p_i)^2 / p_i, \quad (3.6)$$

где p_i – вероятность попадания скорости ветра в i -ый интервал.

В случае, если $\chi_{набл}^2 \leq \chi_{теор}^2$, заключаем, что эмпирический ряд хорошо согласуется с гипотезой о предполагаемом распределении и можно утверждать, что расхождение между теоретическими и наблюдаемыми частотами случайно. При использовании критерия Пирсона число степеней свободы подсчитывалось по формуле:

$$k_c = s - 1 - r, \quad (3.7)$$

где s и r – число разрядов и параметров, оцениваемых по выборке.

Для обеспечения автоматизации проверки гипотезы [31] вместо табличных значений критических точек [30] распределения χ_p^2 нами была использована упрощенная аппроксимация Корниша–Фишера, обладающая достаточной точностью и справедливая для произвольного значения числа степеней свободы [63]:

$$\chi_p^2(k) = k + u_p \sqrt{2k} + 2u_p(u_p - 1)/3 + u_p(u_p - 7)/(9\sqrt{2k}). \quad (3.8)$$

Квантиль уровня стандартного нормального распределения u_p находится по формуле:

$$u_p = 4,91[(1-p)^{0,14} - p^{0,14}] \quad (3.9)$$

с относительной погрешностью менее 0,05%.

Для расчетов данных повторяемости скоростей ветра нами была разработана программа согласно ГОСТ 19.701-90 [34], блок-схема которой представлена на рисунках 3.8-3.14. Программа вычисляет параметры распределения Вейбулла, а также теоретическое и наблюдаемое значение критерия согласия Пирсона.

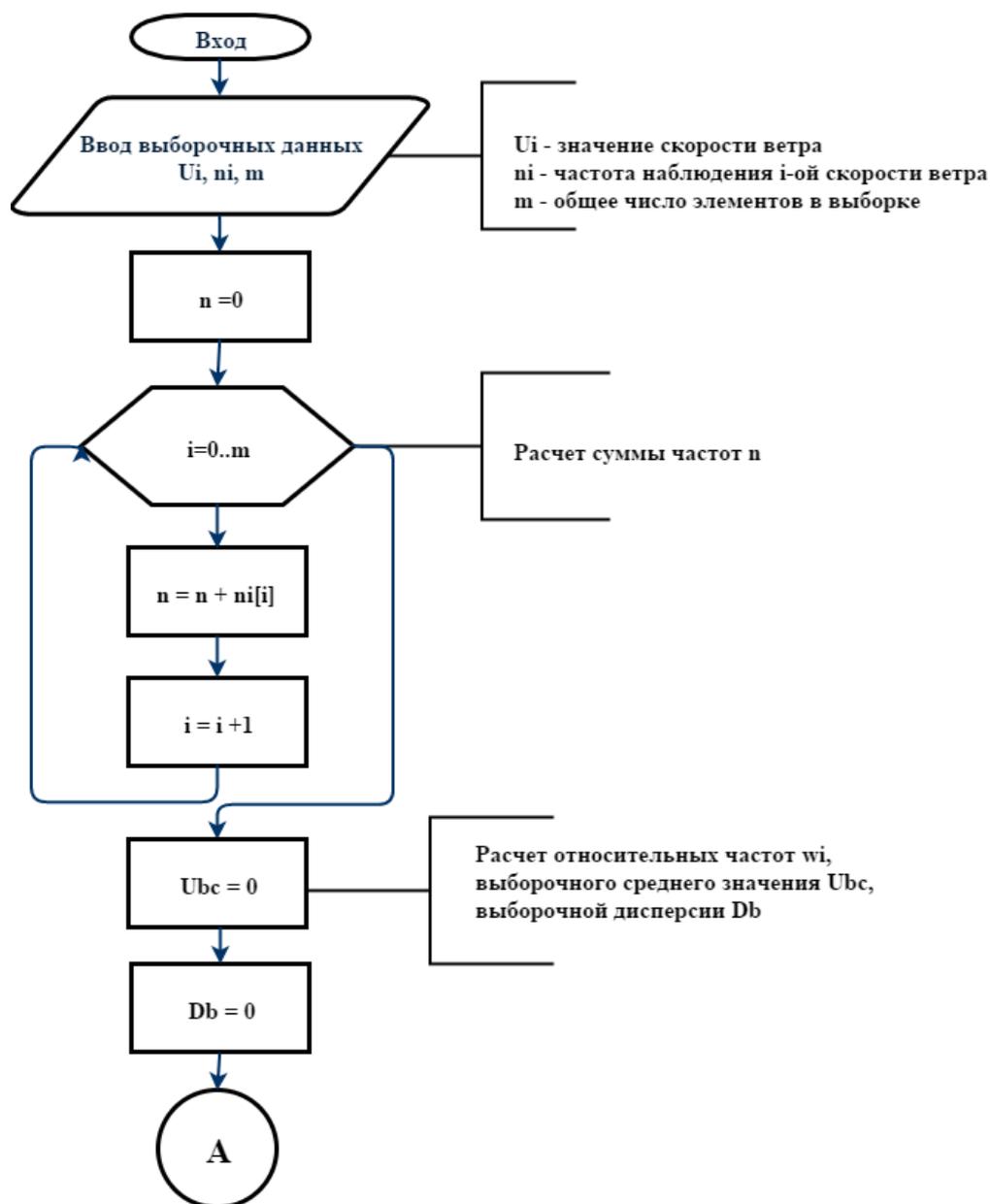


Рисунок 3.8 – Блок-схема программы проверки гипотезы Вейбулла о законе распределения повторяемости скоростей ветра (часть 1)

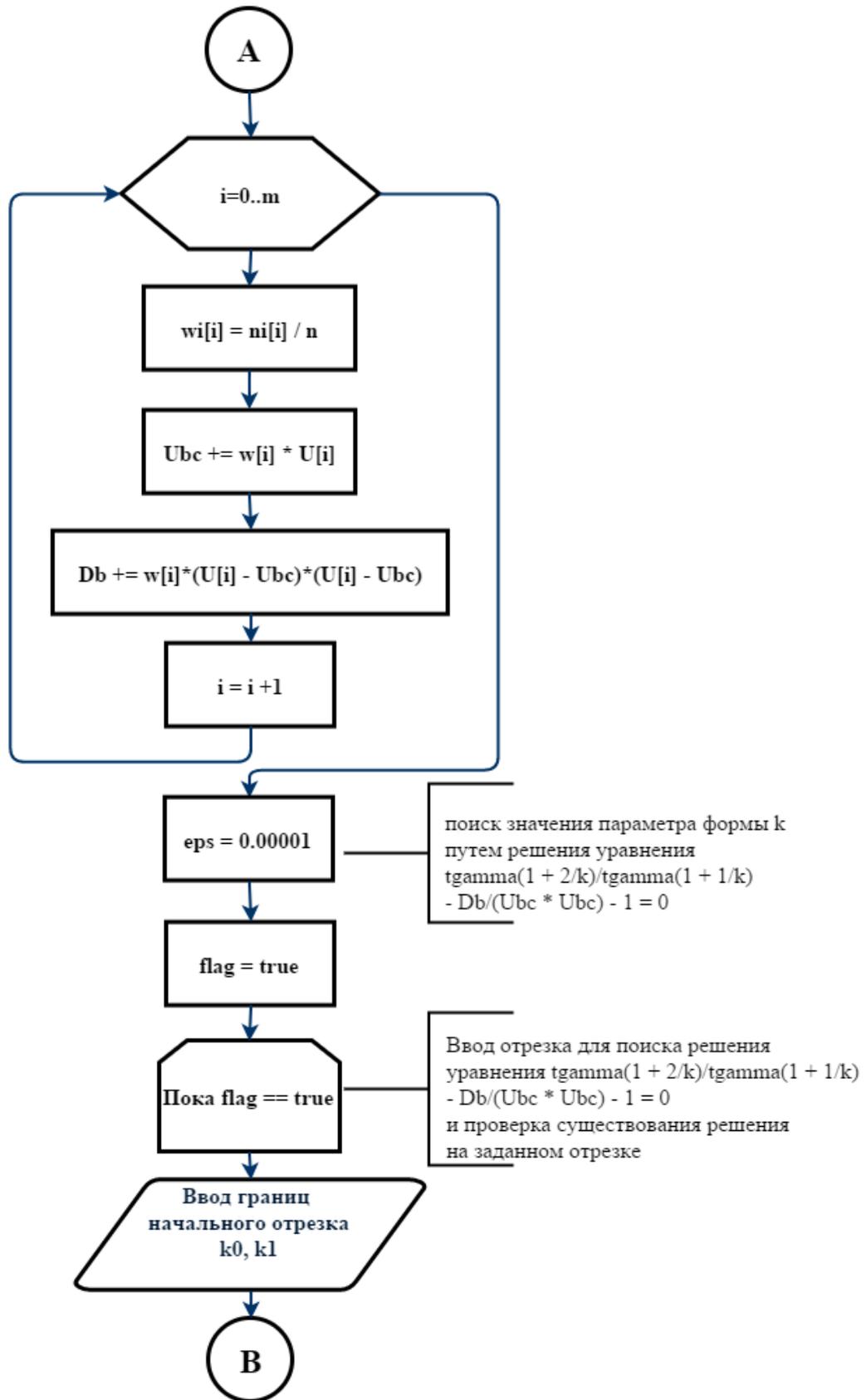


Рисунок 3.9 – Блок-схема программы проверки гипотезы Вейбулла о законе распределения повторяемости скоростей ветра (часть 2)

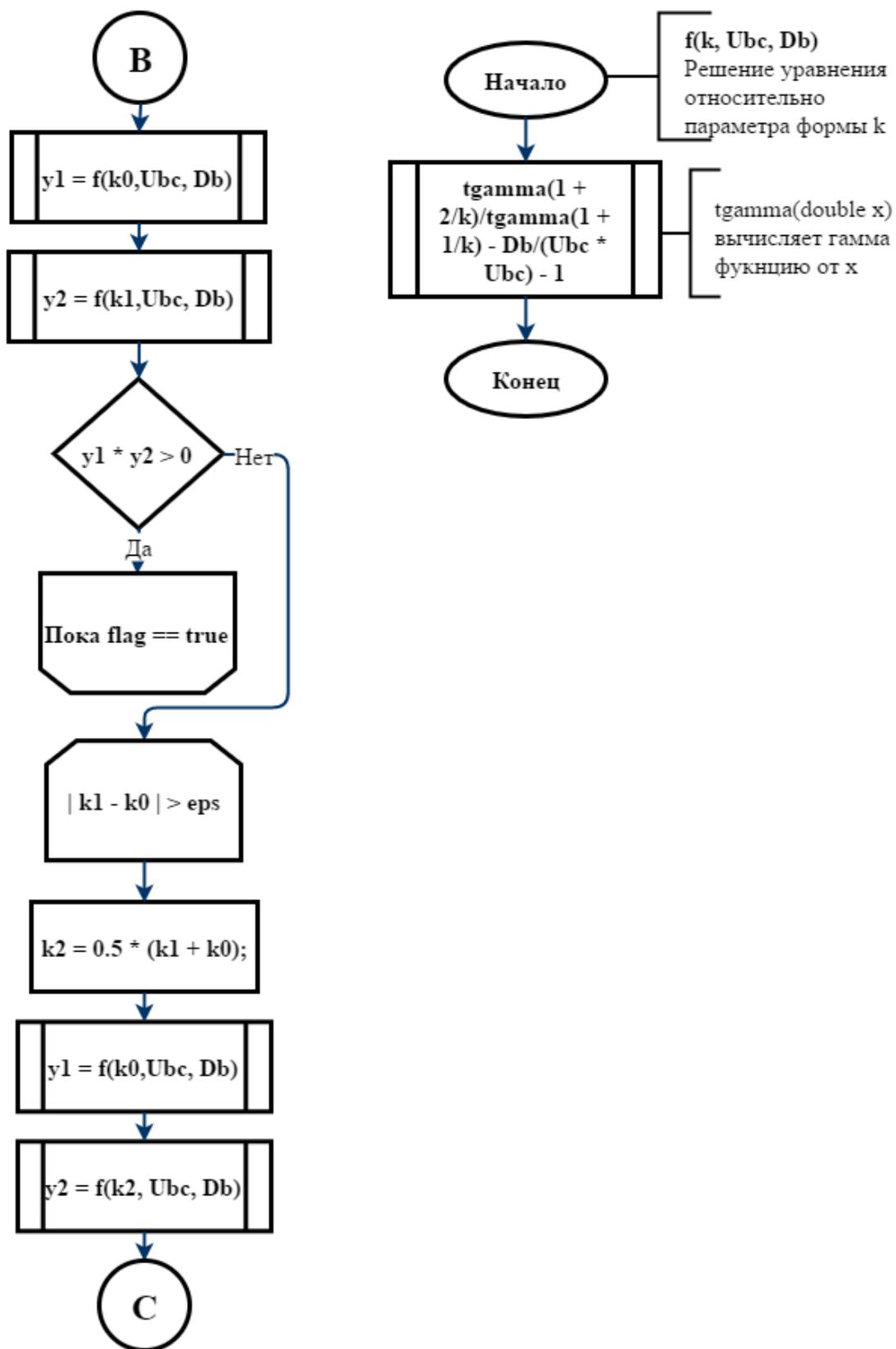


Рисунок 3.10 – Блок-схема программы проверки гипотезы Вейбулла о законе распределения повторяемости скоростей ветра (часть 3)

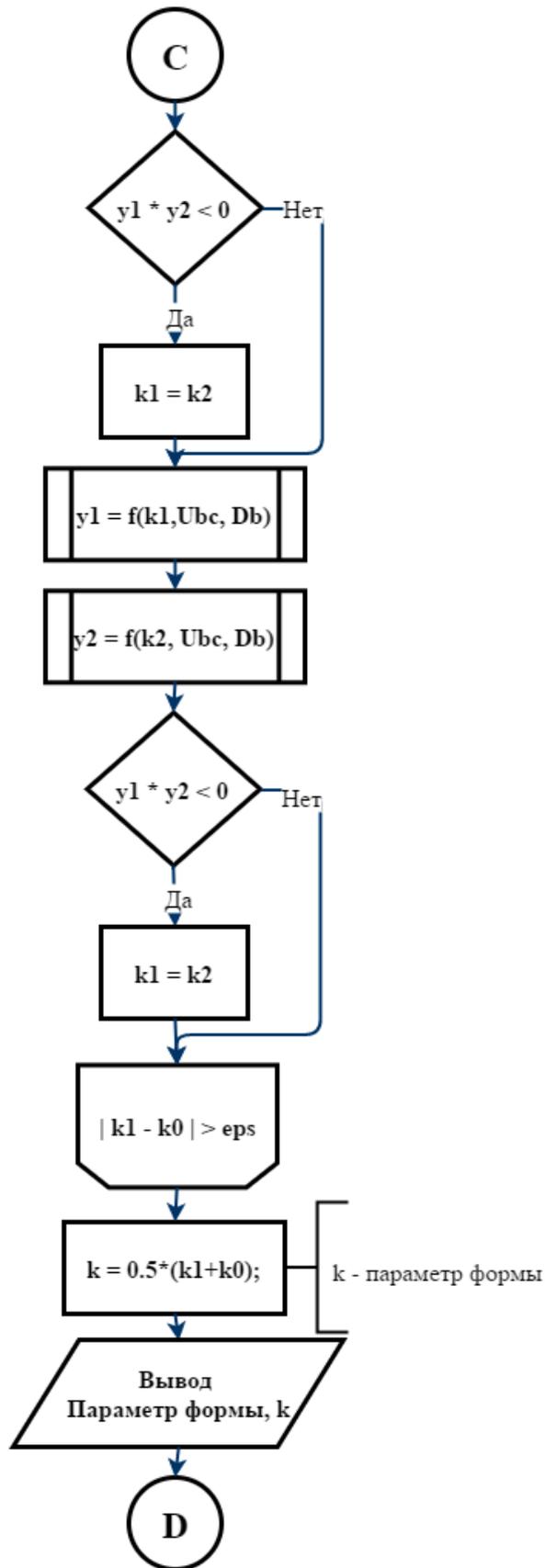


Рисунок 3.11 – Блок-схема программы проверки гипотезы Вейбулла о законе распределения повторяемости скоростей ветра (часть 4)

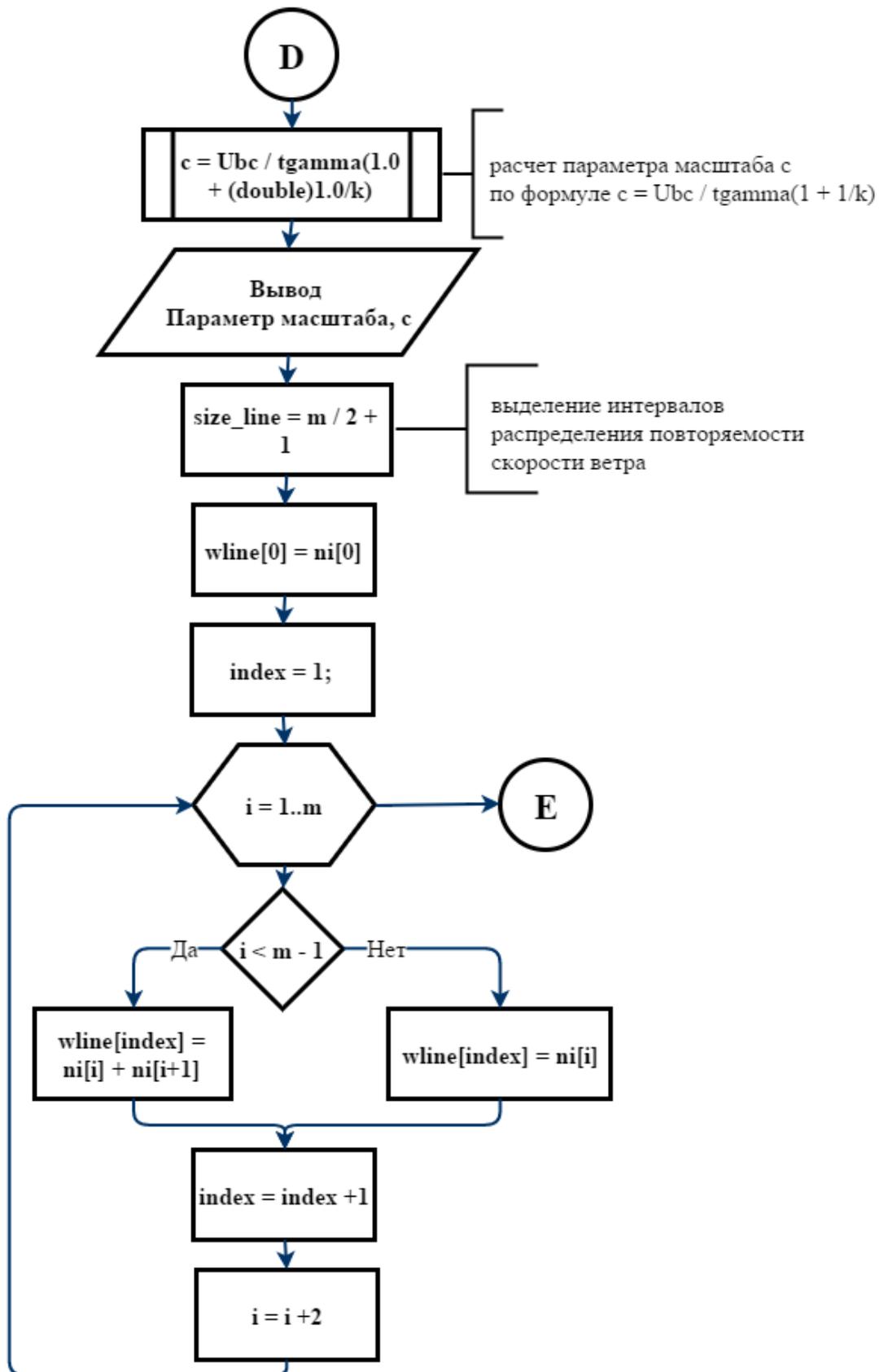


Рисунок 3.12 – Блок-схема программы проверки гипотезы Вейбулла о законе распределения повторяемости скоростей ветра (часть 5)

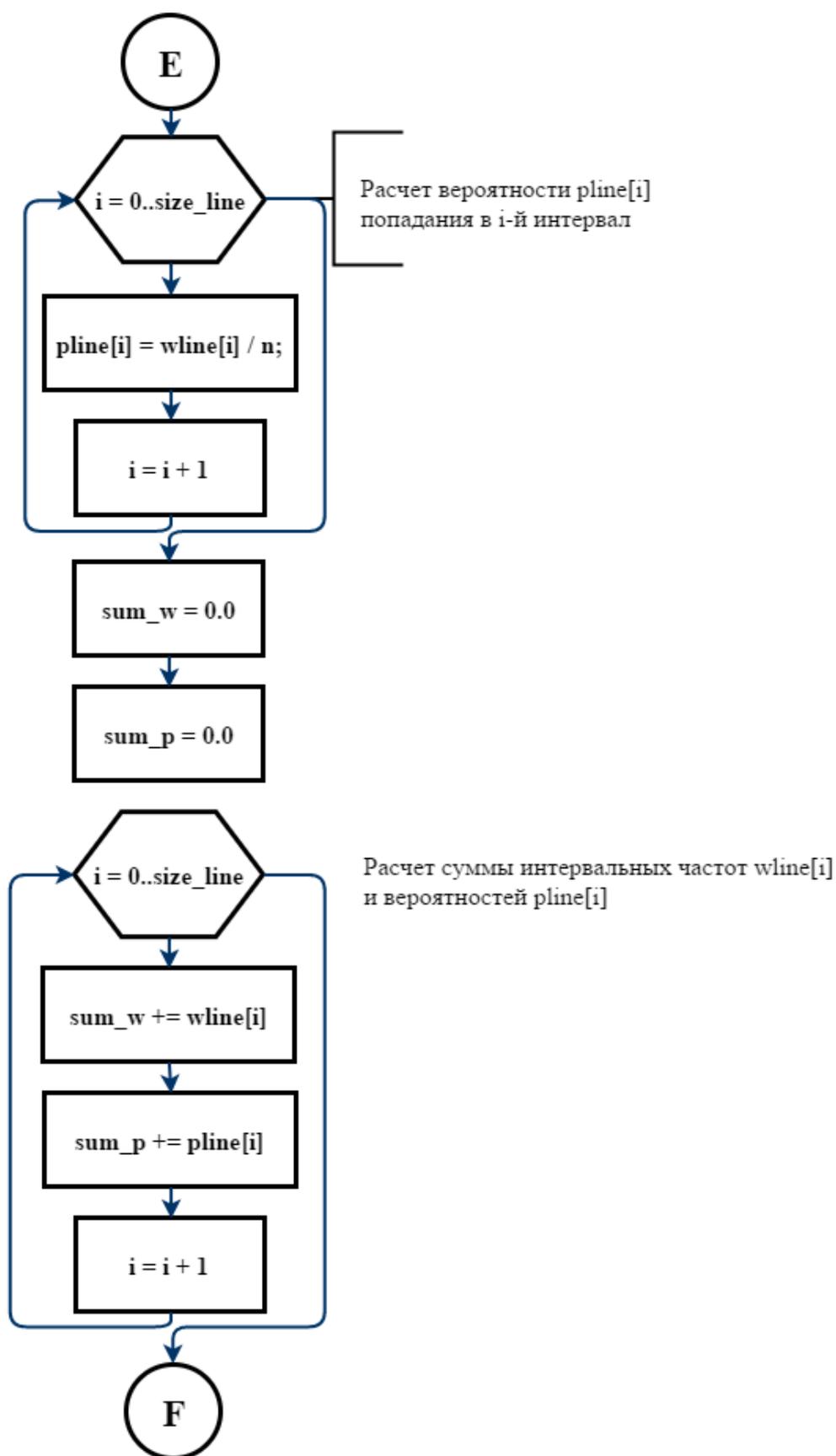


Рисунок 3.13 – Блок-схема программы проверки гипотезы Вейбулла о законе распределения повторяемости скоростей ветра (часть б)

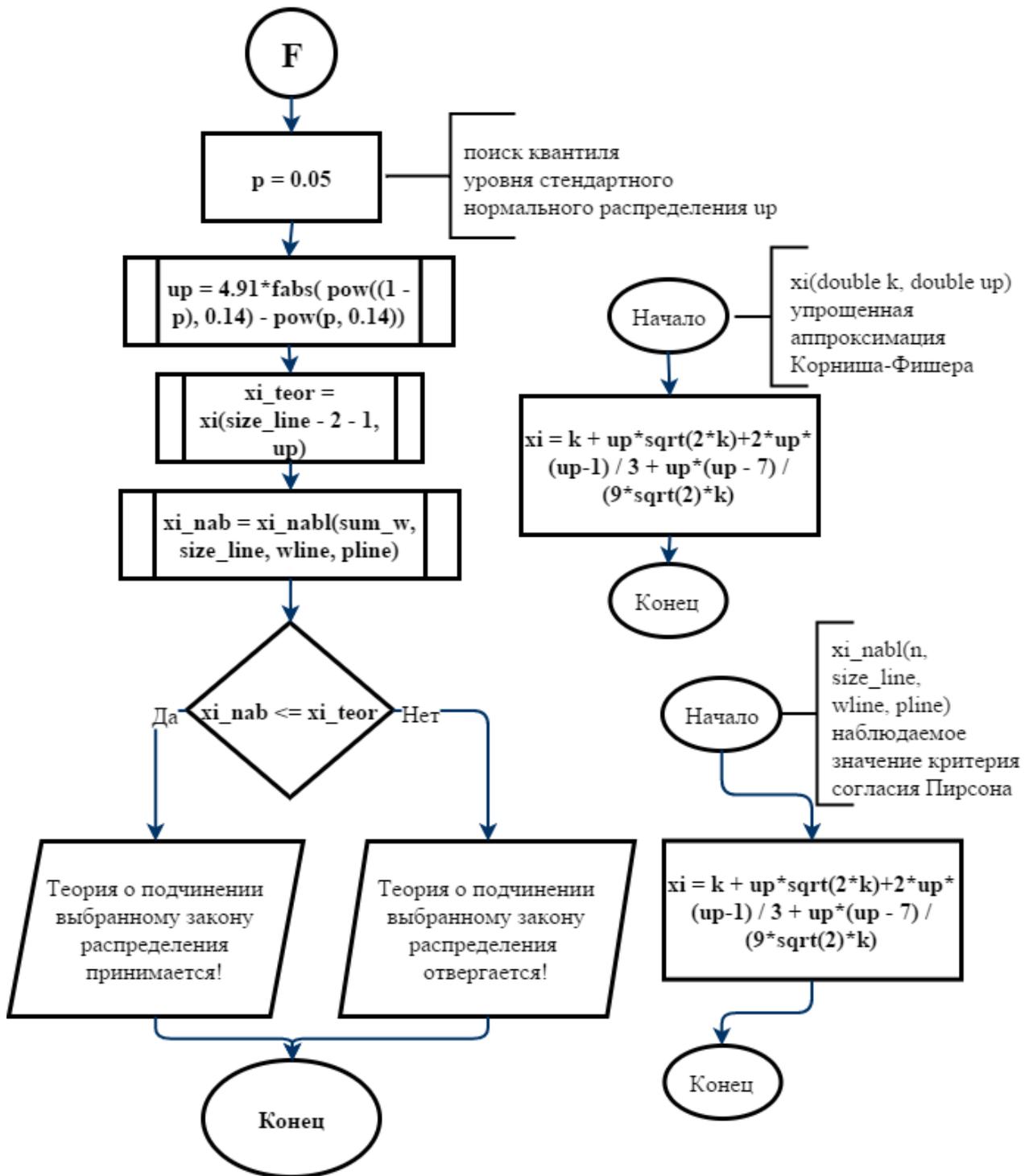


Рисунок 3.14 – Блок-схема программы проверки гипотезы Вейбулла о законе распределения повторяемости скоростей ветра (часть 7)

В таблице 3.8 приведены результаты расчетов по разработанной программе.

Таблица 3.8 – 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, $\chi^2_{теор}$	Наблюдаемое значение критерия Пирсона, $\chi^2_{набл}$
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 $\chi^2_{набл} \leq \chi^2_{теор}$ следует, что распределение повторяемости скорости ветра за 2010-2014 гг. по г. Волгограду подчиняется закону Вейбулла.

3.5 Расчет поступления загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по районам города

Для оценки межрайонного переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе изучен период с 2010 по 2013 гг. Расчет поступления вредностей в воздушном бассейне проводился по формулам 2.6 – 2.10. В процессе исследования была составлена универсальная таблица взаимовлияния районов для Волгограда с учетом сторон света по 16 румбам (таблица 3.9). Каждая ячейка данной таблицы показывает по какому направлению ветра осуществляется перенос вредных веществ с загрязняющего района в загрязняемый [5]. Так, например, поступление вредностей с Дзержинского района в Красноармейский

будет происходить только при северном или северо-северо-западном направлении ветра.

Таблица 3.9 – Таблица взаимовлияния районов города и прилегающих к нему территорий с учетом направления ветра

Загрязняемые районы	Загрязняющие районы											
	Красноармейский	Кировский	Советский	Ворошиловский	Дзержинский	Центральный	Краснооктябрьский	Тракторозаводский	Среднеахтубинский	Волжский	Городищенский	Светлоярский
Красноармейский	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З Ю-З З-Ю-З З З-С-З С-З С-С-З	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З Ю-З З-Ю-З З З-С-З С-З С-С-З	С С-С-В 3-С-З С-З С-С-З	С С-С-З	С С-С-З	С С-С-З	С С-С-З С-С-В	С С-С-В	С С-С-В С-В В-С-В С-С-З	С-В С-С-В	С 3-С-З С-З С-С-З	В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З Ю-З З-Ю-З З 3-С-З
Кировский	В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З Ю-З З-Ю-З З З-С-З С-З С-С-З	С С-С-В 3-Ю-З З 3-С-З С-З С-С-З	С С-С-В 3-С-З С-З С-С-З	С С-С-В С-С-З	С С-С-В С-В С-С-З	С С-С-В С-С-З	С-С-В	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В С-С-З	С-С-В С-В	С С-С-В 3-С-З С-З С-С-З	В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З Ю-З З-Ю-З З
Советский	В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю	В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З Ю-З З-Ю-З З З-С-З С-З С-С-З	С С-С-В С-В В-С-В С-С-З	С С-С-В С-В В-С-В С-С-З	С-С-В С-В В-С-В	С-С-В С-В В-С-В	С-С-В С-В	С-В В-С-В В В-Ю-В	С-В В-С-В	С С-С-В З 3-С-З С-З С-С-З	С-С-В В-С-В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-З Ю-З З-Ю-З

Загрязняющие районы												
Загрязняемые районы	Красноармейский	Кировский	Советский	Ворошиловский	Дзержинский	Центральный	Краснооктябрьский	Тракторозаводский	Среднеахтубинский	Волжский	Городищенский	Светлоярский
Ворошиловский	Ю-В Ю-Ю-В Ю	В-Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С С-С-В С-В В-С-В С-С-В С-В В-С-В С-С-3	С-С-В С-В В-С-В	С-С-В С-В	С-С-В С-В	С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В	С-В В-С-В	С С-С-В 3 3-С-3 С-3 С-С-3	В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3
Дзержинский	Ю-Ю-В Ю	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3	В-Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	В-С-В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В	С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-Ю-В С-С-3	С-С-В С-В В-С-В	С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В	С-В В-С-В	С С-С-В С-В В-С-В В-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3
Центральный	Ю-Ю-В Ю	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3	3-Ю-3 3-С-3 С-3 С-С-3	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С-С-В С-В В-С-В С-С-3	С-С-В С-В	С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю	С-В В-С-В	С С-С-В 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3
Краснооктябрьский	Ю-Ю-В Ю	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	Ю-Ю-3 Ю-3	Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3	Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С-С-В С-В В-С-В	С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю	С-В В-С-В В	С С-С-В 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3

Загрязняющие районы												
Загрязняемые районы	Красноармейский	Кировский	Советский	Ворошиловский	Дзержинский	Центральный	Краснооктябрьский	Тракторозаводский	Среднеахтубинский	Волжский	Городищенский	Светлоярский
Тракторозаводский	Ю Ю-Ю-3	Ю Ю-Ю-3	Ю-Ю-3 Ю-3	Ю-Ю-3 Ю-3	Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3	Ю Ю-Ю-3 Ю-3	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю	С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В	С С-С-В 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3
Среднеахтубинский	Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3	Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3	Ю-3 3-Ю-3 3	Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С С-В В-С-В Ю Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3
Волжский	Ю Ю-Ю-3	Ю-Ю-3 Ю-3	Ю-3 3-Ю-3	Ю-3 3-Ю-3	Ю-3 3-Ю-3	Ю-3 3-Ю-3	Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3	3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3
Городищенский	В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3	В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3	В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю	В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 3 3-С-3 С-3 С-С-3	Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3

Загрязняемые районы		Загрязняющие районы											
		Красноармейский	Кировский	Советский	Ворошиловский	Дзержинский	Центральный	Краснооктябрьский	Тракторозаводский	Среднеахтубинский	Волжский	Городищенский	Светлоярский
Светлоярский	С С-С-В С-В В-С-В В З З-С-З С-З С-С-З	С С-С-В С-В В-С-В В 3-С-3 С-З С-С-З	С С-С-В С-В 3-С-3 С-З С-С-З	С С-С-В С-В С-З С-С-З	С С-С-В С-В С-З С-С-З	С С-С-В С-В С-З С-С-З	С С-С-В С-В С-З С-С-З	С С-С-В С-В С-З С-С-З	С С-С-В С-В С-З С-С-З	С С-С-В С-В В-С-В С-С-З	С С-С-В С-В С-З С-С-З	С С-С-В С-В 3-С-3 С-З С-С-З	С С-С-В С-В В-С-В В В-Ю-В Ю-В Ю-Ю-В Ю Ю-Ю-3 Ю-3 3-Ю-3 З З-С-3 С-З С-С-З

Матрицы взаимовлияния районов города и прилегающих к нему территорий, полученные по формулам 2.10-2.11, представлены ниже:

$$B_{2010} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0.18 & 1.00 & 0.07 & 0.07 & 0.07 & 0.07 & 0.10 & 0.10 & 0.45 & 0.12 & 0.16 & 0.46 \\ 0.18 & 0.10 & 1.00 & 0.10 & 0.07 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.38 & 0.12 & 0.35 & 0.34 \\ 0.18 & 0.10 & 0.08 & 1.00 & 0.07 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.56 & 0.12 & 0.35 & 0.34 \\ 0.23 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 1.00 & 0.14 & 0.27 & 0.19 & 0.56 & 0.19 & 0.35 & 0.34 \\ 0.23 & 0.10 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 1.00 & 0.10 & 0.10 & 0.56 & 0.19 & 0.35 & 0.34 \\ 0.23 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.12 & 0.08 & 1.00 & 0.10 & 0.65 & 0.27 & 0.35 & 0.34 \\ 0.23 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.09 & 0.08 & 0.08 & 1.00 & 0.65 & 0.27 & 0.35 & 0.34 \\ 0.60 & 0.28 & 0.18 & 0.27 & 0.27 & 0.27 & 0.35 & 0.35 & 1.00 & 1.00 & 0.35 & 0.34 \\ 0.08 & 0.06 & 0.06 & 0.06 & 0.09 & 0.09 & 0.12 & 0.12 & 1.00 & 1.00 & 0.27 & 0.16 \\ 0.27 & 0.27 & 0.65 & 0.65 & 0.65 & 0.65 & 0.65 & 0.65 & 0.65 & 0.56 & 1.00 & 0.27 \\ 0.66 & 0.54 & 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.19 & 0.16 & 1.00 \end{matrix} \\ \end{matrix} \quad (3.10)$$

$$B_{2011} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1.00 & 0.15 & 0.15 & 0.15 & 0.27 & 0.27 & 0.27 & 0.27 & 0.56 & 0.10 & 0.28 & 0.65 \\ 0.13 & 1.00 & 0.13 & 0.13 & 0.13 & 0.13 & 0.10 & 0.10 & 0.35 & 0.07 & 0.28 & 0.50 \\ 0.13 & 0.08 & 1.00 & 0.10 & 0.13 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.22 & 0.07 & 0.57 & 0.29 \\ 0.13 & 0.08 & 0.08 & 1.00 & 0.13 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.35 & 0.07 & 0.57 & 0.29 \\ 0.18 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 1.00 & 0.10 & 0.15 & 0.11 & 0.35 & 0.11 & 0.57 & 0.29 \\ 0.18 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.14 & 1.00 & 0.10 & 0.10 & 0.35 & 0.11 & 0.57 & 0.29 \\ 0.18 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.21 & 0.08 & 1.00 & 0.10 & 0.43 & 0.15 & 0.57 & 0.29 \\ 0.18 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.15 & 0.08 & 0.08 & 1.00 & 0.43 & 0.15 & 0.57 & 0.29 \\ 0.44 & 0.37 & 0.29 & 0.44 & 0.44 & 0.44 & 0.57 & 0.57 & 1.00 & 1.00 & 0.57 & 0.29 \\ 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.08 & 0.15 & 0.15 & 0.21 & 0.21 & 1.00 & 1.00 & 0.44 & 0.16 \\ 0.21 & 0.21 & 0.43 & 0.43 & 0.43 & 0.43 & 0.43 & 0.43 & 0.43 & 0.35 & 1.00 & 0.21 \\ 0.71 & 0.50 & 0.35 & 0.35 & 0.35 & 0.35 & 0.35 & 0.35 & 0.35 & 0.20 & 0.28 & 1.00 \end{matrix} \\ \end{matrix} \quad (3.11)$$

$$B_{2012} = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.12 & 0.12 & 0.12 & 0.20 & 0.20 & 0.20 & 0.20 & 0.50 & 0.10 & 0.21 & 0.67 \\ 0.15 & 1.00 & 0.09 & 0.09 & 0.09 & 0.09 & 0.10 & 0.10 & 0.40 & 0.11 & 0.21 & 0.47 \\ 0.15 & 0.06 & 1.00 & 0.10 & 0.09 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.31 & 0.11 & 0.48 & 0.30 \\ 0.15 & 0.06 & 0.07 & 1.00 & 0.09 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.46 & 0.11 & 0.48 & 0.30 \\ 0.16 & 0.06 & 0.06 & 0.06 & 1.00 & 0.10 & 0.20 & 0.16 & 0.46 & 0.16 & 0.48 & 0.30 \\ 0.16 & 0.06 & 0.07 & 0.07 & 0.11 & 1.00 & 0.10 & 0.10 & 0.46 & 0.16 & 0.48 & 0.30 \\ 0.16 & 0.07 & 0.07 & 0.07 & 0.18 & 0.07 & 1.00 & 0.10 & 0.52 & 0.20 & 0.48 & 0.30 \\ 0.16 & 0.07 & 0.07 & 0.07 & 0.14 & 0.07 & 0.07 & 1.00 & 0.52 & 0.20 & 0.48 & 0.30 \\ 0.50 & 0.32 & 0.27 & 0.39 & 0.39 & 0.39 & 0.48 & 0.48 & 1.00 & 1.00 & 0.48 & 0.30 \\ 0.07 & 0.09 & 0.09 & 0.09 & 0.14 & 0.14 & 0.18 & 0.18 & 1.00 & 1.00 & 0.39 & 0.15 \\ 0.20 & 0.20 & 0.52 & 0.52 & 0.52 & 0.52 & 0.52 & 0.52 & 0.52 & 0.46 & 1.00 & 0.20 \\ 0.70 & 0.53 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.33 & 0.20 & 0.21 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$B_{2013} = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.11 & 0.11 & 0.11 & 0.20 & 0.20 & 0.20 & 0.20 & 0.52 & 0.10 & 0.20 & 0.69 \\ 0.14 & 1.00 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.35 & 0.11 & 0.20 & 0.54 \\ 0.14 & 0.09 & 1.00 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.26 & 0.11 & 0.52 & 0.33 \\ 0.14 & 0.09 & 0.10 & 1.00 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.39 & 0.11 & 0.52 & 0.33 \\ 0.21 & 0.09 & 0.09 & 0.09 & 1.00 & 0.12 & 0.15 & 0.13 & 0.39 & 0.13 & 0.52 & 0.33 \\ 0.21 & 0.09 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 1.00 & 0.10 & 0.10 & 0.39 & 0.13 & 0.52 & 0.33 \\ 0.21 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.21 & 0.10 & 1.00 & 0.10 & 0.48 & 0.15 & 0.52 & 0.33 \\ 0.21 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.16 & 0.10 & 0.10 & 1.00 & 0.48 & 0.15 & 0.52 & 0.33 \\ 0.48 & 0.40 & 0.31 & 0.42 & 0.42 & 0.42 & 0.52 & 0.52 & 1.00 & 1.00 & 0.52 & 0.33 \\ 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.16 & 0.16 & 0.21 & 0.21 & 1.00 & 1.00 & 0.42 & 0.20 \\ 0.23 & 0.23 & 0.48 & 0.48 & 0.48 & 0.48 & 0.48 & 0.48 & 0.48 & 0.39 & 1.00 & 0.23 \\ 0.67 & 0.46 & 0.31 & 0.31 & 0.31 & 0.31 & 0.31 & 0.31 & 0.31 & 0.21 & 0.20 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Вектор-столбец вредных выбросов от стационарных и передвижных источников (т/год):

$$\bar{G}_{\text{выбр}2010} = \begin{bmatrix} 20551,9 \\ 7713,0 \\ 2234,2 \\ 2098,2 \\ 3431,7 \\ 3530,9 \\ 3607,7 \\ 20370,9 \\ 1326,3 \\ 52164,6 \\ 3266,3 \\ 1326,3 \end{bmatrix}, \bar{G}_{\text{выбр}2011} = \begin{bmatrix} 20213,7 \\ 6510,9 \\ 2189,8 \\ 2098,2 \\ 3431,7 \\ 3530,9 \\ 4310,6 \\ 21828,1 \\ 1326,3 \\ 53401,7 \\ 2027,4 \\ 1326,3 \end{bmatrix}, \bar{G}_{\text{выбр}2012} = \begin{bmatrix} 21704,1 \\ 6289,5 \\ 2192,3 \\ 2098,2 \\ 3431,7 \\ 3530,9 \\ 4225,4 \\ 21954,0 \\ 1326,3 \\ 50645,2 \\ 2418,6 \\ 1326,3 \end{bmatrix}, \bar{G}_{\text{выбр}2013} = \begin{bmatrix} 20119,4 \\ 6608,7 \\ 2173,6 \\ 2098,2 \\ 3431,7 \\ 3530,9 \\ 4518,9 \\ 16752,0 \\ 1326,3 \\ 51914,1 \\ 2464,1 \\ 1326,3 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Каждая последующая строка вектора-столбца $\bar{G}_{\text{выбр}}$ показывает выбросы в каждом районе (Красноармейский, Кировский, Советский, Ворошиловский, Дзержинский, Центральный, Краснооктябрьский, Тракторозаводский,

Среднеахтубинский, Волжский, Городищенский и Светлоярский соответственно). Причем считаем, что каждый зарегистрированный автотранспорт загрязняет только свой район. Поступление вредных веществ в каждый район за 2010-2013 гг. приведено на рисунке 3.15.

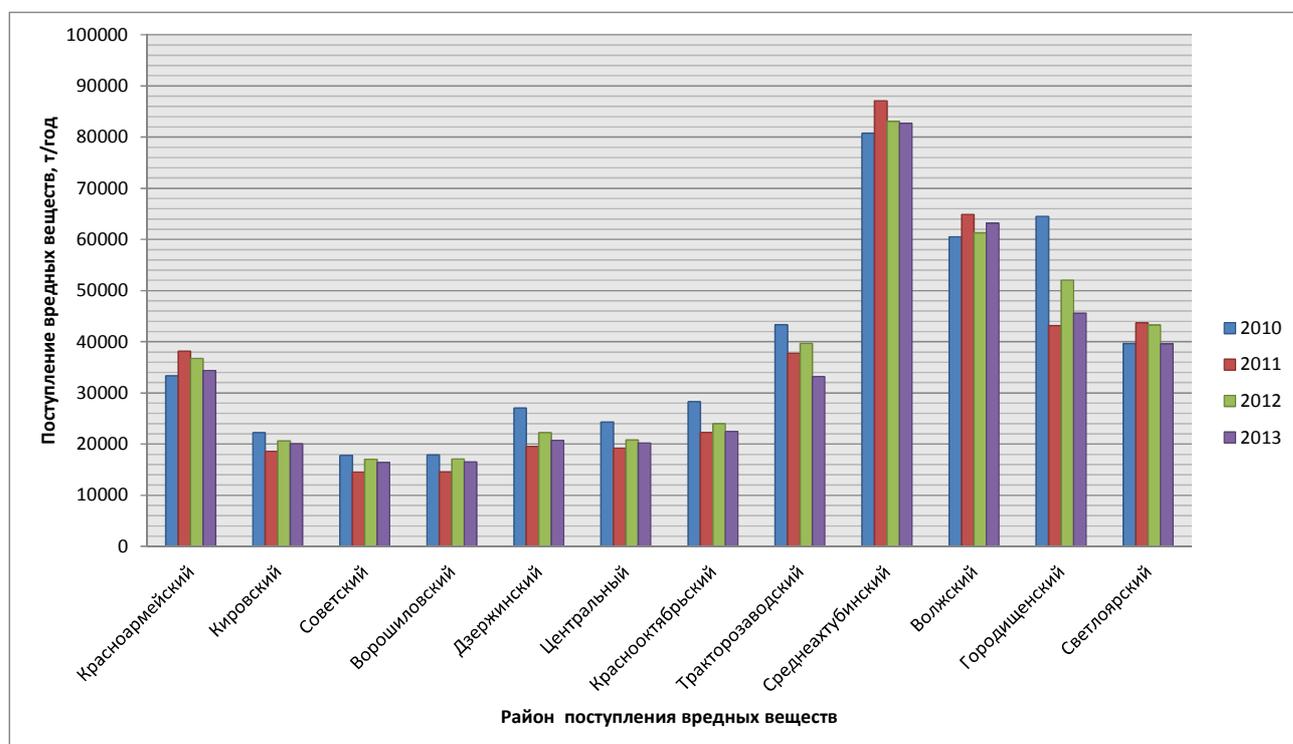


Рисунок 3.15 – Поступление вредных веществ в районы за 2010 – 2013 гг.

Анализ загрязнения атмосферы районов города Волгограда и граничащих с ним районов области за 2010 - 2013 гг. показал, что максимальное поступление вредных веществ приходится на Среднеахтубинский район из районов области и на Тракторозаводский из районов города, минимальное – на Советский и Ворошиловский районы.

В таблице 3.10 и на рисунке 3.16 приведено сравнение загрязнения атмосферы района от собственных источников и путем поступления вредных веществ из других районов.

Таблица 3.10 – Загрязнение атмосферного воздуха в районах за 2010-2013 гг.

№ п/п	Район	Поступление вредных веществ, в т. ч. загрязнение от собств. источников, т/год				Загрязнение от собственных источников, т/год			
		2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
1	Красноармейский	33328.91	38162.92	36771.2	34393.58	20551.9	20213.7	21704.1	20119.4
2	Кировский	22248.27	18604.74	20609.61	20063.16	7713	6510.9	6289.5	6608.7
3	Советский	17808.75	14513.84	17040.21	16431.87	2234.2	2189.8	2192.3	2173.6
4	Ворошиловский	17885.26	14557.17	17093.01	16534.58	2098.2	2098.2	2098.2	2098.2
5	Дзержинский	27041.92	19545.23	22248.15	20729.81	3431.7	3431.7	3431.7	3431.7
6	Центральный	24302.09	19230.66	20806	20205.22	3530.9	3530.9	3530.9	3530.9
7	Краснооктябрьский	28304.25	22276.27	24002.33	22468.79	3607.7	4310.6	4225.4	4518.9
8	Тракторозаводский	43306.70	37746.48	39659.97	33220.85	20370.9	21828.1	21954	16752
9	Среднеахтубинский	80753.49	87103.14	83076.09	82715.70	1326.3	1326.3	1326.3	1326.3
10	Волжский	60518.64	64877.86	61268.56	63192.02	52164.6	53401.7	50645.2	51914.1
11	Городищенский	64493.90	43144.39	52044.9	45614.08	3266.3	2027.4	2418.6	2464.1
12	Светлоярский	39653.40	43714.46	43295.11	39582.81	1326.3	1326.3	1326.3	1326.3

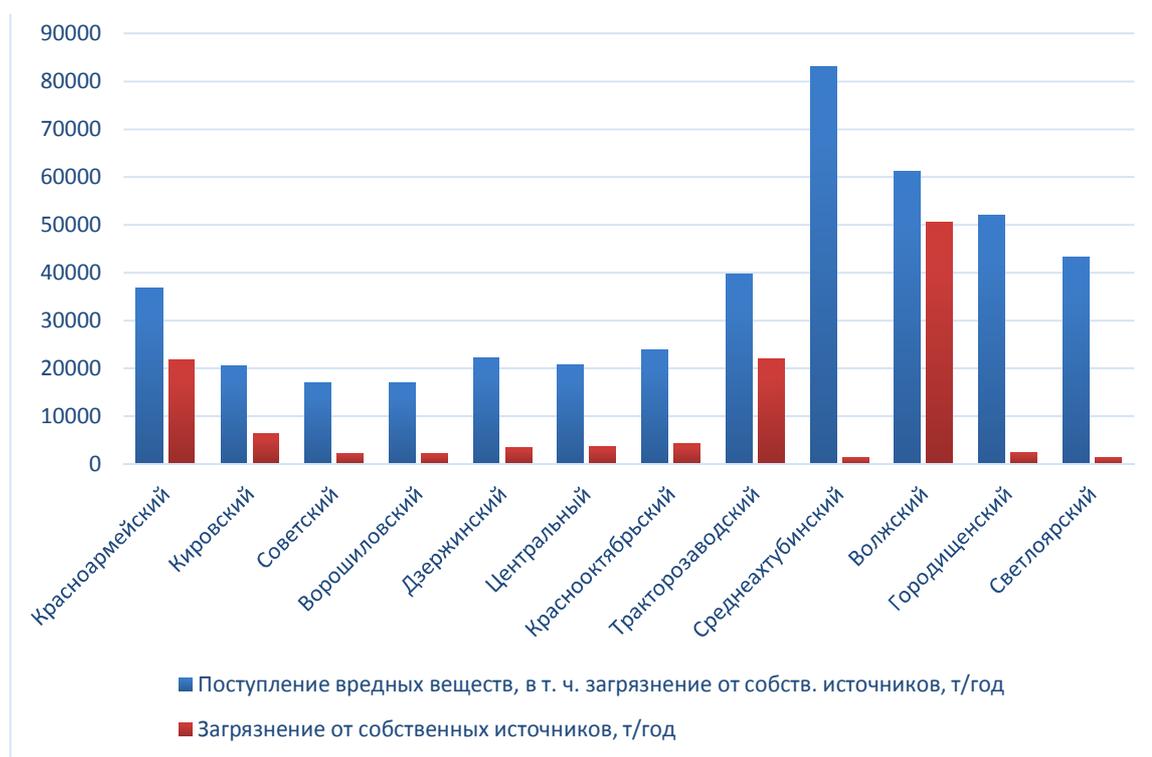


Рисунок 3.16 – Загрязнение атмосферного воздуха в районах города за 2012 г.

Таким образом, 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 %.

3.6 Определение удельной нагрузки загрязнения на атмосферу районов города

Как отмечалось выше, в параграфе 2.3, одним из критериев экологической безопасности является удельная нагрузка загрязнения на атмосферу районов. Расчет данного критерия проводился по формуле (2.11), результаты которого представлены в таблице 3.11 и на рисунке 3.17.

Таблица 3.11 – Удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района

Район	Площадь, км ²	Поступление вредных веществ в район, т/год				Удельная нагрузка загрязнения на атмосферу район, т/год*км ²			
		2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
Красноармейский	230	33328.91	38162.92	36771.20	34393.58	144.91	165.93	159.87	149.54
Кировский	183.98	22248.27	18604.74	20609.61	20063.16	120.93	101.12	112.02	109.05
Советский	60	17808.75	14513.84	17040.21	16431.87	296.81	241.90	284.00	273.86
Ворошиловский	27.8	17885.26	14557.17	17093.01	16534.58	643.35	523.64	614.86	594.77
Дзержинский	85.8	27041.92	19545.23	22248.15	20729.81	315.17	227.80	259.30	241.61
Центральный	11.02	24302.09	19230.66	20806.00	20205.22	2205.27	1745.07	1888.02	1833.50
Краснооктябрьский	34.2	28304.25	22276.27	24002.33	22468.79	827.61	651.35	701.82	656.98
Тракторозаводский	54	43306.70	37746.48	39659.97	33220.85	801.98	699.01	734.44	615.20
Среднеахтубинский	2039	80753.49	87103.14	83076.09	82715.70	39.60	42.72	40.74	40.57
Волжский	229	60518.64	64877.86	61268.56	63192.02	264.27	283.31	267.55	275.95
Городищенский	2450	64493.90	43144.39	52044.90	45614.08	26.32	17.61	21.24	18.62
Светлоярский	3300	39653.40	43714.46	43295.11	39582.81	12.02	13.25	13.12	11.99

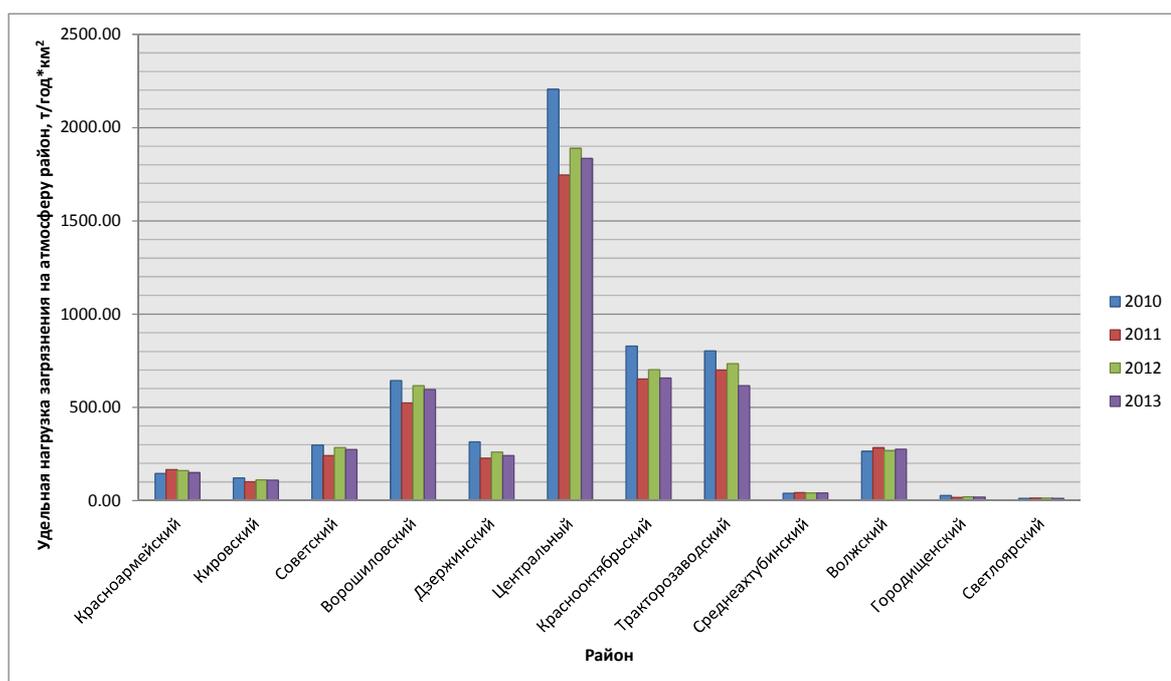


Рисунок 3.17 – Удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района за 2010-2012 г.

Анализ показал, что наибольшую удельную нагрузку загрязнения на атмосферу испытывают Центральный, Краснооктябрьский, Тракторозаводский и Ворошиловский районы (рисунок 3.18), хотя поступления вредных веществ в эти районы были самыми минимальными.



Рисунок 3.18 – Удельная нагрузка загрязнения на атмосферу районов Волгограда

Таким образом, наиболее экологически благоприятные по удельной нагрузке загрязнения на атмосферу являются Кировский и Красноармейский районы города.

Таблица 3.19 – Взаимовлияние районов по северо-западному направлению ветра

Загрязняемые районы (i-районы)	Загрязняющие районы (j-районы)											
	Красноармейский	Кировский	Советский	Ворошиловский	Дзержинский	Центральный	Краснооктябрьский	Тракторозаводский	Среднеахтубинский	Волжский	Городищенский	Светлоярский
Красноармейский	С-3	С-3	С-3								С-3	
Кировский		С-3	С-3	С-3							С-3	
Советский			С-3								С-3	
Ворошиловский				С-3							С-3	
Дзержинский					С-3						С-3	
Центральный					С-3	С-3					С-3	
Краснооктябрьский							С-3				С-3	
Тракторозаводский								С-3			С-3	
Среднеахтубинский				С-3	С-3	С-3	С-3	С-3	С-3	С-3	С-3	
Волжский								С-3		С-3	С-3	
Городищенский											С-3	
Светлоярский	С-3	С-3	С-3	С-3	С-3	С-3	С-3				С-3	С-3

Среднебалансовые концентрации загрязняющих веществ по группам суммаций определялись в разработанной программе, информационная модель которой подробно описывается в параграфе 4.1. Нами была выдвинута гипотеза о подчинении полученных значений среднебалансовых концентраций одному из теоретических законов распределений: логарифмически-нормальному, гамма и экспоненциальному [4, 41, 80]. Для проверки гипотезы использовались критерии согласия Пирсона [29] и одновыборочный критерий Колмогорова [61, 64] для уровня значимости $\beta=5\%$. Если для наблюдаемого значения критерия Пирсона выполняется условие $\chi_{набл}^2 < \lambda_{теор}^2$, то гипотеза о подчинении заданному закону распределения принимается. Если для наблюдаемого значения критерия Колмогорова выполняется условие $\lambda_{набл} < \lambda_{теор}$, то гипотеза о подчинении заданному закону распределения принимается. Результаты проверки представлены в таблицах 3.20 – 3.22.

Таблица 3.20 – Проверка гипотезы о подчинении значений среднебалансовых концентраций логнормальному закону распределения

Район	Год	N	Теоретические (табличные) значения		Гипотеза о логнормальном законе распределения	
			Критерий согласия Пирсона	Критерий согласия Колмогорова	Критерий согласия Пирсона	Критерий согласия Колмогорова
Красноармейский	2010	50	67,505	0,188	41,168	0,083
Красноармейский	2011	50	67,505	0,188	58,096	0,071
Красноармейский	2012	50	67,505	0,188	21,525	0,071
Красноармейский	2013	50	67,505	0,188	37,26	0,081
Кировский	2010	50	67,505	0,188	54,004	0,108
Кировский	2011	50	67,505	0,188	42,812	0,105
Кировский	2012	50	67,505	0,188	16,497	0,109
Кировский	2013	50	67,505	0,188	22,534	0,145
Советский	2010	50	67,505	0,188	226,447	0,124
Советский	2011	50	67,505	0,188	58,476	0,091
Советский	2012	50	67,505	0,188	46,443	0,078
Советский	2013	50	67,505	0,188	43,829	0,097
Ворошиловский	2010	50	67,505	0,188	25,611	0,085
Ворошиловский	2011	50	67,505	0,188	44,981	0,131
Ворошиловский	2012	50	67,505	0,188	47,445	0,124
Ворошиловский	2013	50	67,505	0,188	61,348	0,144
Дзержинский	2010	50	67,505	0,188	93,550	0,144
Дзержинский	2011	50	67,505	0,188	100,383	0,150
Дзержинский	2012	50	67,505	0,188	57,888	0,145
Дзержинский	2013	50	67,505	0,188	60,697	0,164
Центральный	2010	50	67,505	0,188	82,618	0,165
Центральный	2011	50	67,505	0,188	131,096	0,161
Центральный	2012	50	67,505	0,188	80,888	0,163
Центральный	2013	50	67,505	0,188	62,914	0,178
Красноябрьский	2010	50	67,505	0,188	70,931	0,120
Красноябрьский	2011	50	67,505	0,188	53,850	0,153
Красноябрьский	2012	50	67,505	0,188	62,481	0,137
Красноябрьский	2013	50	67,505	0,188	50,233	0,133
Тракторозаводский	2010	35	49,802	0,224	58,769	0,102
Тракторозаводский	2011	35	49,802	0,224	22,093	0,072
Тракторозаводский	2012	35	49,802	0,224	34,069	0,089
Тракторозаводский	2013	35	49,802	0,224	22,604	0,075
г. Волжский	2010	40	55,758	0,210	39,897	0,074
г. Волжский	2011	40	55,758	0,210	48,831	0,096
г. Волжский	2012	40	55,758	0,210	43,689	0,091
г. Волжский	2013	40	55,758	0,210	52,787	0,089

Таблица 3.21 – Проверка гипотезы о подчинении значений среднебалансовых концентраций гамма закону распределения

Район	Год	N	Теоретические (табличные) значения		Гипотеза о гамма законе распределения	
			Критерий согласия Пирсона	Критерий согласия Колмогорова	Критерий согласия Пирсона	Критерий согласия Колмогорова
Красноармейский	2010	50	67,505	0,188	2416,360	0,783
Красноармейский	2011	50	67,505	0,188	80,408	0,110
Красноармейский	2012	50	67,505	0,188	58,538	0,110
Красноармейский	2013	50	67,505	0,188	54,016	0,130
Кировский	2010	50	67,505	0,188	111,232	0,156
Кировский	2011	50	67,505	0,188	444,204	0,603
Кировский	2012	50	67,505	0,188	431,499	0,543
Кировский	2013	50	67,505	0,188	63,786	0,435
Советский	2010	50	67,505	0,188	949,509	0,534
Советский	2011	50	67,505	0,188	675,016	0,495
Советский	2012	50	67,505	0,188	78,445	0,185
Советский	2013	50	67,505	0,188	88,407	0,170
Ворошиловский	2010	50	67,505	0,188	87,026	0,127
Ворошиловский	2011	50	67,505	0,188	142,329	0,186
Ворошиловский	2012	50	67,505	0,188	79,754	0,173
Ворошиловский	2013	50	67,505	0,188	89,855	0,191
Дзержинский	2010	50	67,505	0,188	214,312	0,293
Дзержинский	2011	50	67,505	0,188	216,585	0,229
Дзержинский	2012	50	67,505	0,188	93,501	0,213
Дзержинский	2013	50	67,505	0,188	89,170	0,234
Центральный	2010	50	67,505	0,188	137,666	0,236
Центральный	2011	50	67,505	0,188	161,050	0,264
Центральный	2012	50	67,505	0,188	119,330	0,250
Центральный	2013	50	67,505	0,188	111,682	0,271
Красноктябрьский	2010	50	67,505	0,188	1026,771	0,636
Красноктябрьский	2011	50	67,505	0,188	134,390	0,225
Красноктябрьский	2012	50	67,505	0,188	39,051	0,184
Красноктябрьский	2013	50	67,505	0,188	47,181	0,154
Тракторозаводский	2010	35	49,802	0,224	3754,549	0,742
Тракторозаводский	2011	35	49,802	0,224	570,526	0,505
Тракторозаводский	2012	35	49,802	0,224	2314,780	0,676
Тракторозаводский	2013	35	49,802	0,224	259,933	0,350
г. Волжский	2010	40	55,758	0,210	12047,166	0,940
г. Волжский	2011	40	55,758	0,210	14617,590	0,950
г. Волжский	2012	40	55,758	0,210	0,920	9253,042
г. Волжский	2013	40	55,758	0,210	10252,452	0,912

Таблица 3.22 – Проверка гипотезы о подчинении значений среднебалансовых концентраций экспоненциальному закону распределения

Район	Год	N	Теоретические (табличные) значения		Гипотеза о экспоненциальном законе распределения	
			Критерий согласия Пирсона	Критерий согласия Колмогорова	Критерий согласия Пирсона	Критерий согласия Колмогорова
Красноармейский	2010	50	67,505	0,188	171,487	0,245
Красноармейский	2011	50	67,505	0,188	203,352	0,250
Красноармейский	2012	50	67,505	0,188	181,297	0,268
Красноармейский	2013	50	67,505	0,188	177,562	0,242
Кировский	2010	50	67,505	0,188	206,439	0,229
Кировский	2011	50	67,505	0,188	115,529	0,215
Кировский	2012	50	67,505	0,188	67,230	0,198
Кировский	2013	50	67,505	0,188	54,275	0,198
Советский	2010	50	67,505	0,188	71,700	0,232
Советский	2011	50	67,505	0,188	173,423	0,237
Советский	2012	50	67,505	0,188	121,181	0,223
Советский	2013	50	67,505	0,188	129,193	0,200
Ворошиловский	2010	50	67,505	0,188	77,303	0,134
Ворошиловский	2011	50	67,505	0,188	140,354	0,183
Ворошиловский	2012	50	67,505	0,188	77,630	0,171
Ворошиловский	2013	50	67,505	0,188	101,362	0,220
Дзержинский	2010	50	67,505	0,188	161,363	0,201
Дзержинский	2011	50	67,505	0,188	216,222	0,227
Дзержинский	2012	50	67,505	0,188	81,929	0,198
Дзержинский	2013	50	67,505	0,188	104,746	0,258
Центральный	2010	50	67,505	0,188	208,195	0,307
Центральный	2011	50	67,505	0,188	280,313	0,333
Центральный	2012	50	67,505	0,188	214,768	0,333
Центральный	2013	50	67,505	0,188	224,613	0,369
Красноктярбский	2010	50	67,505	0,188	128,346	0,212
Красноктярбский	2011	50	67,505	0,188	132,480	0,200
Красноктярбский	2012	50	67,505	0,188	34,483	0,139
Красноктярбский	2013	50	67,505	0,188	53,209	0,165
Тракторозаводский	2010	35	49,802	0,224	185,323	0,205
Тракторозаводский	2011	35	49,802	0,224	88,282	0,168
Тракторозаводский	2012	35	49,802	0,224	74,928	0,175
Тракторозаводский	2013	35	49,802	0,224	49,347	0,134
г. Волжский	2010	40	55,758	0,210	273,577	0,294
г. Волжский	2011	40	55,758	0,210	321,839	0,312
г. Волжский	2012	40	55,758	0,210	273,184	0,300
г. Волжский	2013	40	55,758	0,210	313,497	0,301

По проведенным расчетам можно сделать заключение, что значения среднебалансовых концентраций загрязняющих веществ в районах г. Волгограда и г. Волжского на протяжении 2010-2013 гг. подчиняются логнормальному закону

распределения [3, 6]. Только в 5% рассмотренных случаев наблюдается гамма или экспоненциальный закон распределения. Случайная величина C имеет логарифмически-нормальное (логнормальное) [20], если её натуральный логарифм ($\ln C$) подчинён нормальному закону распределения и её плотность такова:

$$f(C) = \frac{1}{C\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(C)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.15)$$

где $C > 0$, C – случайная величина;
 $-\infty < \mu < \infty$, μ – параметр характеризующий значение логарифма положения средней концентрации;

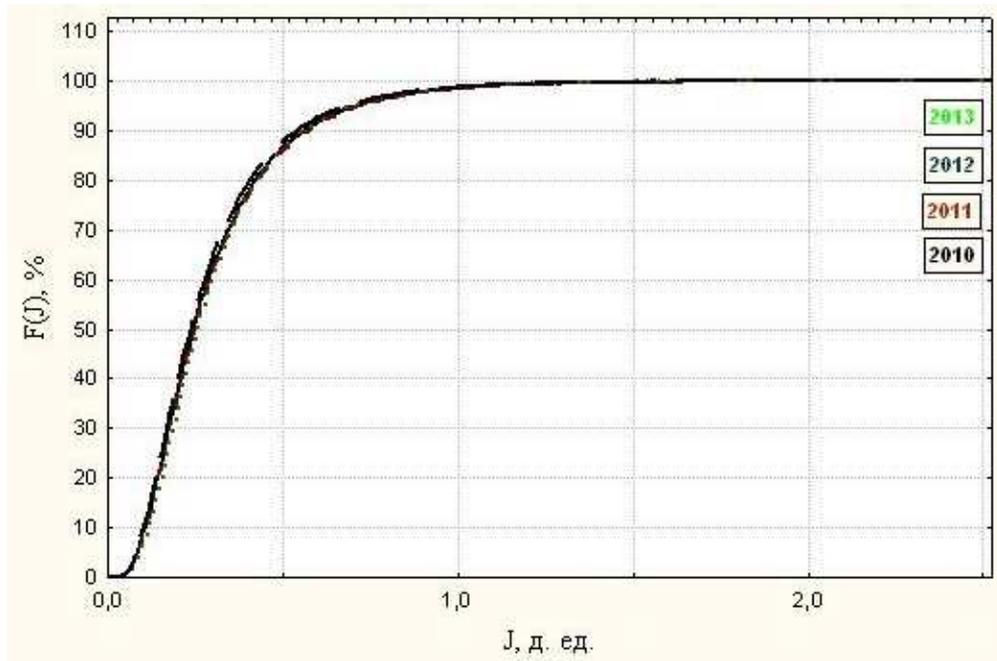
$\sigma > 0$, σ – параметр масштаба.

Переход со среднебалансовых концентраций C в среднебалансовые интегральные критерии загрязнения атмосферы района J осуществлялся согласно теореме [67] о дифференциальной функции линейного преобразования случайной величины η , причем с погрешностями для узкого диапазона значений концентраций и для одной группы суммаций. Плотность распределения $\eta = a\xi + b$ при этом равна:

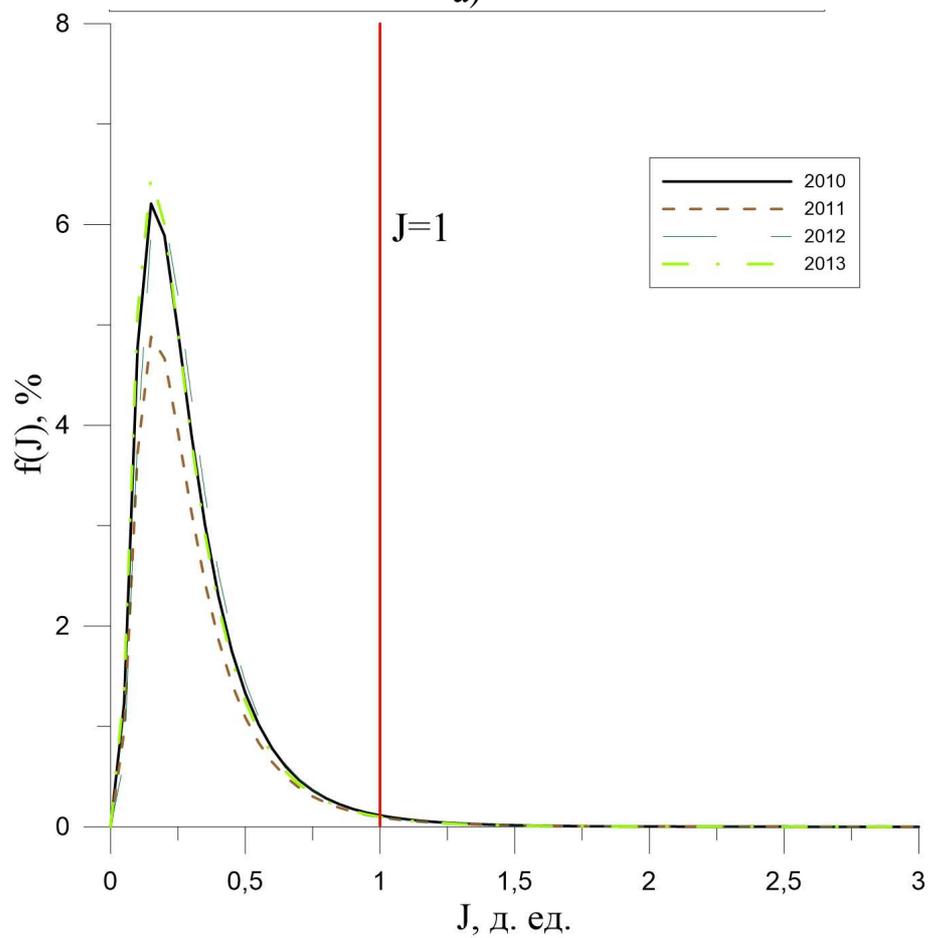
$$f_{\eta}(x) = \frac{1}{|a|} f_{\xi}\left(\frac{x-b}{a}\right), \quad (3.16)$$

если ξ имеет функцию распределения $F_{\xi}(x)$ и плотность распределения $f_{\xi}(x)$,
 a - постоянная, отличная от нуля.

На основании полученных данных построены интегральная и дифференциальная функция распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы для районов города Волгограда и города Волжского (рисунки 3.19-3.27).



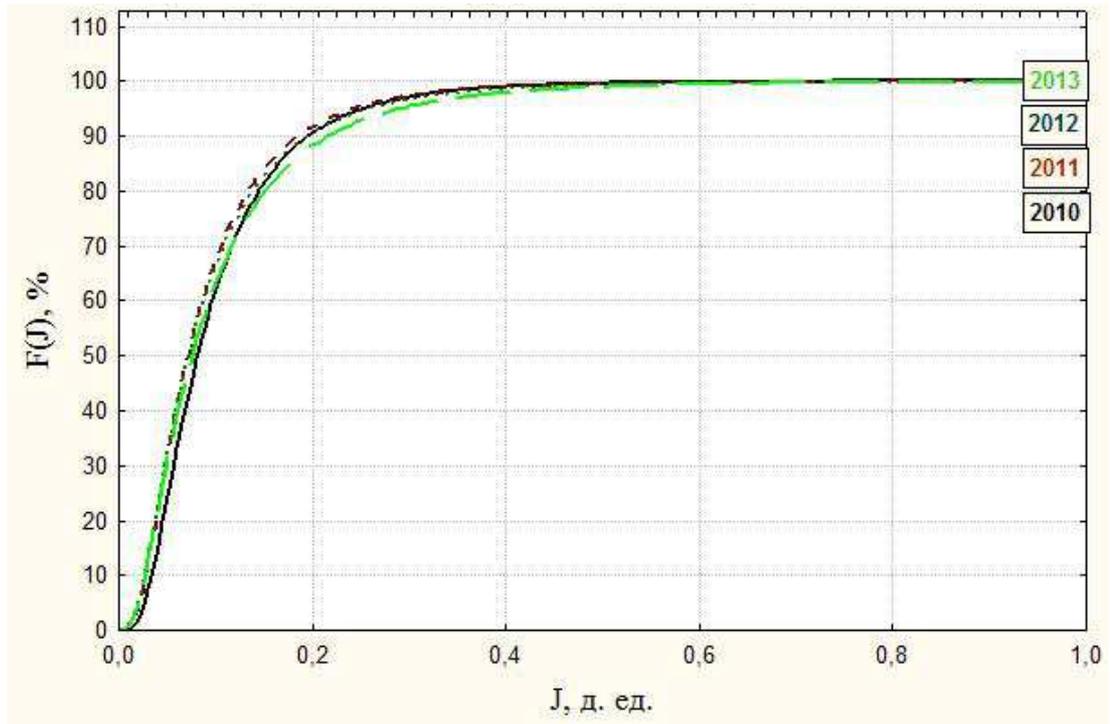
а)



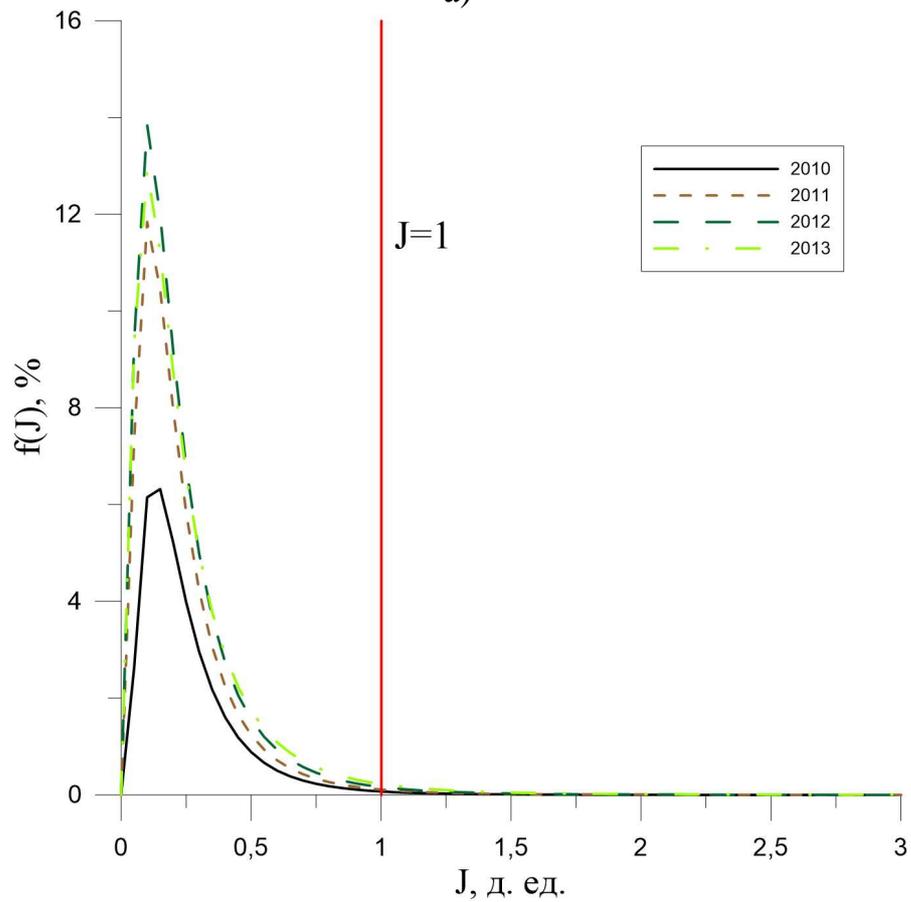
б)

Рисунок 3.19 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Красноармейском районе г. Волгограда:

а) интегральная; б) дифференциальная



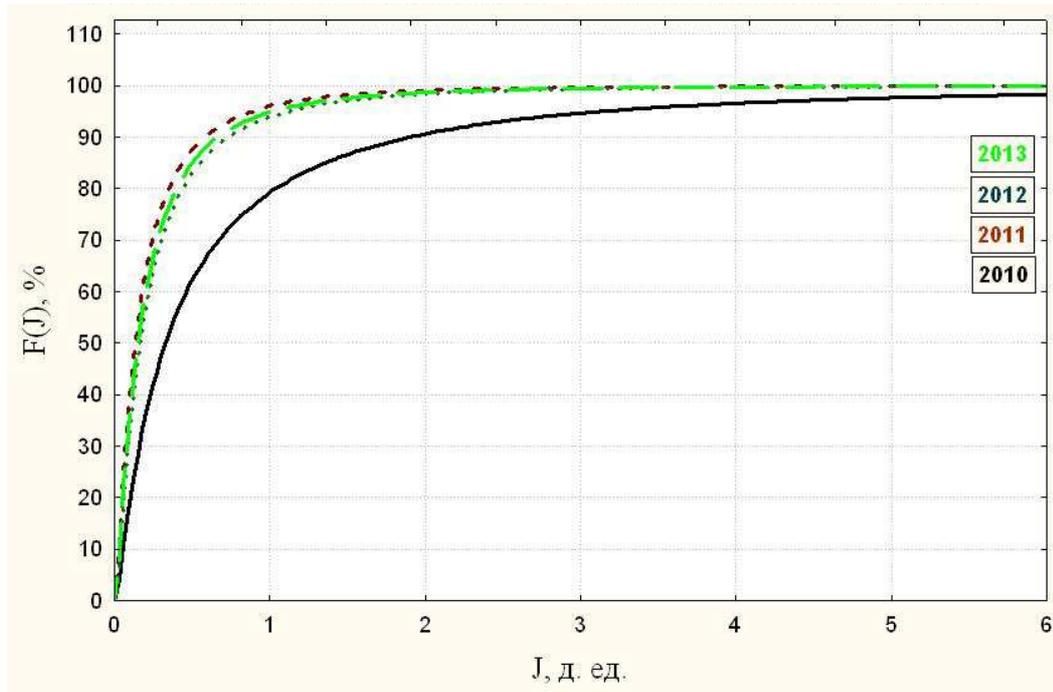
а)



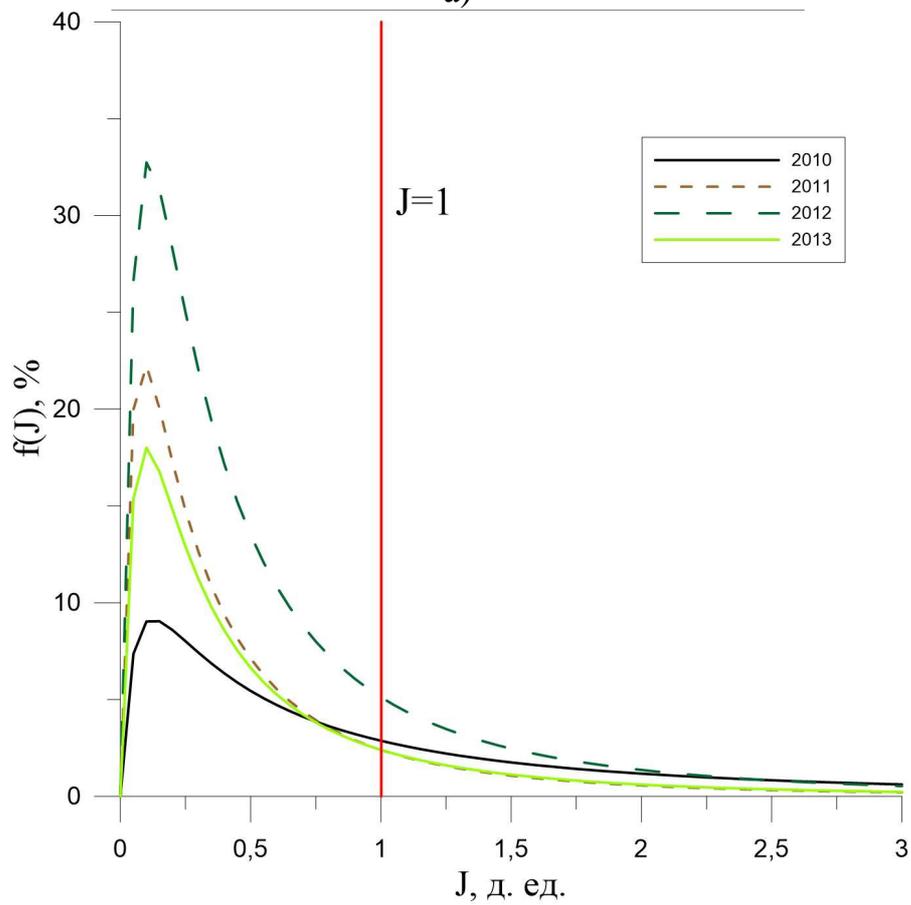
б)

Рисунок 3.20 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Кировском районе г. Волгограда:

а) интегральная; б) дифференциальная



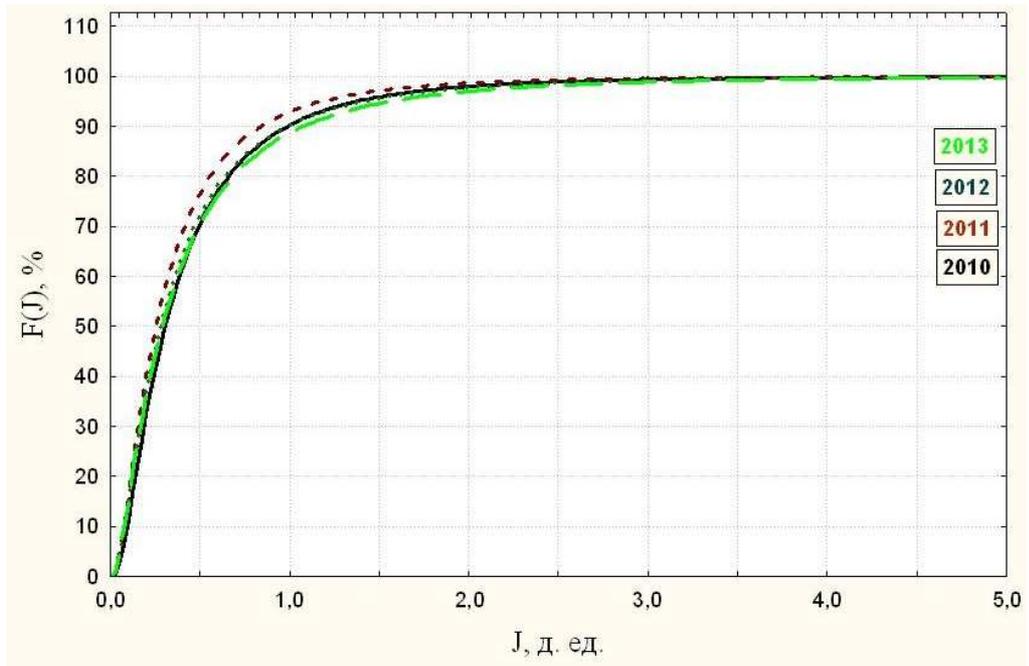
а)



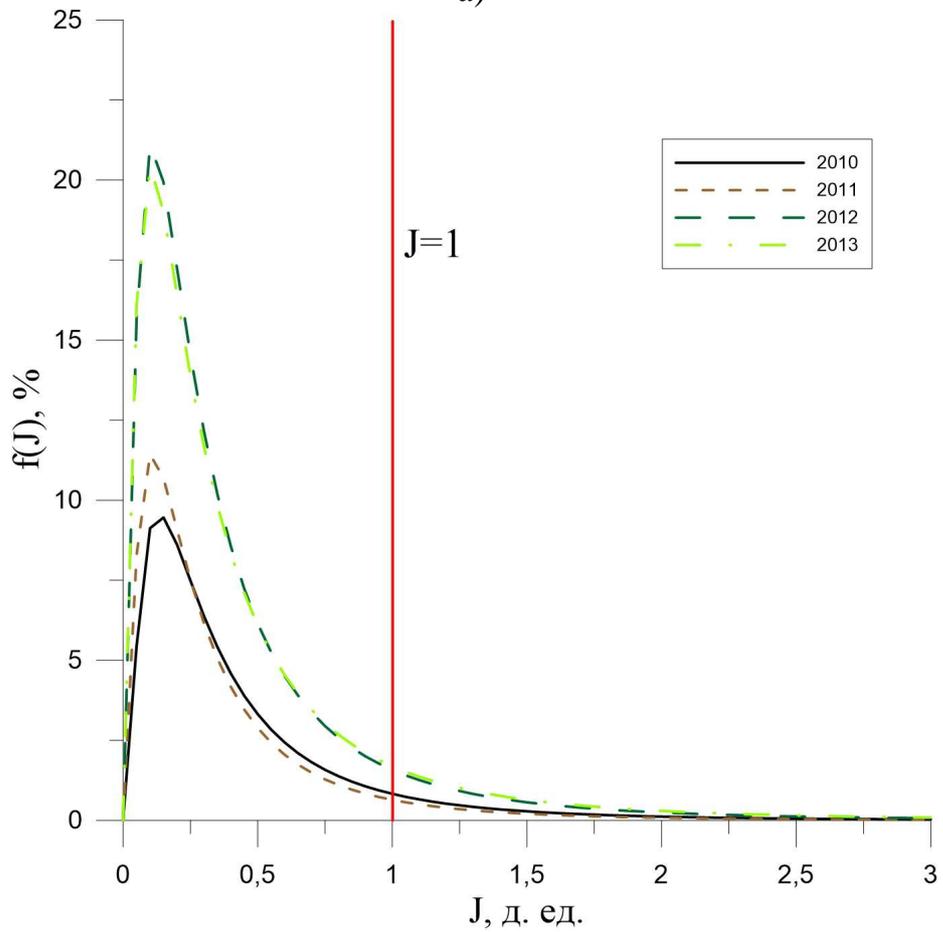
б)

Рисунок 3.21 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Советском районе г. Волгограда:

а) интегральная; б) дифференциальная



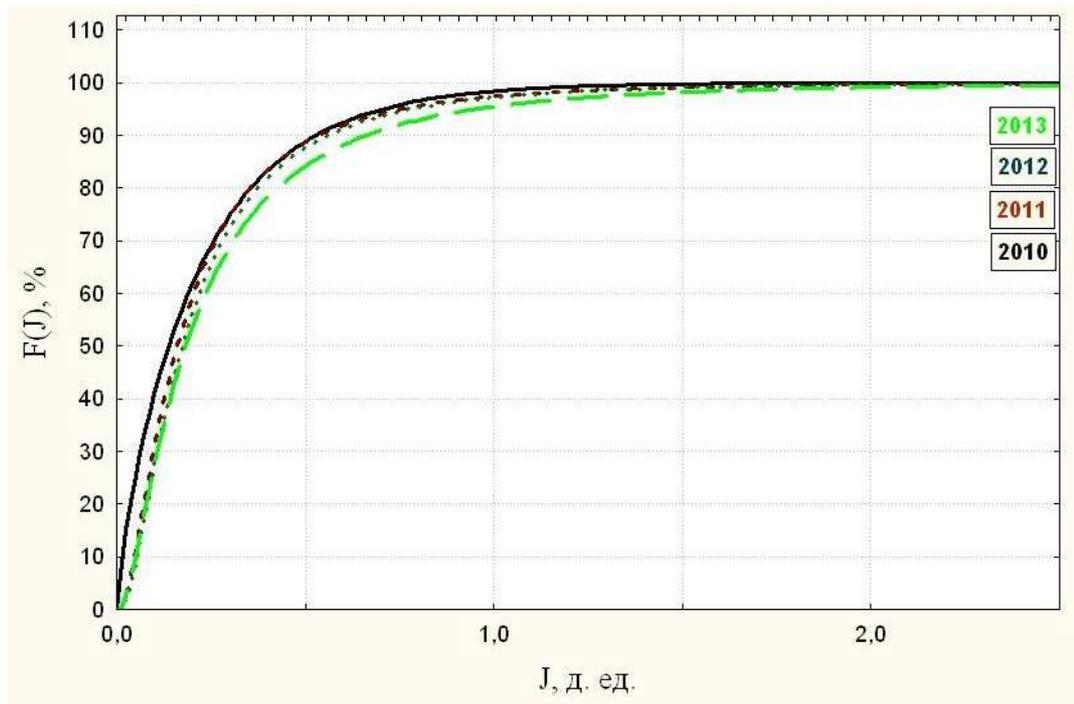
а)



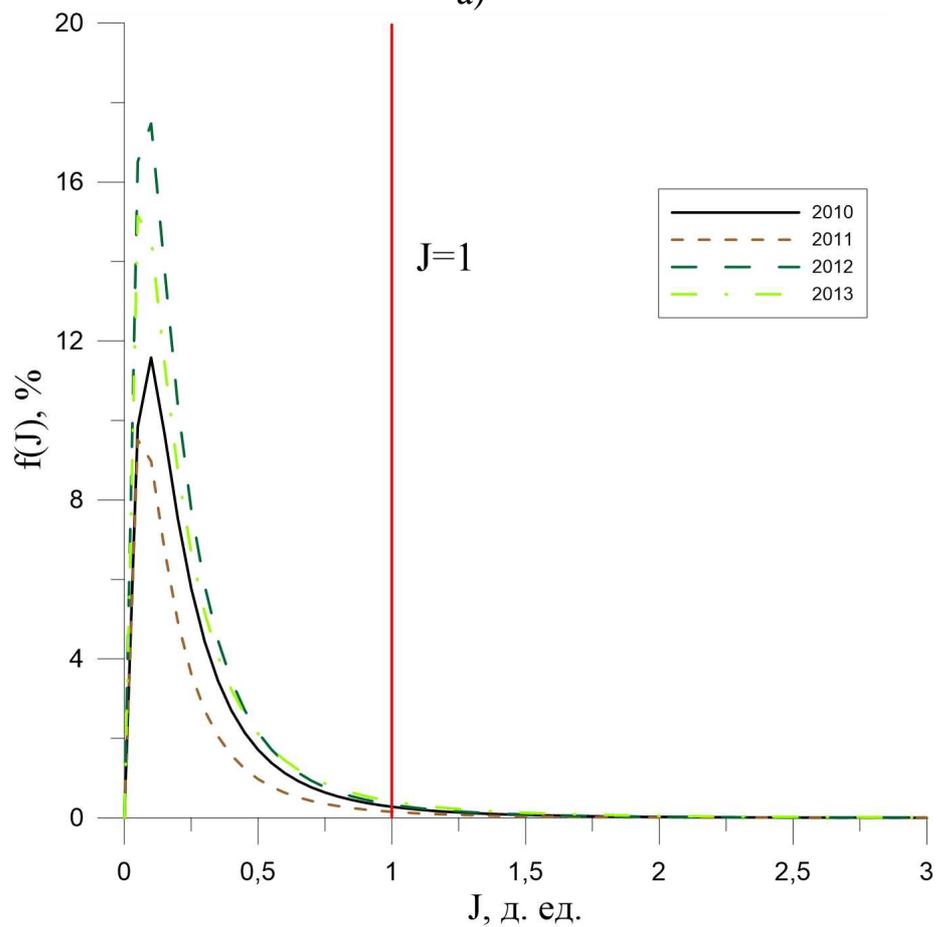
б)

Рисунок 3.22 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Ворошиловском районе г. Волгограда:

а) интегральная; б) дифференциальная



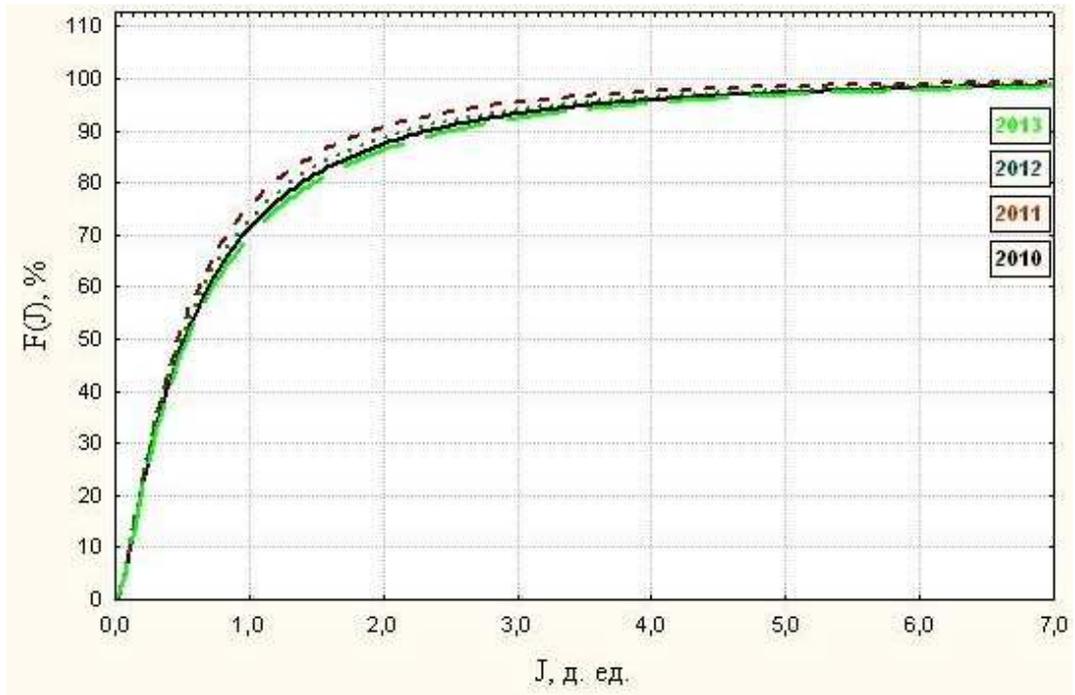
а)



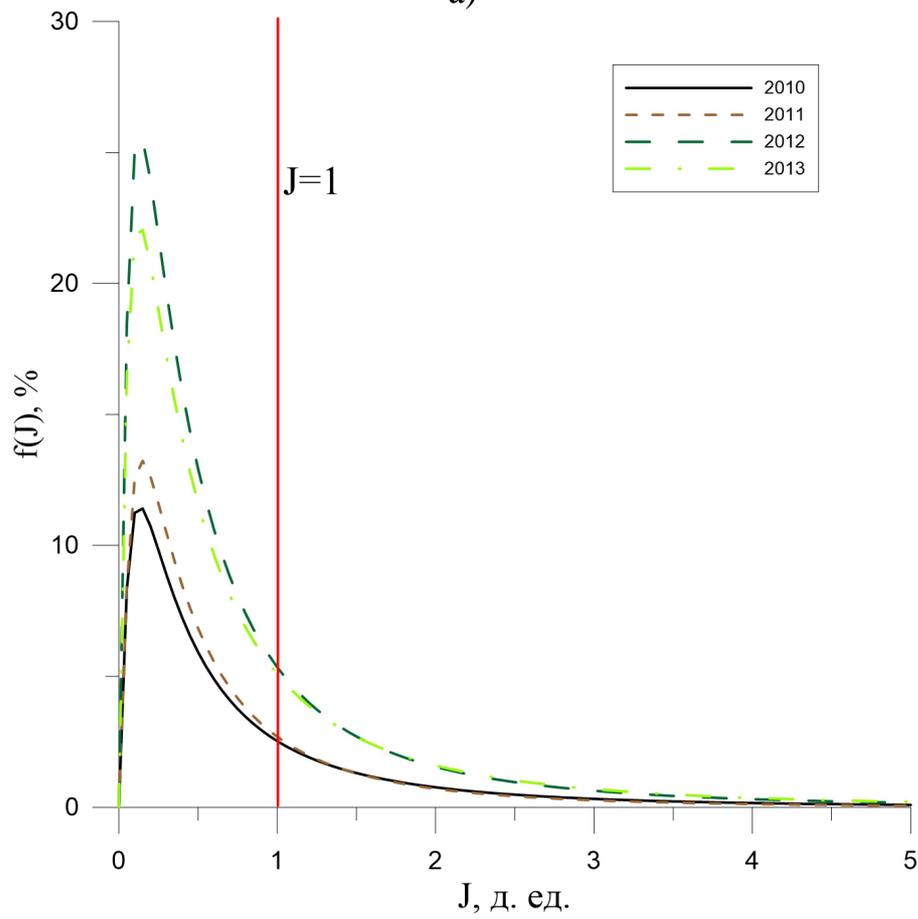
б)

Рисунок 3.23 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Дзержинском районе г. Волгограда:

а) интегральная; б) дифференциальная

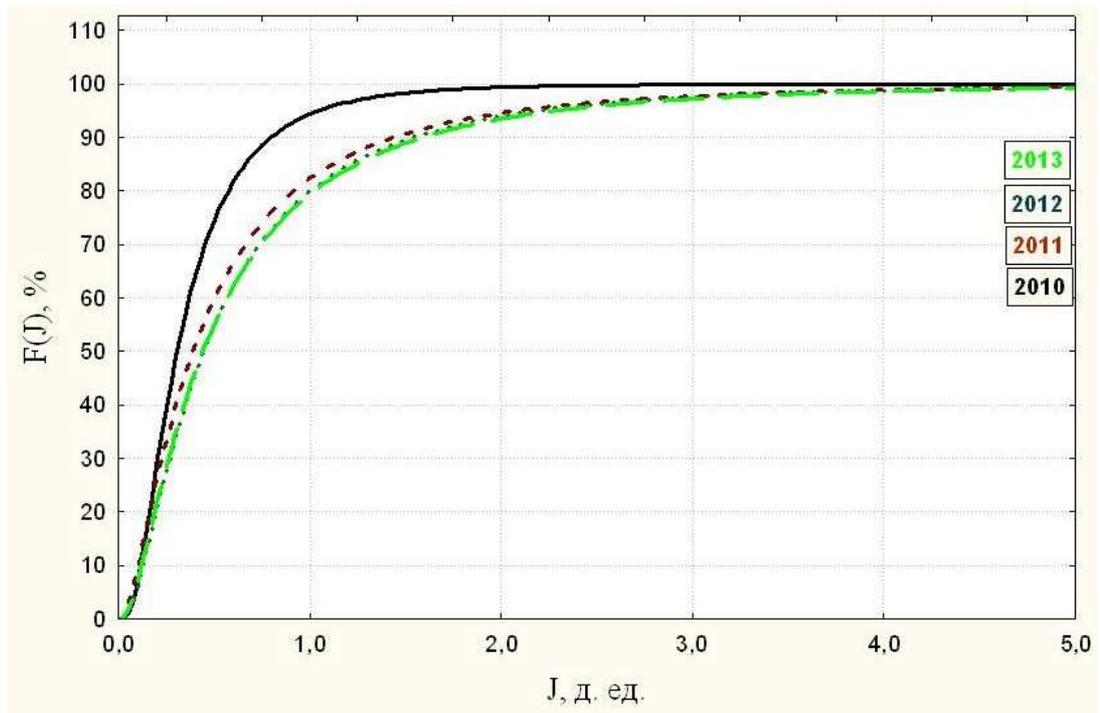


а)

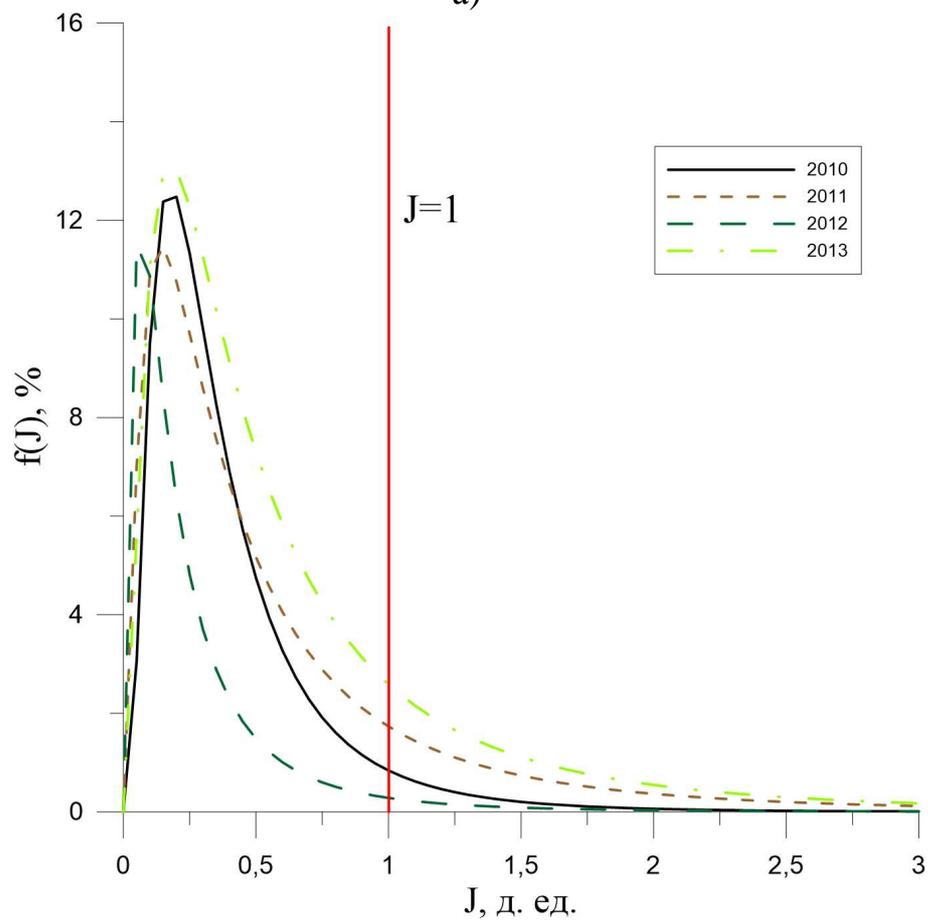


б)

Рисунок 3.24 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Центральном районе г. Волгограда:
а) интегральная; б) дифференциальная



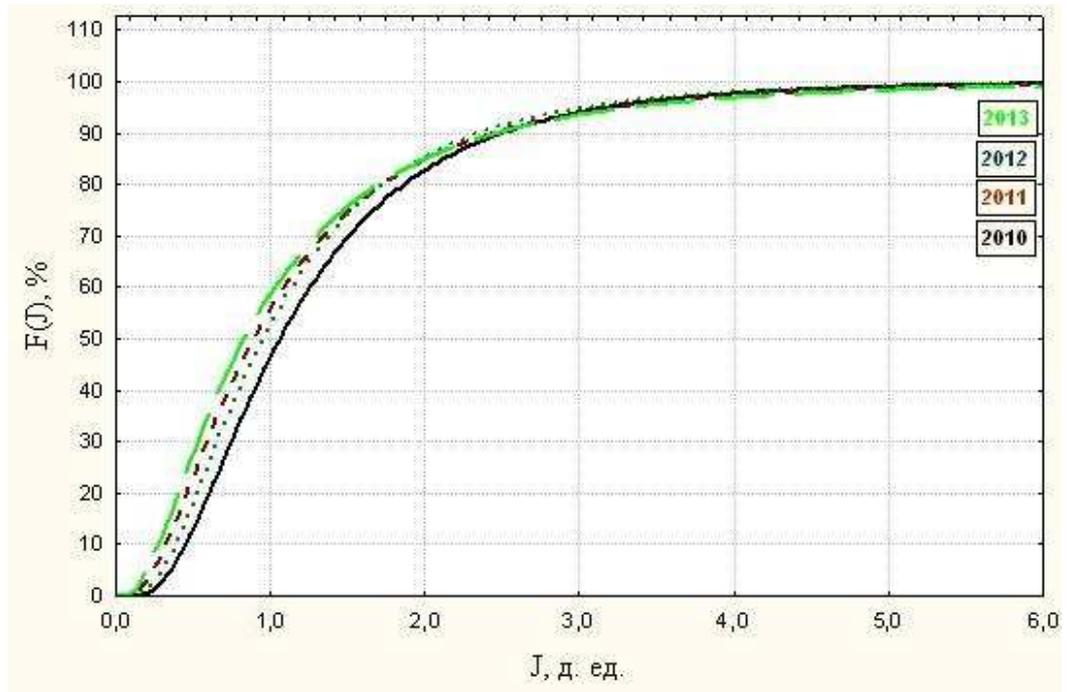
а)



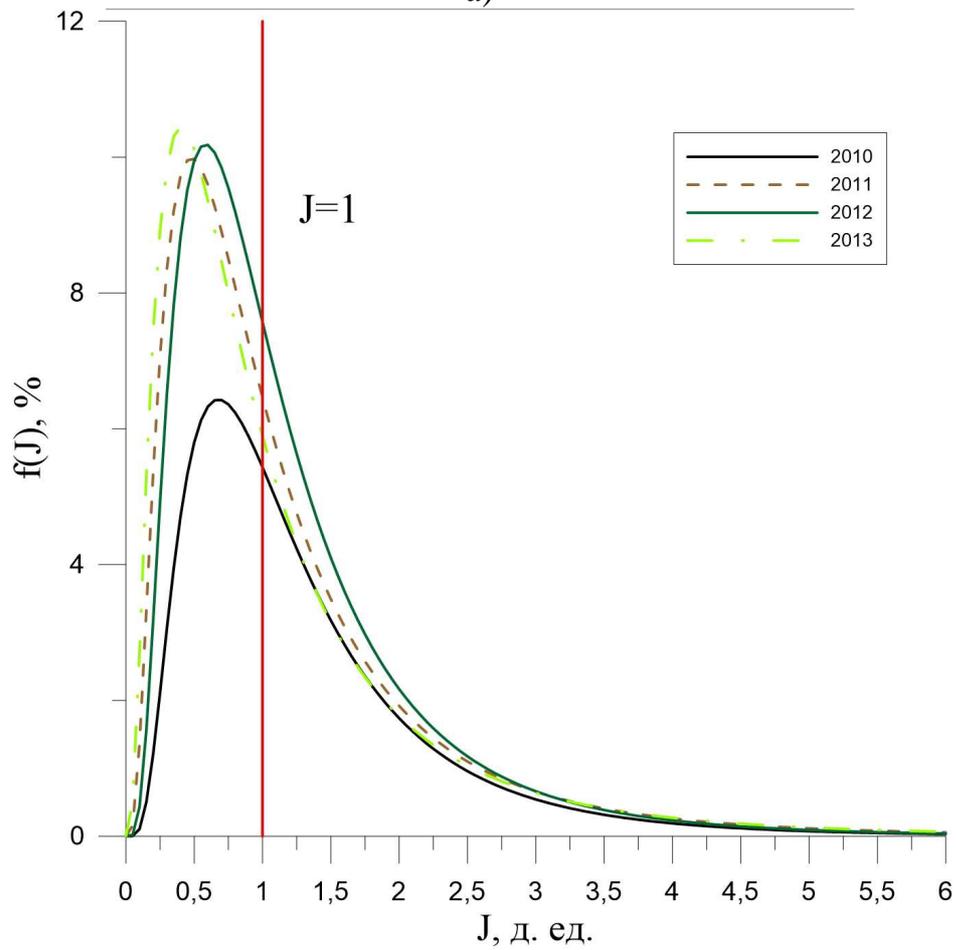
б)

Рисунок 3.25 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Краснооктябрьском районе г. Волгограда:

а) интегральная; б) дифференциальная

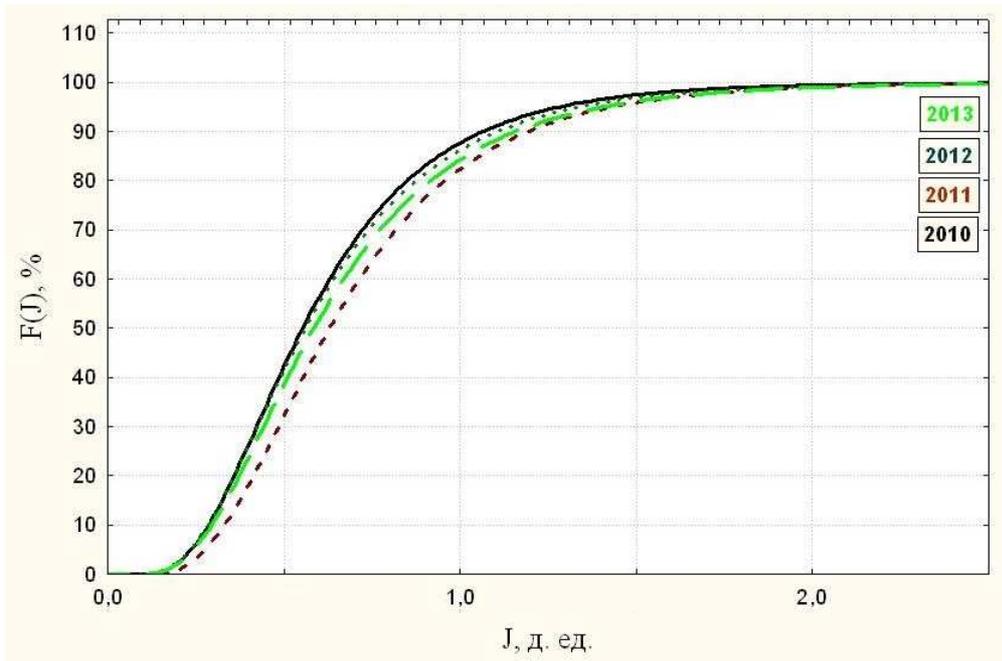


а)

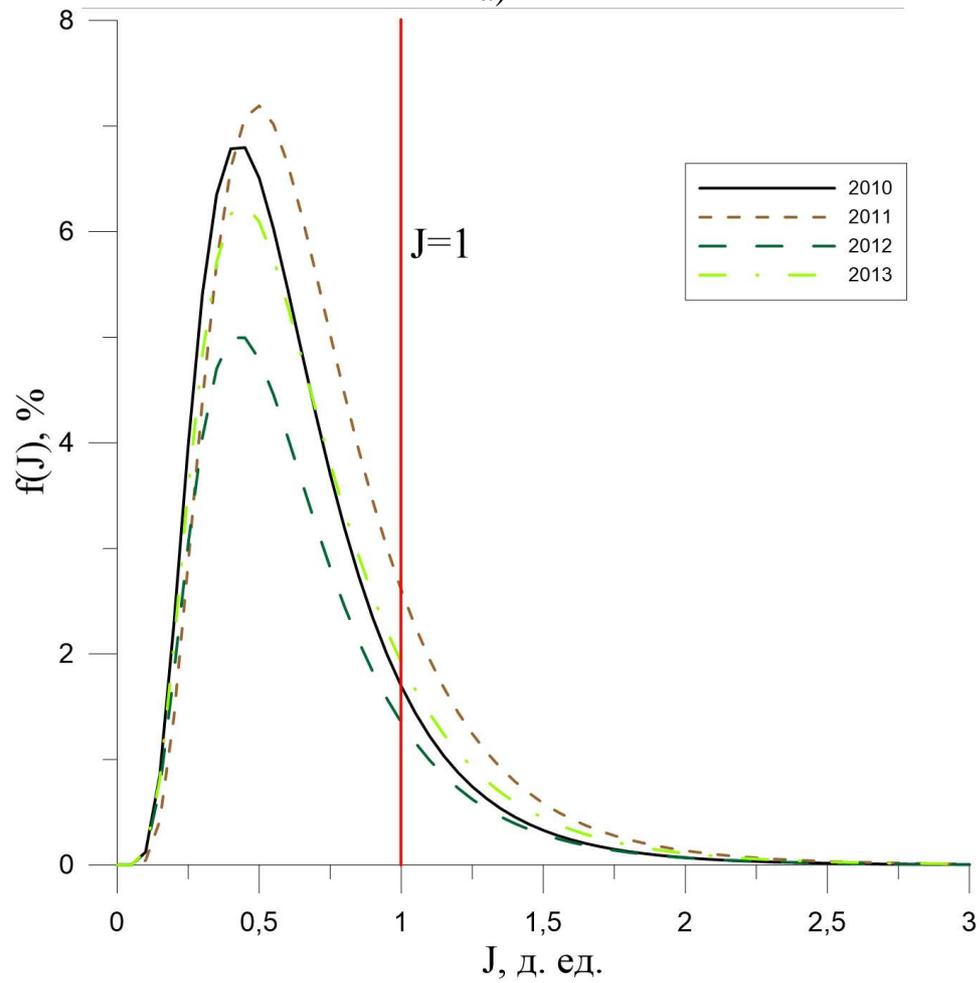


б)

Рисунок 3.26 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Тракторозаводском районе г. Волгограда:
а) интегральная; б) дифференциальная



а)



б)

Рисунок 3.27 – Функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в г. Волжском: а) интегральная; б) дифференциальная

В таблице 3.23 представлены значения выборочной и расчетной средней среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы районов г. Волгограда и г. Волжского за 2010-2013 гг.

Таблица 3.23 – Параметры среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы районов г. Волгограда и г. Волжского за 2010-2013 гг.

Район	Год	Выборочное среднее среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы	Расчетное среднее среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы
Красноармейский	2010	0,305	0,265
Красноармейский	2011	0,295	0,270
Красноармейский	2012	0,308	0,275
Красноармейский	2013	0,295	0,258
Кировский	2010	0,265	0,228
Кировский	2011	0,250	0,208
Кировский	2012	0,255	0,218
Кировский	2013	0,295	0,240
Советский	2010	0,635	0,688
Советский	2011	0,793	0,808
Советский	2012	0,918	1,033
Советский	2013	1,013	1,158
Ворошиловский	2010	0,488	0,435
Ворошиловский	2011	0,448	0,373
Ворошиловский	2012	0,495	0,445
Ворошиловский	2013	0,570	0,503
Дзержинский	2010	0,313	0,268
Дзержинский	2011	0,283	0,238
Дзержинский	2012	0,293	0,245
Дзержинский	2013	0,358	0,303
Центральный	2010	1,225	1,350
Центральный	2011	1,130	0,958
Центральный	2012	1,220	1,203
Центральный	2013	1,495	1,513
Красноктябрьский	2010	0,403	0,358
Красноктябрьский	2011	0,705	0,668
Красноктябрьский	2012	0,725	0,688
Красноктябрьский	2013	0,773	0,723
Тракторозаводский	2010	1,300	2,265
Тракторозаводский	2011	1,223	1,078
Тракторозаводский	2012	1,198	1,075
Тракторозаводский	2013	1,205	1,078
г. Волжский	2010	0,638	0,573
г. Волжский	2011	0,725	0,650
г. Волжский	2012	0,653	0,583
г. Волжский	2013	0,685	0,585

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.

3.8 Выводы по третьей главе

1. Волгоградская область по значениям климатических параметров, определяющих перенос и рассеивание примесей, поступающих в воздушный бассейн с выбросами от предприятий и автотранспорта, относится к зоне с повышенным потенциалом загрязнения атмосферы.

2. По результатам государственного экологического мониторинга за состоянием атмосферного воздуха уровень загрязнения атмосферы по Волгограду оценивается как «очень высокий».

3. Изучение характера распределения ветров в Волгограде за пятилетний период (2010-2014 гг.) по данным Gismeteo подтвердили справочные данные о преобладании восточных (в 2010, 2012 и 2014 гг.) и западных румбов (в 2011 и 2013 гг.) в Волгограде.

4. 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.

5. В результате проведенных нами исследований по изучению скоростей ветра в городе за изучаемый пятилетний период с 2010 по 2014 гг. выявлена характерная зависимость подчинения полученных распределений повторяемости закону Вейбулла, что не опровергает многолетний научный анализ климатических характеристик ветра на территории России, в частности юго-восточной части.

6. 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. По результатам исследования максимальное поступление вредных веществ

приходится на Среднеахтубинский район из рассмотренных районов Волгоградской области и на Тракторозаводский из районов г. Волгограда, минимальное – на Советский и Ворошиловский районы г. Волгограда. Загрязнение атмосферы района от собственных источников намного меньше загрязнения атмосферы путем поступления вредных веществ из других районов по анализируемым годам, причем разница по каждому году составляет 5-10 %. При этом, наибольшую удельную нагрузку загрязнения на атмосферу испытывают Центральный, Краснооктябрьский, Тракторозаводский и Ворошиловский районы. Наиболее экологически благоприятные по удельной нагрузке загрязнения на атмосферу являются Кировский и Красноармейский районы города. Анализ расчета среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы районов показал, что максимальный объем «грязного» воздуха приходится на Тракторозаводский и Центральный районы. Из вышесказанного можно сделать вывод, что Тракторозаводский район города Волгограда находится в зоне риска тяжелой экологической обстановки.

ГЛАВА 4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Разработка информационной модели программы для расчета функций распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы

Для оценки среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы и балансовых концентраций загрязняющих веществ по группам суммаций в i -х районах города путем поступления из j -х районов разработана программа для ЭВМ «БалансЗВ 1.0» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016613400 от 28.03.2016 г.), в которой хранилищем исходных данных служит БД SQLite [104]. SQLite это свободно распространяемая реляционная база данных. Запросы к БД осуществляются при помощи языка SQL, поддержка которого ограничена. БД SQLite является компактной, движок и интерфейс к ней реализованы в одной библиотеке, что увеличивает скорость выполнения запросов. На рисунке 4.1 представлена физическая модель разработанной БД SQLite.

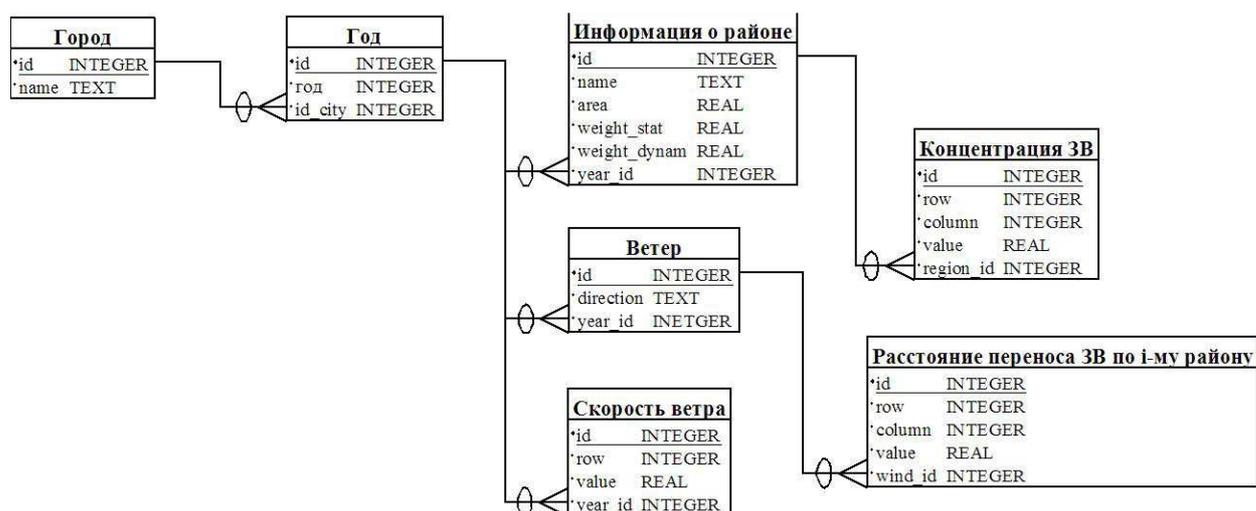


Рисунок 4.1 – Физическая модель разработанной БД SQLite

Данная модель отражает все таблицы разработанной базы данных и связи между ними по внешнему ключу. В процессе проектирования были выделены сущности: город, год, район, ветер и др. Хранение значений концентраций

загрязняющих веществ и расстояний переноса вредностей по *i*-му району было реализовано с помощью матричных построений построчно для каждой ячейки данных.

Для моделирования вида системы с точки зрения прецедентов (вариантов использования) применяется диаграмма прецедентов. Чаще всего, предполагается моделирование контекста системы, подсистемы или класса либо моделирование требований, предъявляемых к поведению указанных элементов [21, 85]. На рисунке 4.2 представлена UML диаграмма прецедентов от лица пользователя.

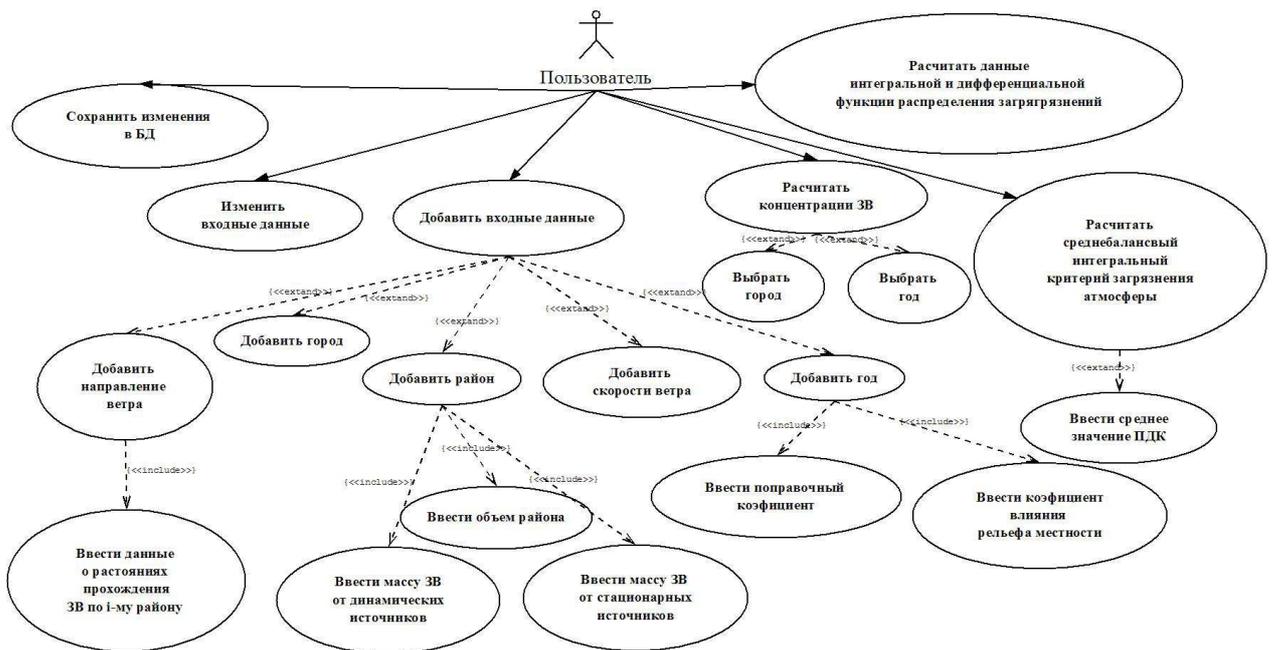


Рисунок 4.2 – Диаграмма прецедентов

В ходе решения основной задачи программы необходимо реализовать следующие функции:

- ввод входных данных (массы выбросов от стационарных и передвижных источников, объемы районов, скорости ветра, расстояния прохождения загрязняющих веществ по *i*-му району);
- изменение входных данных;
- сохранение изменения данных в БД;
- расчет концентраций загрязняющих веществ балансовым методом;
- расчет среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы;

- расчет данных интегральной и дифференциальной функции распределения загрязнений.

Классом является совокупность объектов с общими операциями и атрибутами, а также семантикой и отношениями. Диаграмма классов содержит все классы и взаимосвязи между ними (рисунок 4.3).

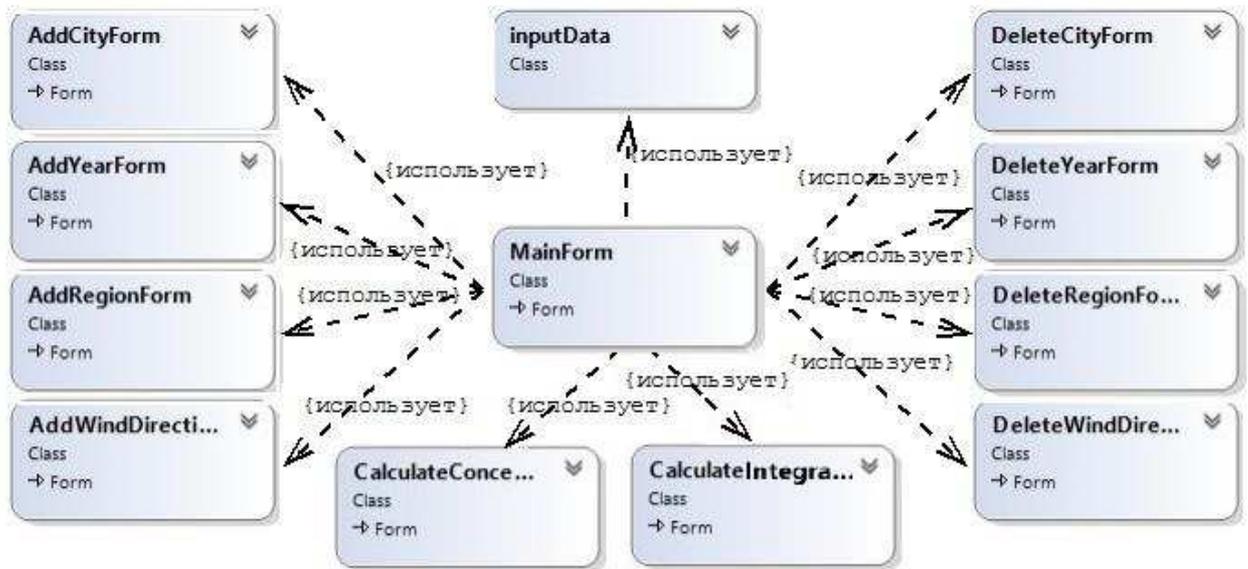


Рисунок 4.3 – Диаграмма классов

Главный класс «MainForm» реализует отображение формы приложения. Этот класс содержит механизмы обработки событий, которые используют элементы управления на форме, а также реализует следующие функции:

- отображение главной формы программы;
- инициализацию входных данных;
- добавление, удаление и изменение входной информации;
- расчеты данных интегральной и дифференциальной функции распределения;
- сохранение изменений в базе данных.

Класс «AddCityForm» реализует форму для добавления города, вид которой представлен на рисунке 4.4.

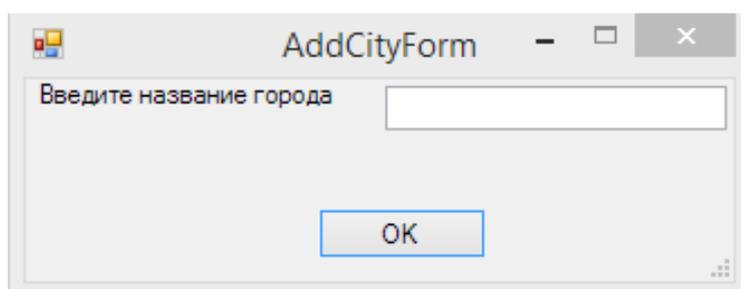


Рисунок 4.4 – Форма добавления исследуемого города

Класс «AddYearForm» реализует форму для добавления года исследования, вид которой представлен на рисунке 4.5.

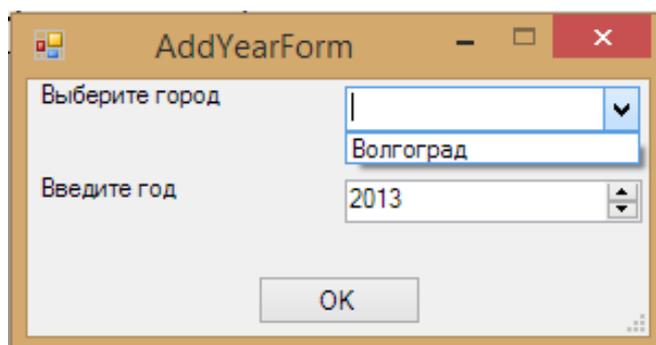


Рисунок 4.5 – Форма добавления года исследования

Класс «AddRegionForm» реализует форму для добавления данных о районе в заданном городе и году исследования, вид которой представлен на рисунке 4.6.

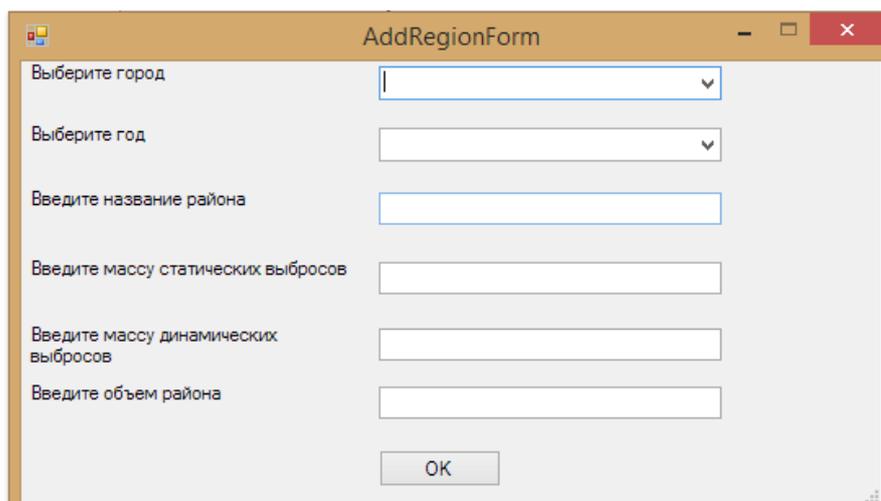


Рисунок 4.6 – Форма добавления района исследования

Класс «AddWindDirection» реализует форму для добавления данных о направлении ветра и расстояниях прохождения загрязняющих веществ по *i*-му району, вид которой представлен на рисунке 4.7.

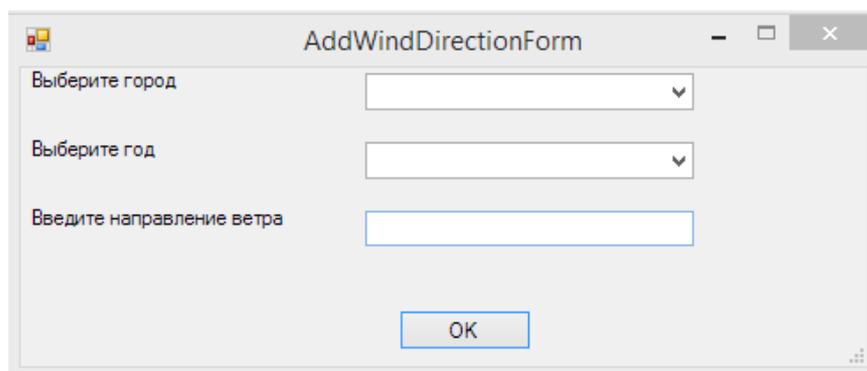


Рисунок 4.7 – Форма добавления направления ветра

Класс «DeleteCityForm» реализует форму для удаления данных о выбранном городе, вид которой представлен на рисунке 4.8.

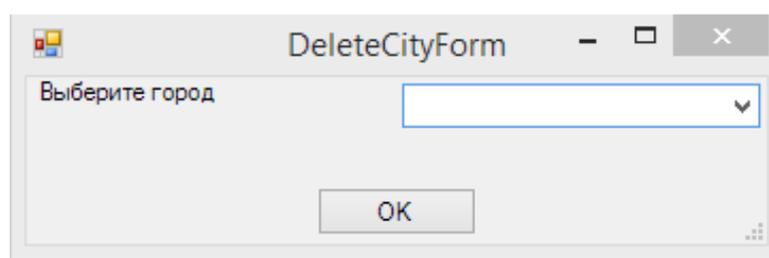


Рисунок 4.8 – Форма удаления выбранного города

Класс «DeleteYearForm» реализует форму для удаления данных за заданный год исследования в выбранном городе, вид которой представлен на рисунке 4.9.

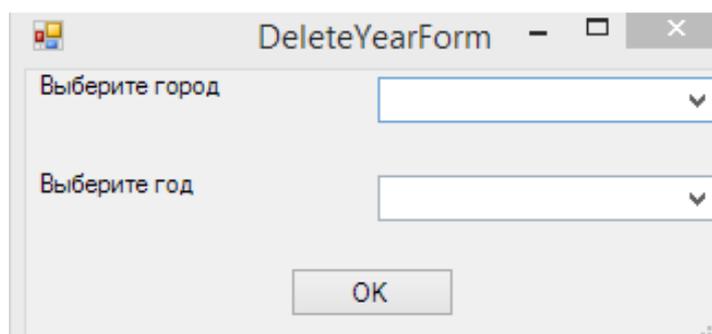


Рисунок 4.9 – Форма удаления выбранного года исследования

Класс «DeleteRegionForm» реализует форму для удаления данных о районе в выбранном городе за заданный год исследования, вид которой представлен на рисунке 4.10.

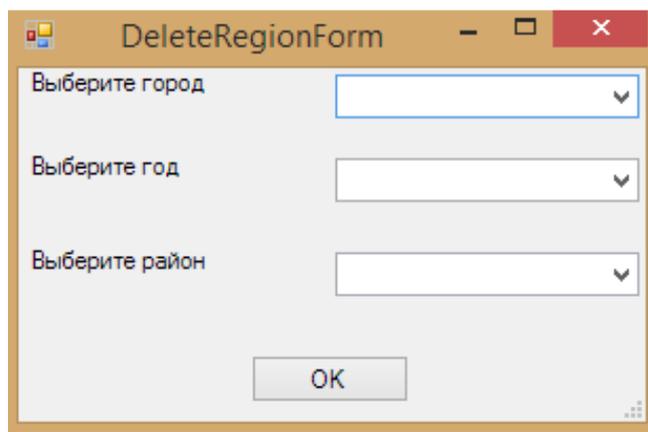


Рисунок 4.10 – Форма удаления выбранного района исследования

Класс «DeleteWindDirection» реализует форму для удаления данных о направлении ветра и расстояниях прохождения загрязняющих веществ по *i*-му району в выбранном городе за заданный год исследования, вид формы представлен на рисунке 4.11.

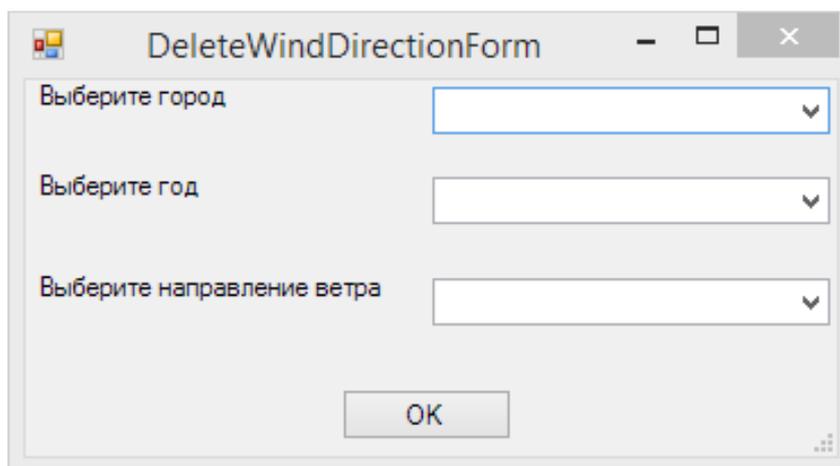


Рисунок 4.11 – Форма удаления выбранного направления ветра

Класс «CalculateConcentration» реализует расчет концентрации загрязняющих веществ по заданным входным данным, вид формы которого представлен на рисунке 4.12.

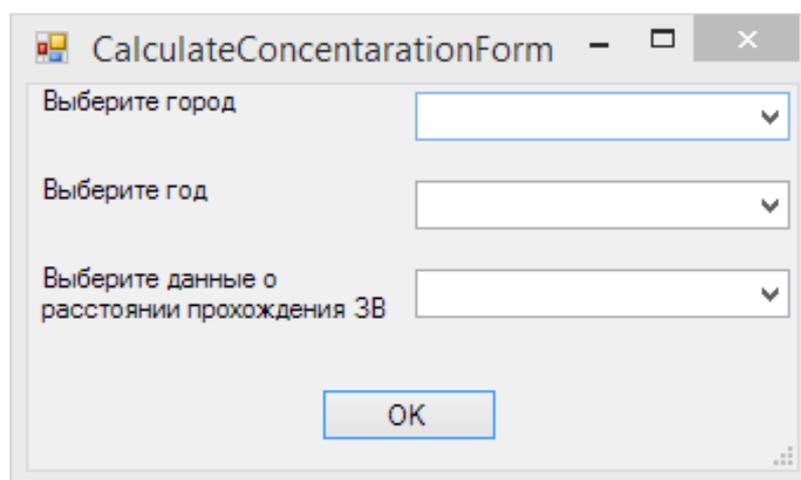


Рисунок 4.12 – Форма добавления входных данных для расчета концентрации загрязняющих веществ

Класс «CalculateIntegrateBalanceCriteria» реализует расчет значений среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы по заданным входным данным, вид формы которого представлен на рисунке 4.13.

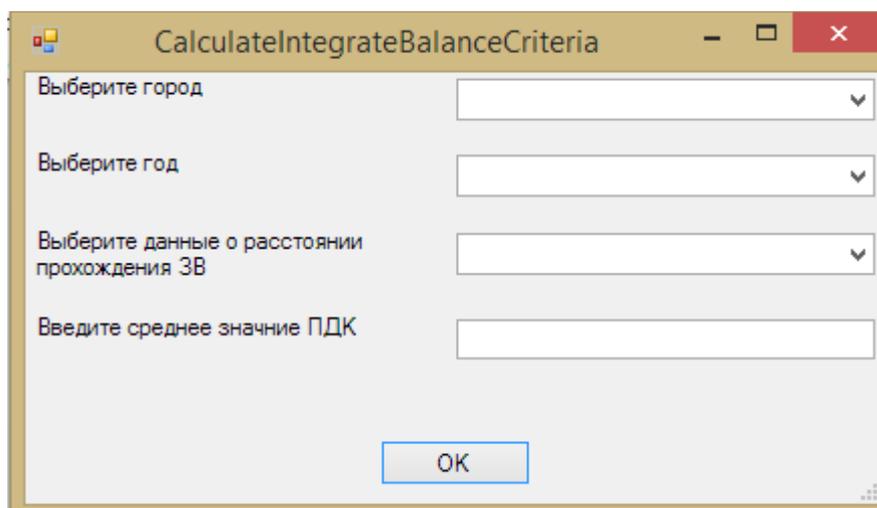


Рисунок 4.13 – Форма добавления входных данных для расчета значений среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы

Класс «InputData» реализует хранение входных данных.

Таким образом, программа «БалансЗВ 1.0» позволяет получить приближенную оценку загрязнения атмосферы на основе балансового метода.

4.2 Реализация программы для определения функции распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы

Программа имеет графический интерфейс пользователя, на рисунке 4.14 представлен внешний вид программы.

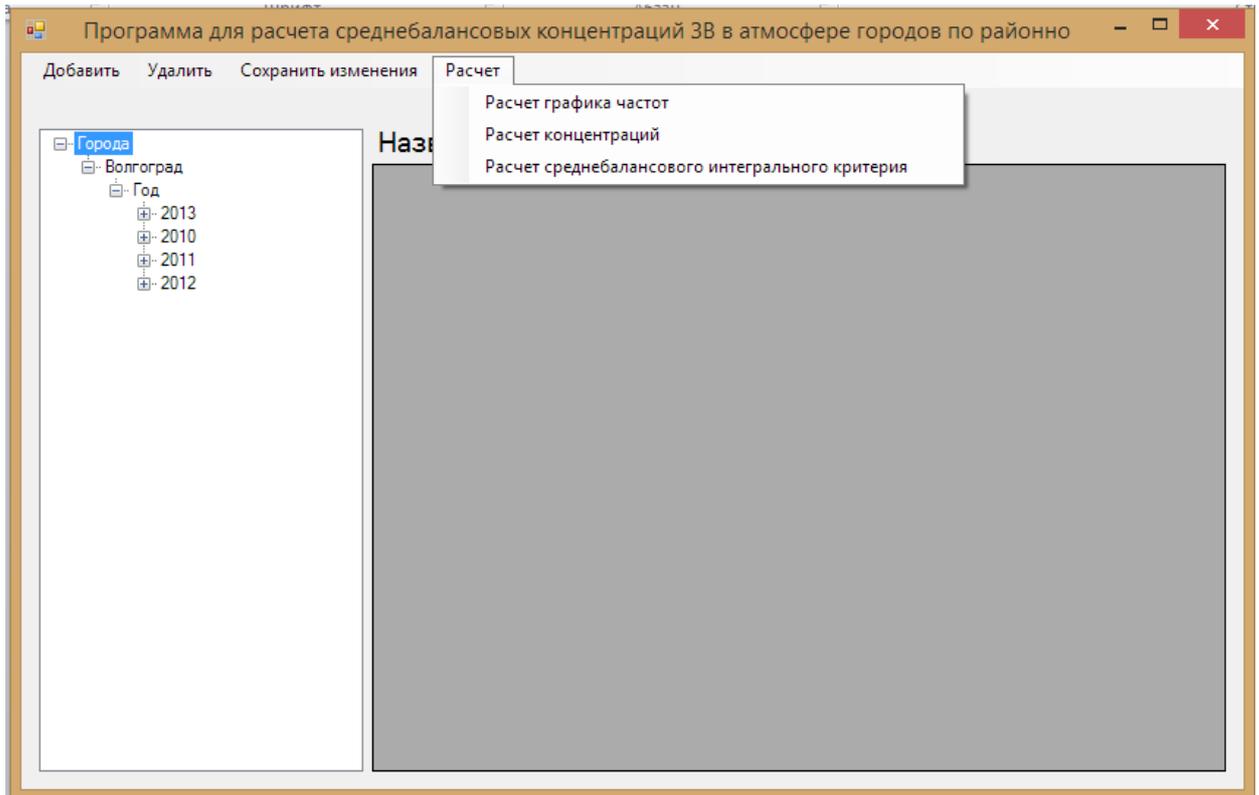


Рисунок 4.14 – Внешний вид программы

На рисунках 4.15, 4.16 отображен вид окна пользователя с информацией о районе и скоростях ветра, на рисунке 4.17 представлены длины переноса загрязняющих веществ из i -го района в j -й при северном направлении ветра в г. Волгограде за 2013 год.

В разработанной программе выполнен расчет балансовых концентраций по одной из групп суммаций загрязняющих веществ за весь изучаемый период, на рисунке 4.18 приведен пример полученной таблицы набора значений по Дзержинскому району г. Волгограда за 2013 г. На рисунке 4.19 представлены значения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Дзержинском районе г. Волгограда за 2013 г.

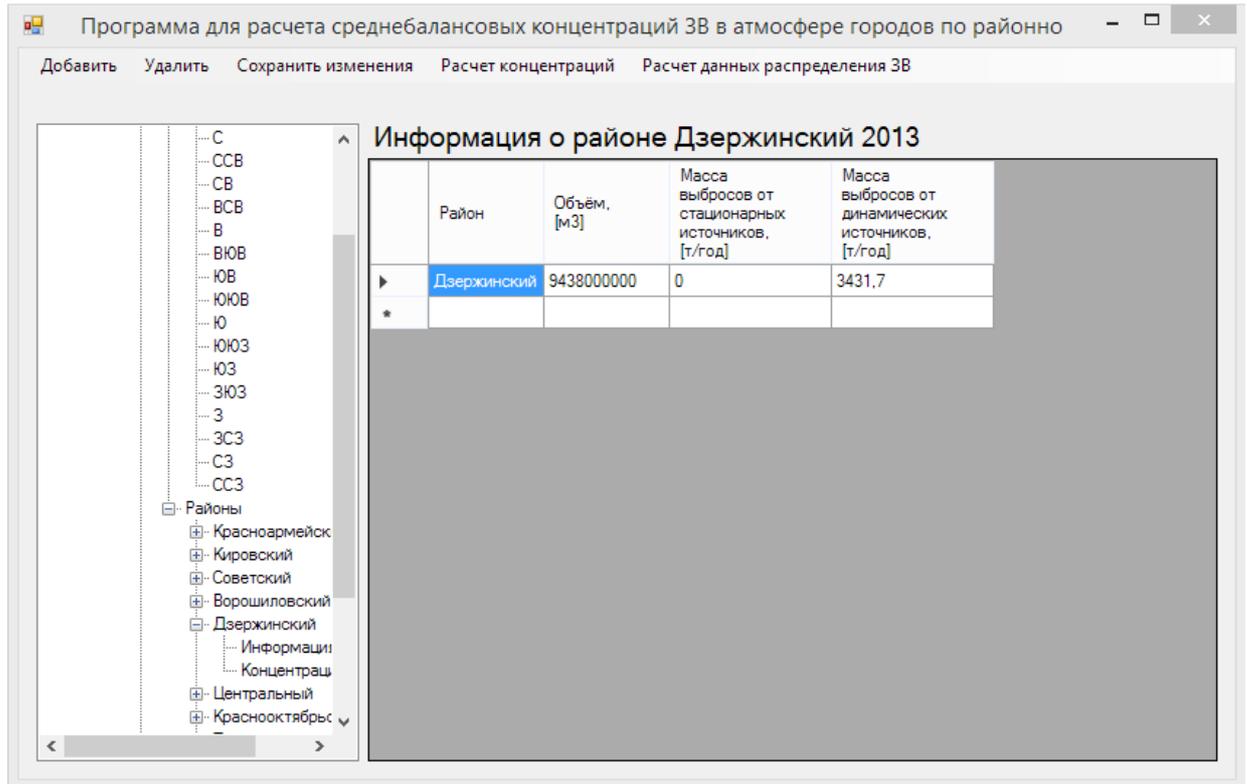


Рисунок. 4.15 – Отображение информации о Дзержинском районе г. Волгограда

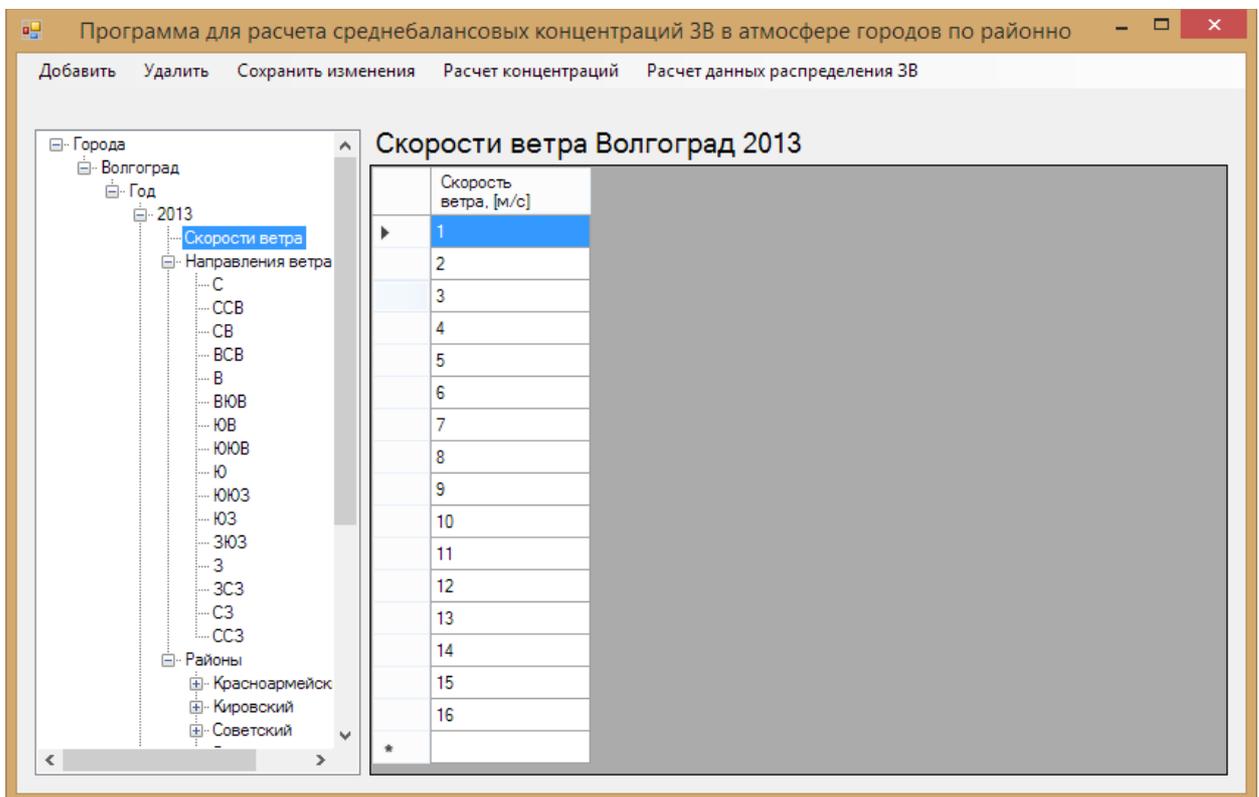


Рисунок 4.16 – Отображение скоростей ветра

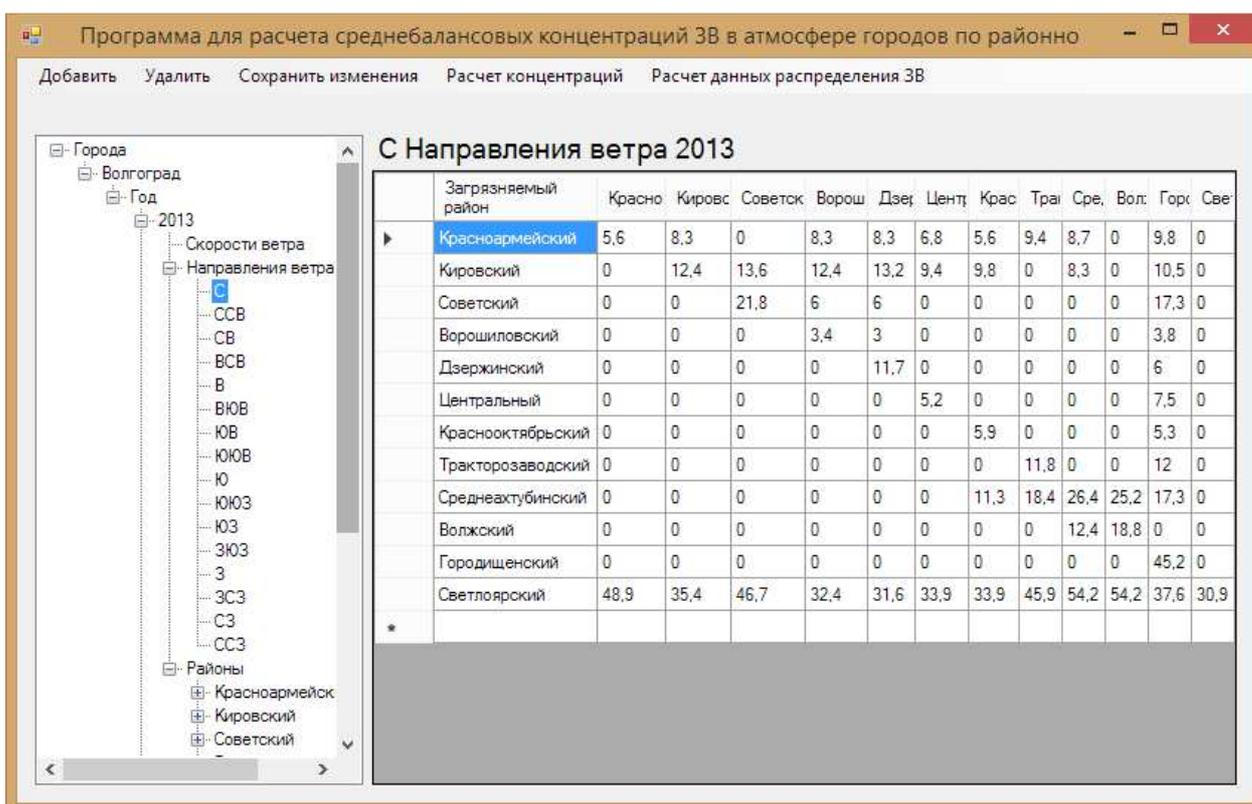


Рисунок 4.17 – Значения длин переноса загрязняющих веществ при северном направлении ветра в г. Волгограде за 2013 г.

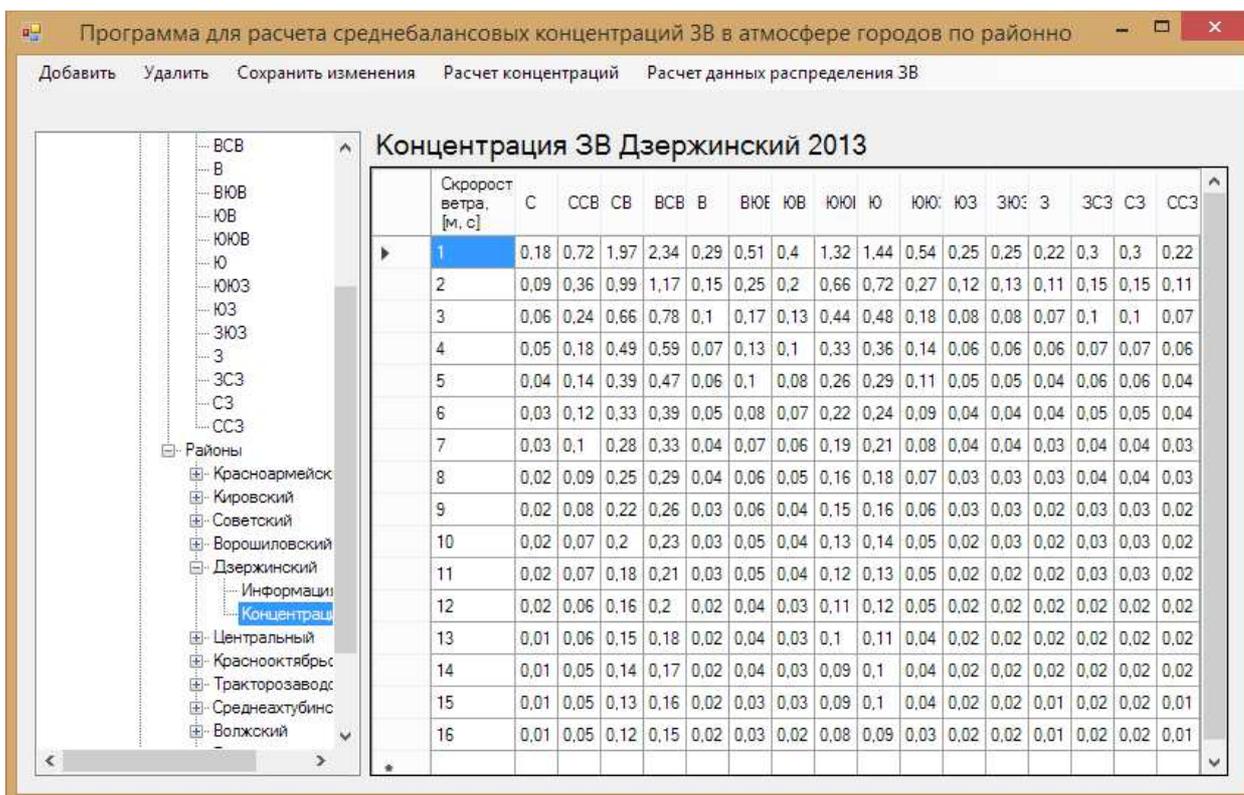


Рисунок 4.18 – Полученные в программе значения концентраций загрязняющих веществ в Дзержинском районе г. Волгограда

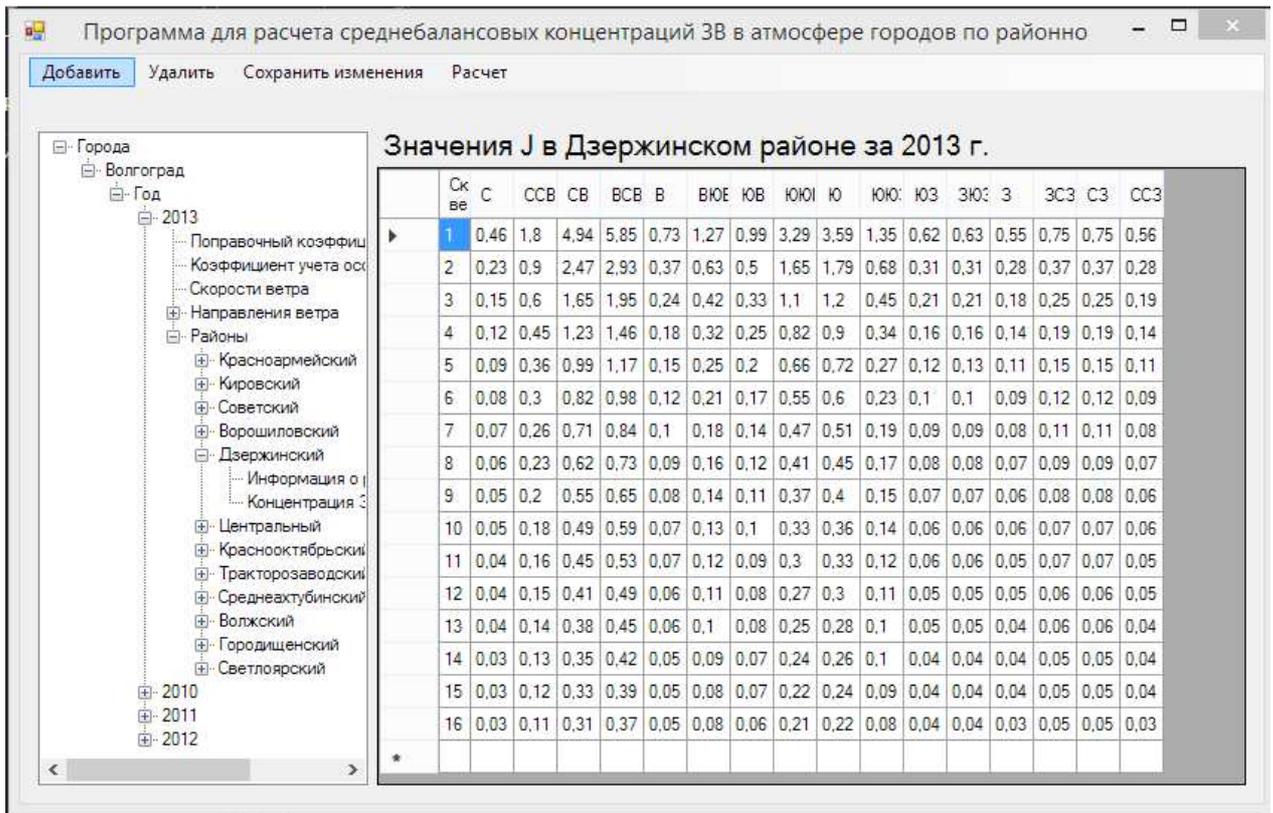


Рисунок 4.19 – Полученные в программе значения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы в Дзержинском районе г. Волгограда

Таким образом, в программе «БалансЗВ 1.0» выполнялись расчеты параметров балансового метода для г. Волгограда, результаты которых представлены в параграфах 3.7, 4.3, 4.4. Также данная программа актуальна и применима для оценки фонового загрязнения атмосферы в других крупных городах.

4.3 Методика выбора альтернативных площадок

На сегодняшний день невозможно объективно оценить угрозу окружающей среде, так как при проектировании ОВОС не ведется учет фона. Балансовый метод позволяет за короткие сроки приближенно оценить фоновое загрязнение атмосферы путем поступления загрязняющих веществ при большом числе

источников. Поэтому нами разработана методика на основе балансового метода по выбору альтернативных площадок для принятия предпроектных решений по размещению новых промышленных предприятий на стадии ОВОС. Данная методика основана на вычислительном эксперименте, алгоритм которой представлен на рисунке 4.20.

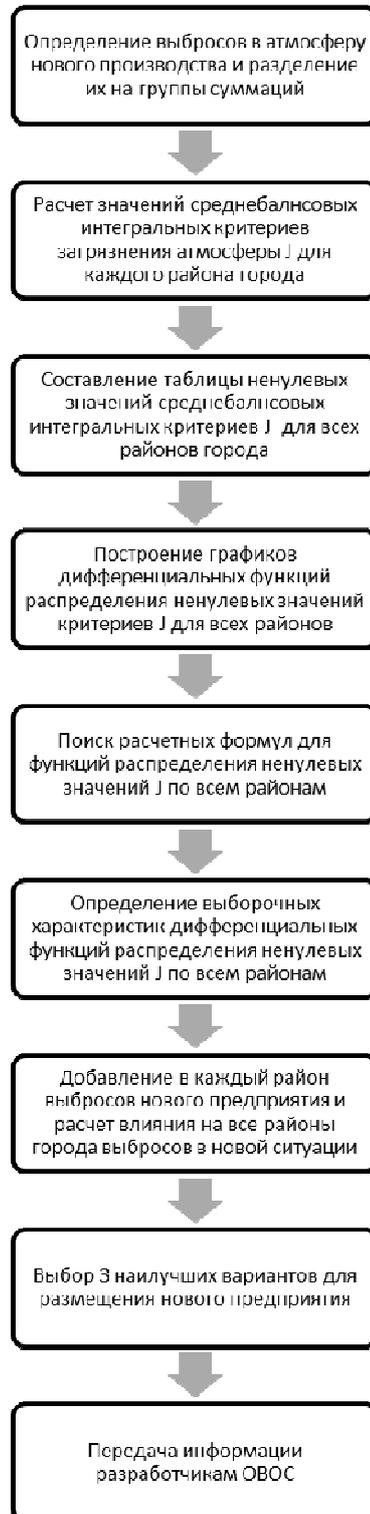


Рисунок 4.20 – Алгоритм поиска альтернативных (резервных) площадок для размещения промышленного предприятия

В рамках настоящей работы методика выбора альтернативных площадок была использована на примере г. Волгограда путем размещения новых промышленных предприятий в каждом районе города.

В разработанной программе «БалансЗВ 1.0» был произведен расчет значений среднебалансовых интегральных критериев загрязнения атмосферы J для каждого района г. Волгограда. Стоит обратить внимание на то, что в расчете используются только ненулевые значения критериев загрязнения атмосферы J, которые оказывают влияние на уровень загрязнения атмосферы в районе. На основании полученных данных была составлена таблица ненулевых значений среднебалансового интегрального критерия J для всех районов (таблица 4.1). Значения среднебалансового интегрального критерия изменяются в зависимости от климатических условий, что подтверждается полученными табличными данными.

Таблица 4.1 – Доля времени ненулевого значения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы

Загрязняющий район	Доля ненулевого значения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы J, %								
	Красноармейский	Кировский	Советский	Ворошиловский	Дзержинский	Центральный	Краснооктябрьский	Тракторозаводский	Волжский
Красноармейский	-	22,8	37,36	22,8	9,07	9,07	9,07	9,07	9,07
Кировский	20,33	-	37,36	9,07	9,07	9,07	9,07	9,07	10,44
Советский	3,57	37,6	-	40,38	18,13	10,44	10,44	10,44	9,89
Ворошиловский	3,57	15,93	20,6	-	17,86	19,51	18,68	10,44	9,34
Дзержинский	7,69	9,62	20,6	20,6	-	10,71	40,38	10,44	9,89
Центральный	6,32	15,93	10,99	10,99	13,74	-	19,51	19,51	10,44
Краснооктябрьский	6,32	9,62	10,99	10,99	25,55	10,99	-	19,51	29,12
Тракторозаводский	31,59	0	10,99	10,99	10,99	10,99	10,99	-	31,59
Волжский	10,99	10,99	10,99	10,99	10,99	10,99	25,55	39,29	-

Затем были составлены дифференциальные функции распределения ненулевых значений среднебалансовых интегральных критериев J для каждого района, примеры представлены на рисунках 4.21-23.

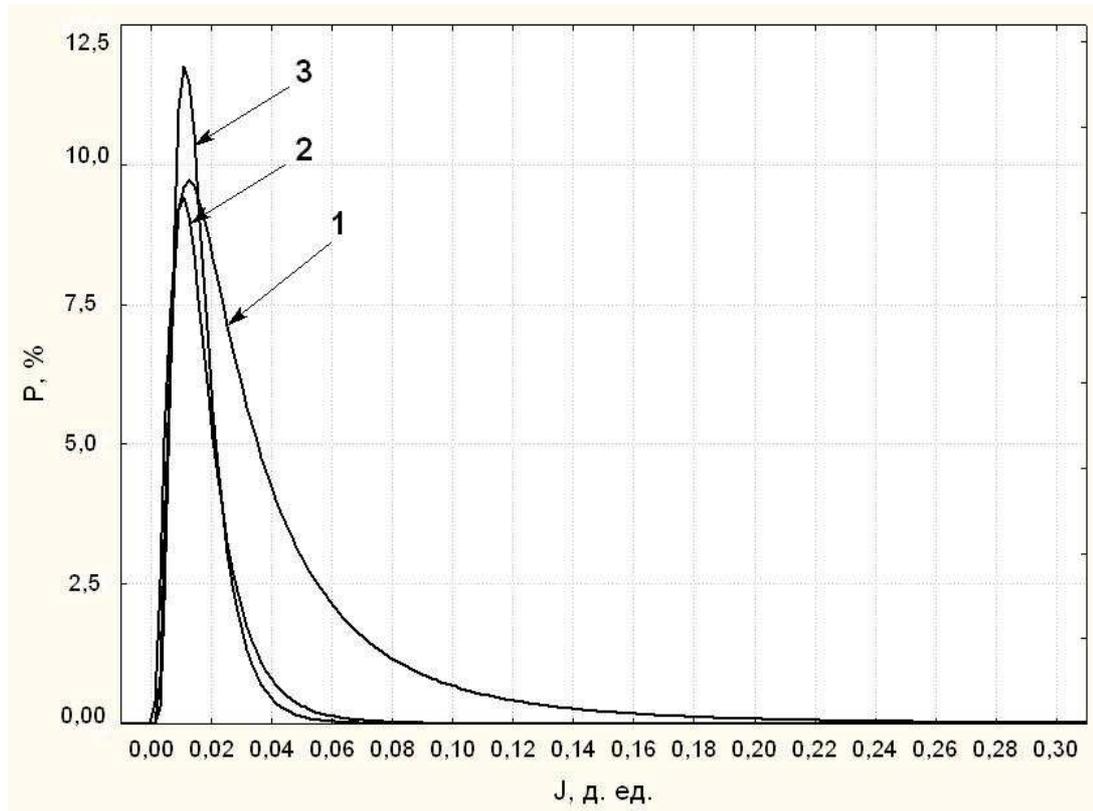


Рисунок 4.21 – Дифференциальные функции распределения ненулевых значений среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы J при учете только источника загрязнений Ворошиловского района г. Волгограда, где 1 – распределение J в Советском районе, 2 – распределение J в Дзержинском районе, 3 – распределение J в Краснооктябрьском районе

Функции распределения среднебалансового интегрального критерия при учете только источника загрязнения в Ворошиловском районе имеют вид:

- для Советского района:

$$y(x) = 1,5 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.1)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -3,570$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,903$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

- для Дзержинского района:

$$y(x) = 0,65 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.2)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -4,190$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,596$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

- для Краснооктябрьского района:

$$y(x) = 0,68 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.3)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -4,244$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,500$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения.

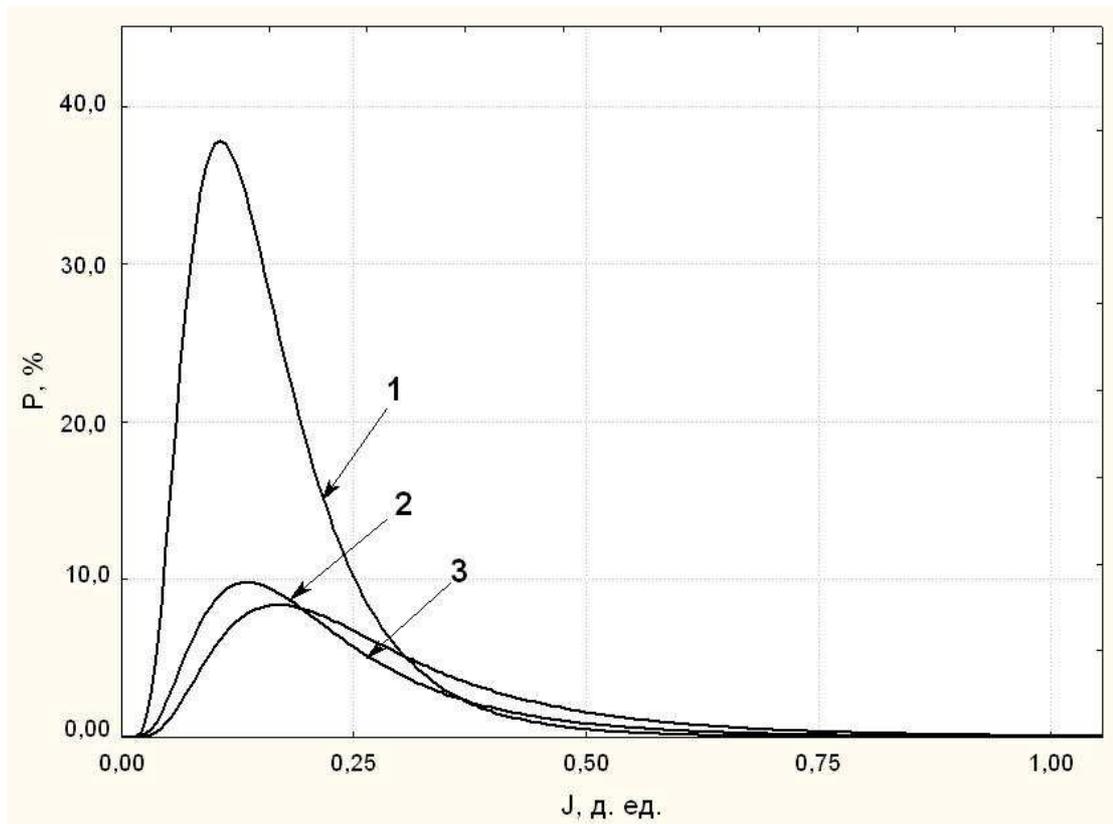


Рисунок 4.22 – Дифференциальные функции распределения ненулевых значений среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы J при учете только источника загрязнений Красноармейского района г. Волгограда, где 1 – распределение J в Советском районе, 2 – распределение J в Дзержинском районе, 3 – распределение J в Краснооктябрьском районе

Функции распределения среднебалансового интегрального критерия при учете только источника загрязнения в Красноармейском районе имеют вид:

- для Советского района:

$$y(x) = 11,11 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.4)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -1,964$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,528$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

- для Дзержинского района:

$$y(x) = 4,3 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.5)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -1,650$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,596$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

- для Краснооктябрьского района:

$$y(x) = 4,6 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.6)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -1,426$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,596$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения.

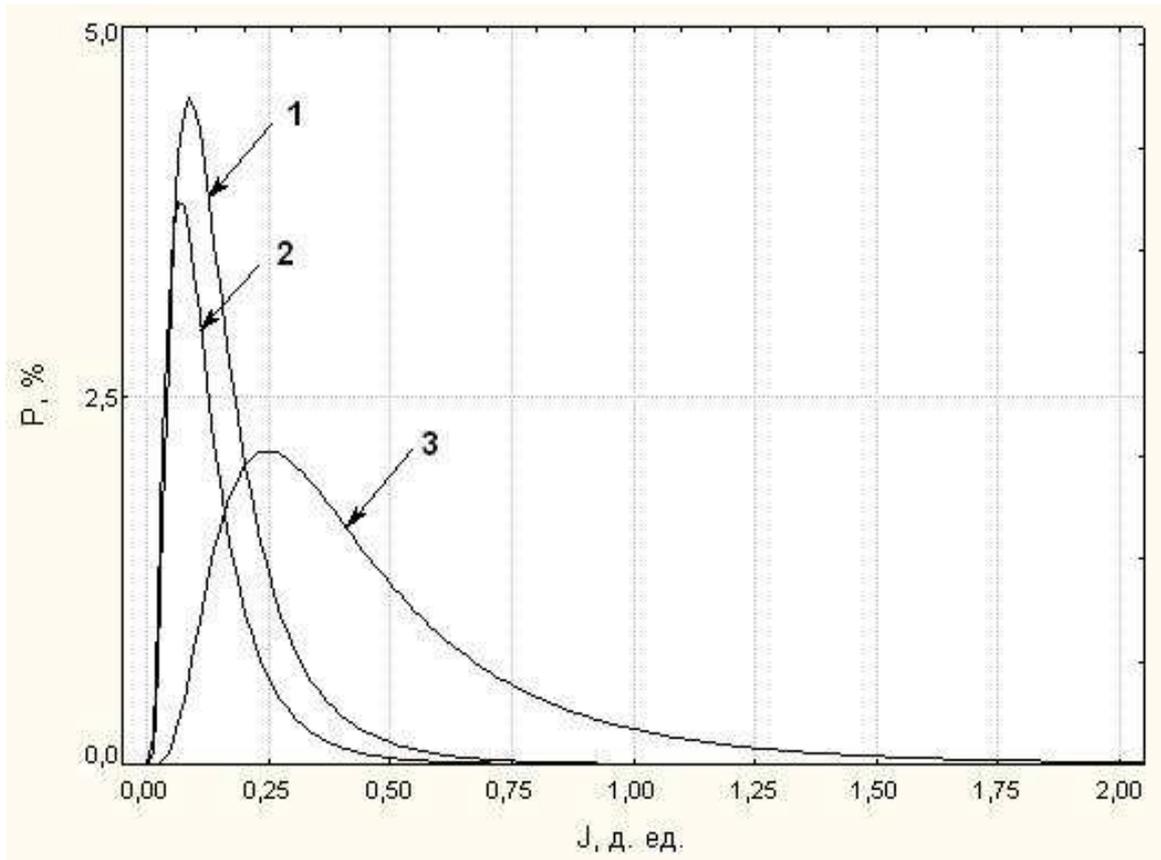


Рисунок 4.23 – Дифференциальные функции распределения ненулевых значений среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы J при учете только источника загрязнений Тракторозаводского района г. Волгограда, где 1 – распределение J в Советском районе, 2 – распределение J в Дзержинском районе, 3 – распределение J в Краснооктябрьском районе

Функции распределения среднебалансового интегрального критерия при учете только источника загрязнения в Тракторозаводском районе имеют вид:

- для Советского района:

$$y(x) = 3 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.7)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -1,993$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,664$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

- для Дзержинского района:

$$y(x) = 2 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.8)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -2,229$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,664$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

- для Краснооктябрьского района:

$$y(x) = 4 \cdot \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.9)$$

где x – значение среднебалансового интегрального критерия;

$\mu = -1,993$ – параметр положения функции плотности логарифмически-нормального закона распределения;

$\sigma = 0,664$ – параметр масштаба функции плотности логарифмически-нормального закона распределения.

В результате были получены выборочные характеристики распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы для всех районов, для примера приведена таблица 4.2.

Таблица 4.2 – Выборочное среднее значение распределения среднебалансового интегрального критерия загрязнения атмосферы J порайонно

Загрязняющий район	Выборочное среднее распределения ненулевого значения J		
	Советский	Дзержинский	Краснооктябрьский
Ворошиловский	0,044	0,019	0,017
Красноармейский	0,163	0,234	0,292
Тракторозаводский	0,498	0,139	0,175

Таким образом, получена оценка влияния выбросов на все районы города при добавлении в каждом районе поочередно нового промышленного производства. В качестве меры определения наименьшего воздействия на уровень загрязнения при размещении предприятия в одном из районов на остальные районы выступает выборочная характеристика выборочное среднее.

4.4 Проведение натуральных исследований и их сравнение с расчетными

При проведении натуральных исследований отбирались пробы пыли в жилой зоне, у автодорог и вблизи постов наблюдений г. Волгограда. Отбор проб осуществлялся через поглотительный прибор аспирационным способом путем пропускания воздуха с определенной скоростью в течение недели на каждом пункте замеров – от 15 до 18 часов по местному времени. Погодные условия были практически неизменными, поэтому были получены наиболее достоверные статистические данные. Наблюдения велись при помощи переносной метеостанции.

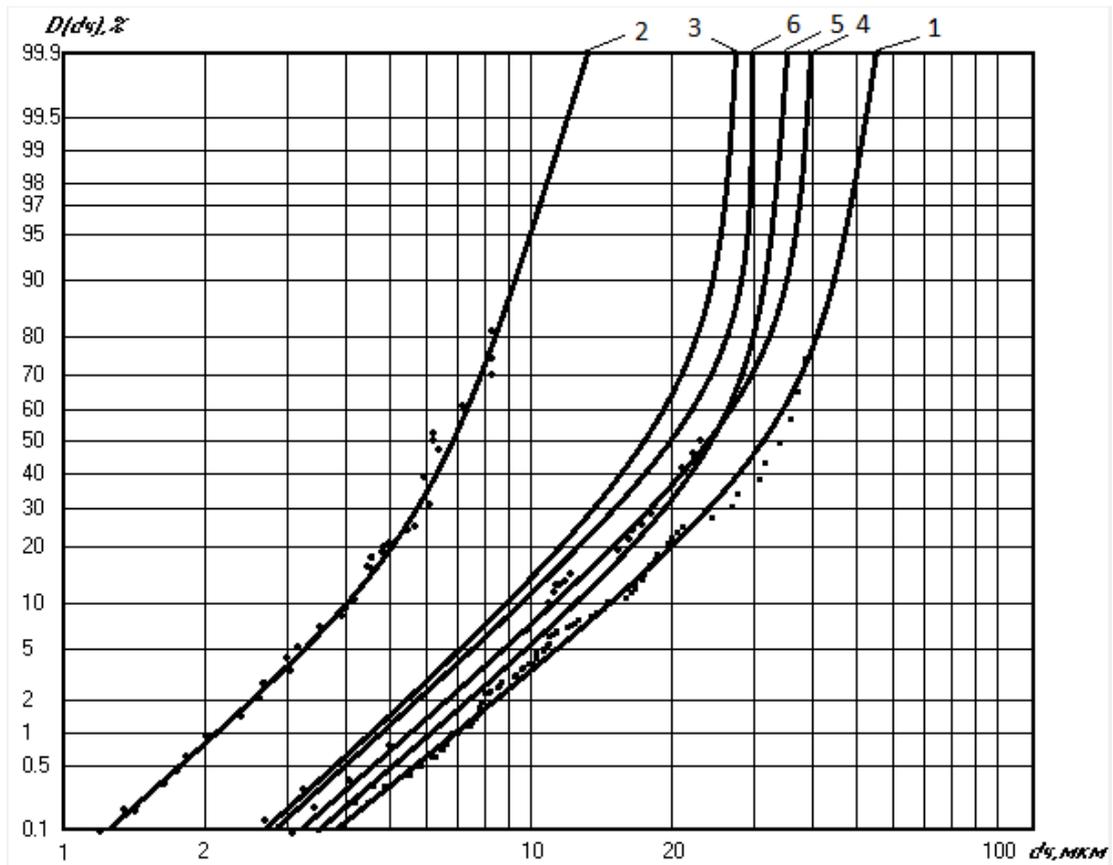
На штатив высотой 1,5 м от земли устанавливался фильтродержатель, который герметично соединялся гибким шлангом с аспиратором, фильтр при этом помещался в фильтродержатель. Затем производился отбор пробы. Во время отбора на каждом фильтре велась запись в журнале, где указывался номер фильтра, дата, место, условия взятия пробы, скорость и продолжительность отбора. Далее по методике [75] определялась концентрация пыли C_0 , по методике аналогично [70, 71, 74] определялся гранулометрический состав пыли в виде построения интегральных функций.

Пылевые частицы рассматривались под микроскопом, а также фотографировались. Обработка полученных микрофотографий предполагает выполнение следующих действий:

- определение эквивалентных диаметров частиц на микрофотографии;
- подсчет числа частиц;
- распределение частиц по размерам в заданной размерной сетке;
- определение дисперсионного состава пылей;
- математическая обработка результатов с построением гистограмм и графиков.

Все вышеуказанные действия выполнялись с помощью программы Dust. По окончании сканирования фотографии, определялся дисперсный состав пыли.

Полученные результаты средних значений для пыли в жилой зоне, отобранной в течение недели на одном из пунктов замеров (автодорога на улице Невской), представлены в виде интегральных кривых распределения массы частиц по диаметрам на рисунке 4.24.



- 1 - Доля частиц PM_{10} будет составлять 4% от массы частиц размером до 54 мкм.
- 2 - Доля частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ будет составлять 95% и 3,2% от массы частиц размером до 14 мкм соответственно.
- 3 - Доля частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ будет составлять 15% и 0,1% от массы частиц размером до 29 мкм соответственно.
- 4 - Доля частиц PM_{10} будет составлять 8% от массы частиц размером до 40 мкм.
- 5 - Доля частиц PM_{10} будет составлять 6% от массы частиц размером до 35 мкм.
- 6 - Доля частиц PM_{10} будет составлять 12% от массы частиц размером до 30 мкм.

Рисунок 4.24 – Интегральные кривые распределения массы частиц $D(d_q)$ по диаметрам уловленной пыли в вероятностно-логарифмической сетке, отобранной в часы пиковой активности автотранспорта

Отклонение кривой под номером 2 от других результатов можно объяснить изменением погодных условий, которым сопутствовало отсутствие ветра. В результате чего уменьшается количество переносимой пыли, а в воздухе витает мелкодисперсная пыль.

Далее определялась концентрация мелкодисперсной пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$ по формулам:

$$PM_{10} = C_0 \cdot D(10 \text{ мкм}), \quad (4.10)$$

$$PM_{2,5} = C_0 \cdot D(2,5 \text{ мкм}). \quad (4.11)$$

Для сравнения результатов натуральных исследований 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 4.25.

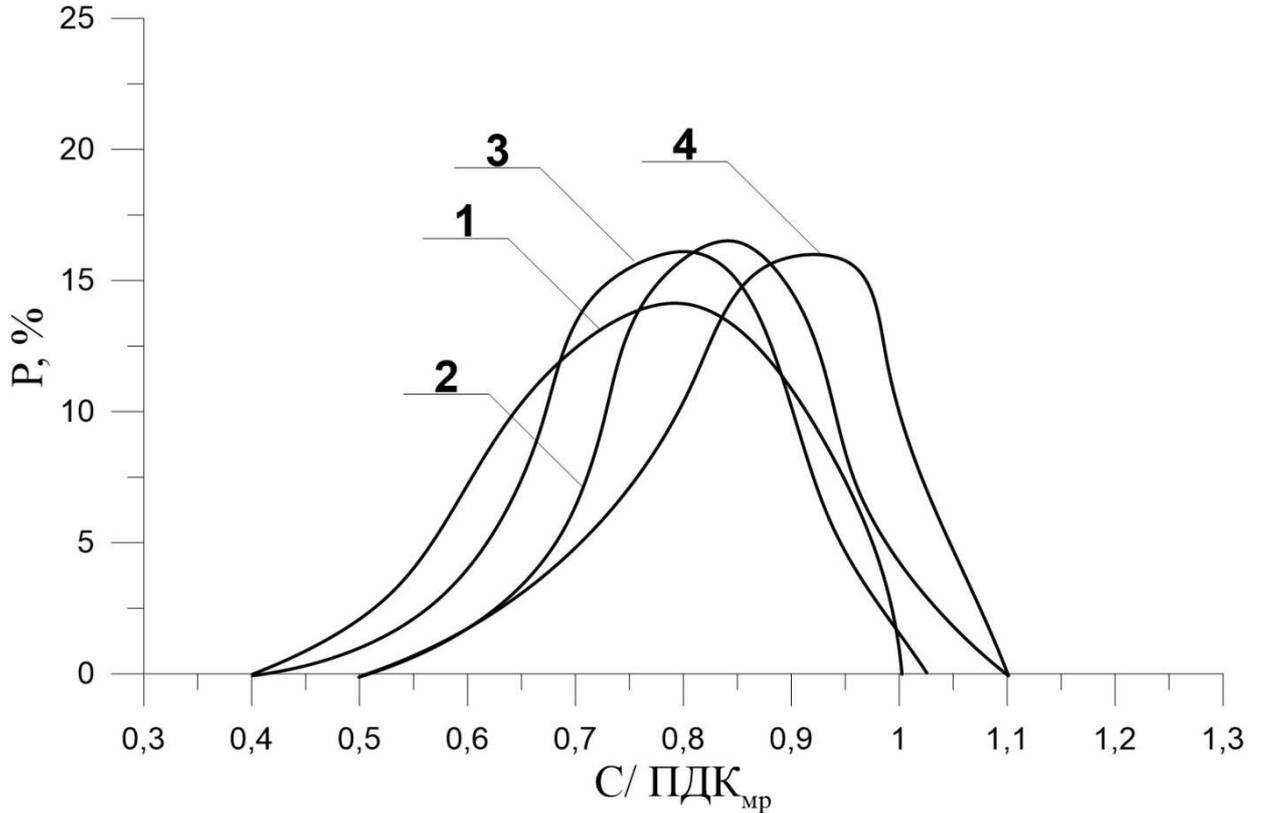


Рисунок 4.25 – Дифференциальные функции распределения для средних по району значений концентрации пыли в атмосфере г. Волгограда, полученных на основании: 1 – замеров и данных постов наблюдения; 2 - балансового метода поступления вредных веществ в район города; 3 – имитационного моделирования динамики 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.

4.5 Выводы по четвертой главе

1. Разработана программа «БалансЗВ 1.0» для определения функций распределения загрязнения воздушной среды крупных городов и построена информационная модель, по которой реализованы база данных SQLite и программные модули в виде классов и методов в нотации языка C# [35]. С помощью разработанной программы рассчитаны среднебалансовые интегральные критерии загрязнения атмосферы и балансовые концентрации загрязняющих веществ по группам суммаций в i -х районах города путем поступления из j -х районов в г. Волгограде.

2. Разработана методика на основе балансового метода по выбору альтернативных площадок для принятия предпроектных решений по размещению новых промышленных предприятий на стадии ОВОС.

3. Проведены натурные исследования по отбору проб пыли в жилой зоне, у автодорог и вблизи постов наблюдений г. Волгограда. В результате определены гранулометрический состав и концентрация пыли.

4. Сравнение результатов натурных исследований с расчетными по средним значениям концентрации пыли балансовым методом, согласно методики ОНД-86, методом имитационного моделирования динамики загрязняющих веществ показало, что балансовый метод при большом числе источников дает соизмеримую оценку загрязнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе, на основе теоретических разработок и проведенных по ним исследований и расчетов, можно подвести следующие **итоги:**

- 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 логнормальному 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.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

балансовый метод: Метод предварительной оценки загрязнения воздуха путем межрайонного переноса вредных веществ.

биологический потенциал: Возможность биосферы Земли производить возобновляемые ресурсы.

биосферная совместимость: Система социально-экономических и гуманитарных механизмов прогрессивного гармоничного развития людей, технологий, организаций, товаров и Биосферы регионов, то есть развития Биотехносферы.

Биотехносфера: Биосфера, включающая в качестве составной части Техносферу, созданную людьми.

Гуманитарный Баланс Биотехносферы: Тройственные балансы населения, мест удовлетворения потребностей населения и потенциала Биосферы регионов.

среднебалансовый интегральный критерий загрязнения атмосферы: Показатель загрязнения атмосферы городской среды для оценки межрайонного переноса вредностей.

Техносфера: Совокупность технических средств и методов.

удельная нагрузка загрязнения на атмосферу района: критерий оценки фонового загрязнения атмосферы от переноса вредностей из загрязняющих районов, учитывающий площадь воздействия.

экологический след: Условный показатель, наглядно иллюстрирующий потребление человечеством ресурсов Земли, который представляет собой площадь в гектарах биологически продуктивной поверхности Земли, необходимой для производства потребляемых нами ресурсов и переработки отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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/>
3. 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 международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах». – Брянск, 2015. – Т. 2. – С. 7-10.
4. 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/>
5. 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 международной конференции «Биосферносовместимые города и поселения». – Брянск, 2012. – С. 163-168.
6. 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.
7. Алоян, А. Е. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / А. Е. Алоян, В. В. Пененко, В. В. Козодеров // Современные

- проблемы вычислительной математики и математического моделирования. – Москва : Наука, 2005. – Т. 2. – С. 279-351.
8. Аргучинцев, В. К. Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона оз. Байкал [Текст] / В. К. Аргучинцев, А. В. Аргучинцева. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. – 255 с.
 9. Аргучинцева, А. В. Вероятностная оценка зон опасных концентраций примесей от произвольной системы источников в приземном слое атмосферы [Текст] / А. В. Аргучинцева, Л. М. Галкин // Природные условия и ресурсы некоторых районов Монгольской Народной Республики : докл. междунар. конф. – Иркутск, 1985. – С. 50-52.
 10. Аргучинцева, А. В. Вероятностное моделирование распределения загрязняющих веществ в атмосфере и на подстилающей поверхности [Текст] / А. В. Аргучинцева // Природные условия и ресурсы некоторых районов Центральной Азии : тез. докл. XVIII междунар. конф. по результатам работы советско-монгольской комплексной Хубсугульской экспедиции. – Иркутск, 1992. – С. 37-38.
 11. Аргучинцева, А. В. Вероятностный подход к моделированию задач рационального природопользования [Текст] / А. В. Аргучинцева // Оптика атмосферы и океана. – 1999. – Т. 12, № 6. – С. 499–502.
 12. Аргучинцева, А. В. Методика расчета вероятностного поля концентрации примеси в атмосфере от произвольной системы источников [Текст] / А. В. Аргучинцева, Л. М. Галкин // Моделирование процессов гидросферы, атмосферы и ближнего космоса. – Новосибирск : Наука, 1985. – С. 88-94.
 13. Аргучинцева, А. В. Модель распределения примесей от произвольной системы источников с учетом вероятностных характеристик ветрового режима [Текст] / А. В. Аргучинцева, Л. М. Галкин // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – Москва : Наука, 1987. – С. 302-307.
 14. Астапенко, П. Д. Вопросы о погоде [Текст] / П. Д. Астапенко. - Ленинград : Гидрометеоздат, 1986. – С. 293-294.

15. Белов, П. Н. Траекторная модель переноса загрязнений [Текст] / П. Н. Белов, З. Л. Карлова // Метеорология и гидрология. - 1990. - № 12. – С. 67-74.
16. Белов, П. Н. Численные методы прогноза погоды [Текст] / П. Н. Белов, Е. П. Борисенков, Б. Д. Панин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. – 376 с.
17. Берлянд, М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 272 с.
18. Берлянд, М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
19. Биосферная совместимость. Технология внедрения инноваций. Города, развивающие человека [Текст] / В. А. Егорушкин [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. - 2012. - № 10. – С. 71-72.
20. Боровиков, В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере [Текст] : для профессионалов / В. Боровиков. - 2-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 688 с.
21. Буч, Г. Язык UML. Руководство пользователя [Текст] / Г. Буч. ; пер. с англ. Н. Мухин. – 2-е изд. – Москва : Изд-во ДМК Пресс, 2006. – 496 с.
22. Вергун, П. В. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2011 году [Текст] / П. В. Вергун ; Ком. охраны окружающей среды и природопользования Волгогр. обл. – Волгоград : Изд-во «СМОТРИ», 2012. – 352 с.
23. Вергун, П. В. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2012 году [Текст] / П. В. Вергун ; Ком. охраны окружающей среды и природопользования Волгогр. обл. – Волгоград : Изд-во «СМОТРИ», 2013. – 300 с.
24. Вергун, П. В. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2013 году [Текст] / П. В. Вергун ; М-во природных ресурсов и экологии Волгогр. обл. – Волгоград : Изд-во «СМОТРИ», 2014. – 300 с.
25. Вернадский, В. И. Биосфера [Текст] / В. И. Вернадский. – Москва : Изд. дом «Ноосфера», 2001. – 244 с.

- 26.Владимиров, В. В. Биосфера и город [Текст] / В. В. Владимиров // Градостроительство и экология : моногр. - Москва, 2000. – 124 с.
- 27.Гаврилов, А. С. Математическое моделирование мезометеорологических процессов [Текст] / А. С. Гаврилов. – Ленинград : Изд-во ЛПИ, 1988. – 96 с.
- 28.Гаврилов, В. П. Рассеяние примеси от стационарных источников в приземном слое атмосферы [Текст] / В. П. Гаврилов, Ю. К. Горматюк // Метеорология и гидрология. – 1989. - № 2. – С. 37-47.
- 29.Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности [Текст] / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьёв. - Москва : Наука, 1965. – 524 с.
- 30.Голдаев, С. В. Примеры и задачи по надежности систем теплоэнергоснабжения [Текст] / С. В. Голдаев. – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. – 172 с.
- 31.Голдаев, С. В. Проверка с помощью критерия Пирсона статистической гипотезы о распределении генеральной совокупности по закону Вейбулла-Гнеденко [Текст] / С. В. Голдаев, К. Н. Радюк // Материалы двадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». – Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – С. 127-130.
- 32.Голенков, В. А. Инновационные технологии и механизмы обеспечения безопасности городской среды и социальных стандартов качества жизни биосферосовместимого города [Текст] / В. А. Голенков, В. И. Колчунов // Строительство и реконструкция. - 2012. - № 1 (39). – С. 46-54.
- 33.Горелов, О. В. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2010 году [Текст] / О. В. Горелов ; Ком. природных ресурсов и охраны окружающей среды Админ. Волгогр. обл. – Волгоград : Изд-во «СМОТРИ», 2011. – 352 с.
- 34.ГОСТ 19.701-90 Схемы алгоритмов программ, данных и систем [Текст]. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 24 с.
- 35.Гриффитс, И. Программирование на С# 5.0 [Текст] / И. Гриффитс ; пер. с англ. Райтмана. – Москва : Изд-во Эксмо, 2014. – 1136 с.

36. Груза, Г. В. Вероятностные метеорологические прогнозы [Текст] / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 271 с.
37. 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.
38. 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. – Пятигорск, 2012. – Вып. 7. – С. 176-180.
39. 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: сборник материалов и научных трудов инженеров-экологов. – Волгоград, 2015. – Вып. 6. – С. 18-21.
40. 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
41. 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.
42. 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.

43. 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.
44. Донцова, Т. В. Практическая реализация расчетов гуманитарных балансов атмосферного воздуха для оценки биосферной совместимости в промышленных городах [Текст] / Т. В. Донцова // Сборник работ всероссийского конкурса экологических проектов молодых ученых и специалистов «Экологическая безопасность и природопользование: наука, инновации, управление». – Москва, 2012. – С. 55-68.
45. 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.
46. Живая планета-2008 [Текст] / ред. Крис Хейлс [и др.] // WWF & World Wide Fund For Nature (formerly World Wildlife Fund). – Гланд, Швейцария, 2008. – 47 с.
47. Забродоцкий, Ю. Н. Через рынок – к общечеловеческим ценностям [Текст] / Ю. Н. Забродоцкий. - Москва : Междунар. жизнь, 1992. – С. 56-66.
48. Ильичев, В. А. Биосферная совместимость: Технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека [Текст] / В. А. Ильичев. – Москва : Кн. дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.
49. Ильичев, В. А. Биосферосовместимые технологии регионального развития [Текст] / В. А. Ильичев, И. А. Малмыгин. – Москва : ИД «Экономика, Строительство, Транспорт», 2009. – 184 с.
50. Ильичев, В. А. Город и технологии [Текст] / В. А. Ильичев // Доклад на годовом собрании РААСН. - Санкт-Петербург, 2000. – 12 с.
51. 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.
- 52.Ильичев, В. А. Математическая модель динамики закрытой биосферосовместимой территории [Текст] / В. А. Ильичев, В. И. Колчунов, В. А. Гордон // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2012. - № 4 (37). – С. 86-92.
- 53.Ильичев, В. А. Методика прогнозирования показателей биосферосовместимости урбанизированных территорий [Текст] / В. А. Ильичев, В. И. Колчунов, В. А. Гордон // Градостроительство. - 2010. - № 1. – С. 37-43.
- 54.Ильичев, В. А. Может ли город быть биосферосовместимым и развивать человека? [Текст] / В. А. Ильичев // Архитектура и строительство Москвы. - 2009. - № 2. – С. 8-13.
- 55.Ильичев, В. А. Потребности личности и функции города [Текст] / В. А. Ильичев // Вестник ТГАСУ. - 2000. - №1. – С. 50-58.
- 56.Ильичев, В. А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В. А. Ильичев // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. - № 6. - С. 3-13.
- 57.Ильичев, В. А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В. А. Ильичев [и др.]. – Москва : Изд-во АСВ, 2015. – 184 с.
- 58.Ильичев, В. А. Расчет гуманитарных балансов биотехносферы [Текст] / В. А. Ильичев // Градостроительство. – 2011. –№ 4 (14). – С. 38-42.
- 59.Информационно-компьютерный комплекс для моделирования динамики примесей от предприятий химической промышленности [Текст] / А. А. Белослудцев [и др.] // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 1 : Математика. Физика. - 2009. - № 12. – С. 95-102.
- 60.К построению модели биосферосовместимых городов / В. А. Ильичев [и др.] // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской

- Федерации в 2009 году [Текст] : сб. науч. тр. РААСН : в 2 т. – Москва ; Иваново : РААСН, ИГАСУ, 2010. - Т. 2. – С. 201-209.
61. Калинина, В. Н. Математическая статистика [Текст] / В. Н. Калинина, В. Ф. Панкин. - Москва : Изд-во «Дрофа», 2002. – 336 с.
62. Климат Волгограда [Текст] / Сев.-Кавк. террит. упр. по гидрометеорологии, Ниж.-Волж. гидрометеорол. обсерватория (под редакцией Ц. А. Швер). – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1989. – 215 с.
63. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А. И. Кобзарь. – Москва : Физматлит, 2006. – 816 с.
64. Колмогоров, А. Н. Об аналитических методах в теории вероятностей / А. Н. Колмогоров // Успехи математических наук. – 1938. – Вып. 5. – С. 5-41.
65. Константинов, В. Н. Выбор ветроэнергетической установки и оценка ее производительности [Текст] / В. Н. Константинов, Р. С. Абдрахманов // Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2005. – № 11/12. – С. 48-52.
66. Крукиер, Л. А. Математическое моделирование процессов переноса в несжимаемых средах с преобладающей конвекцией [Текст] / Л. А. Крукиер. – Математическое моделирование. - 1997. - Т. 9, № 2. - С. 4–12.
67. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники [Текст] / Б. Р. Левин. – 3-е над., перераб. и доп. м Москва : Радио и связь, 1989. – 656 с.
68. Липанов, А. М. Математическое моделирование турбулентных потоков [Текст] / А. М. Липанов, Ю. Ф. Кисаров, И. Г. Ключников // Математическое моделирование. – 1997. - Т. 9, № 2. – С. 113-116.
69. Малярчук, Ю. Д. Информационная модель специализированной ГИС для моделирования динамики воздушных потоков [Текст] / Ю. Д. Малярчук С. С. Храпов // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. - 2013. - № 5/1. – С. 79-83.
70. Маринин, Н. А. Исследование дисперсного состава пыли в инженерно-экологических системах и выбросах в атмосферу предприятий

- стройиндустрии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.19 / Маринин Н. А. – Волгоград, 2014. – 165 с.
71. 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.
72. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в задачах окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук, А. Е. Алоян // Проблемы механики и некоторые современные аспекты науки. – Москва : Наука, 1993. – С. 12-25.
73. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды [Текст] / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
74. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) [Текст] / В. Н. Азаров [и др.] // Законодательная и прикладная метрология. – 2004. – N 1. – С. 46-48.
75. Методика микроскопического анализа дисперсионного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) [Текст] // Перечень методик измерений концентраций загрязняющих веществ в выбросах промышленных предприятий, допущенных к применению в 2014 году / ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой», ОАО «НИИ Атмосфера». - Санкт-Петербург, 2013.
76. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий : ОНД-86 [Текст]. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
77. Морозова, И. А. Моделирование трансграничного загрязнения субъектов Северо-Западного федерального округа [Текст] / И. А. Морозова [и др.] // Проблемы охраны атмосферного воздуха : сб. тр. – Санкт-Петербург : ОАО «НИИ Атмосфера», 2012. – С. 111-128.
78. Научно-прикладной справочник по климату СССР [Текст]. Вып. 13. Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский,

- Ставропольский край, Калмыцкая, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская, Северо-Осетинская АССР. – Ленинград : Гидрометеиздат. 1990. – 724 с.
79. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости / В. А. Ильичев [и др.] // Строительные науки. – 2009. – № 1. – С. 74-80.
80. Орлов, А. И. Теория принятия решений [Текст] / А. И. Орлов. – Москва : Март, 2004. – 656 с.
81. Осипов, В. И. Урбанизация и природные опасности. Задачи, которые необходимо решать [Текст] / В. И. Осипов. - Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2007. - № 1. – С. 3-9.
82. Охрана атмосферы и предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ по г. Волгограду [Текст]. - Волгоград, 1986.
83. Проблемы охраны атмосферного воздуха [Текст] : сб. тр. – Санкт-Петербург : ОАО «НИИ Атмосфера», 2012. – 164 с.
84. Прогноз погоды [Электронный ресурс] // сайт Gismeteo URL:<http://www.gismeteo.ru/> (дата обращения 23.06.2015).
85. Рамбо, Дж. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка [Текст] / Дж. Рамбо, М. Блаха. – Москва : Изд-во Питер, 2007. – 544 с.
86. Рекомендации по определению климатических характеристик ветро-энергетических ресурсов [Текст]. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. – 80 с.
87. Ружевиčius, Ю. Экологический след как новый количественный индикатор устойчивого развития [Текст] / Ю. Ружевиčius // Менеджмент качества. – 2010. – С. 9.
88. Рыхлов, А. Б. Анализ применения различных законов распределения для выравнивания скоростей ветра на юго-востоке европейской территории России [Текст] / А. Б. Рыхлов // Изв. Саратов. ун-та. Сер.: Науки о Земле. - 2010. - Т. 10, вып. 2. – С. 25-30.
89. Рыхлов, А. Б. К вопросу о вековых изменениях климата Нижнего Поволжья [Текст] / А. Б. Рыхлов, С. И. Пряжина. - Деп. ВИНТИ 14.65.96, № 1525-В-96. – 5 с.

- 90.Рыхлов, А. Б. К вопросу об аппроксимации скоростей ветра на юго-востоке европейской территории России законом распределения Вейбулла–Гудрича [Текст] / А. Б. Рыхлов // Изв. Саратов. ун-та. Сер.: Науки о Земле. - 2010. - Т. 10, вып. 2. – С. 32-37.
- 91.Рыхлов, А. Б. Климатологическая оценка ветроэнергетического потенциала на различных высотах: на примере Юго-Востока Европейской территории России [Текст] : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.30 / Рыхлов А. Б. – Саратов, 2012. – 255 с.
- 92.Справочник по специальным функциям [Текст] / под ред. М. Абрамовица, И. Стигана. – Москва : Наука, 1979. – 818 с.
- 93.Статистическое моделирование переноса примеси в атмосфере методом лагранжевых блуждающих частиц [Текст] / И. Г. Коваленко [и др.] // Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. - Ленинград, 1991. - Вып. 14.
- 94.Хоперсков, А. В. Математическое моделирование экосистем [Текст] / А. В. Хоперсков // Социальная экология. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 1993. – С. 88-91.
- 95.Хоперсков, А. В. Экологический мониторинг приземного слоя атмосферы [Текст] / А. В. Хоперсков // Высшая школа в решении экологических проблем Нижне-Волжского региона. - Волгоград, 1994. – С. 24-25.
- 96.Храпов, С. С. Имитационное моделирование динамики загрязняющих примесей [Текст] : учеб. пособие / С. С. Храпов, А. В. Хоперсков, М. А. Еремин. – Волгоград : Изд-во Волгогр. гос. ун-та, 2010. – 132 с.
- 97.Храпов, С. С. Компьютерное моделирование экологических систем - монография [Текст] / С. С. Храпов, А. В. Хоперсков, М. А. Еремин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Волгогр. гос. ун-т". - Волгоград, 2010. – 124 с.
- 98.Хргиан, А. Х. Физика атмосферы [Текст] / А. Х. Хргиан. – Москва : Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1958. – 476 с.

99. Экологический программный комплекс для персональных ЭВМ [Текст] / под ред. А. С. Гаврилова. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1992. – 165 с.
100. Энциклопедия «Океан – Атмосфера» [Текст] / Редакция метеорологии и охраны окружающей среды (зав. редакцией Л. Л. Беленькая). – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983.
101. Ciegis, R. The concept of Sustainable Development [Text] / R. Ciegis, J. Ramanauskiene, B. Maryinkus // Engineering Economics. - 2009. - Vol. 2. – P. 28-37.
102. Ciegis, R. Theoretical Reasoning of the Use of Indicators for Sustainable Development Assessment [Текст] / R. Ciegis, J. Ramanauskiene, G. Startiene // Engineering Economics. - 2009. - Vol. 3. – P. 33-40.
103. Nguyen, K. H. Mathematical modeling of air pollution dynamics [Text] / K. H. Nguyen // Dissertation Abstracts International. - 2003. - Vol. 63, № 6. – P. 303-320.
104. Rick F. van der Lans. The SQL Guide to SQLite [Text] / F. Rick van der Lans. - Lulu, 2009. – 517 p.
105. Ruzevicius, J. Environmental Management Systems and Tools Anglysis [Текст] / J. Ruzevicius // Engineering Economics. - 2009. - Vol. 4. – P. 49-59.
106. Weinberg, A. M. Computer-aided simulation of transfer processes. Solving of a nonlinear boundary-value problems [Text] / A. M. Weinberg. - Jerusalem, 2009. – 220 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А СОПРОВОДИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ



ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»

Юридический адрес: 400 087, г. Волгоград, ул. Новороссийская, 10 тел./факс: (8442)26-57-00
 Почтовый адрес: 400 074, г. Волгоград, ул. Баррикадная, 1 26-57-01
 р/с 40702810311000000897 Волгоградское ОСБ №8621 г.Волгоград 26-57-08
 БИК 041806647 Email: ptb2006@mail.ru
 к/с 30101810100000000647 www.ptbvgstroy.ru
 ОГРН 1063444056356
 ИНН 3444135069/ КПП 344401001

СПРАВКА

Дана Донцовой Татьяне Васильевне о том, что в ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой» на стадии предпроектных работ использовалась предложенная ею методика выбора альтернативных площадок для следующих проектов:

1. «Оценка воздействия на окружающую среду при строительстве объектов для размещения следующих производств: изготовление рукавов дорновым способом; подготовка резиновых смесей; складирование сырья и готовой продукции ООО «Волгопромтранс»;
2. «Материалы по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) реализуемого проекта «Производство обожженных анодов на ОАО «СУАЛ» филиал «ВгАЗ-СУАЛ»».

Начальник отдела
 ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»,
 к.т.н.

А.В. Баев

Подпись Баева Алексея Валерьевича заверяю
 Заместитель директора
 ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»



Н.Г. Бекетова



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ

e-mail: rosstroyproekt@mail.ru

Общество с Ограниченной Ответственностью «Научно – исследовательский и проектный институт «Росстройпроект»
400001, г. Волгоград ул. Канунникова, 15, этаж 6.
р/с 40702810111000004750 в Волгоградском отделении № 8621 ОАО «Сбербанк России
ИНН 3444140598 КПП 346001001, ОГРН 1063444065508
тел.(8442) 99-53-91

Исх.№ 25/16 от «26» февраля 2016г.

Донцовой Татьяне Васильевне

СПРАВКА

Дана Донцовой Татьяне Васильевне в том, что в ООО «НИиПИ «Росстройпроект» на стадии предпроектных работ использовалась предложенная ею методика выбора альтернативных площадок для следующего проекта:

Проект планировки территории ВМК «Красный Октябрь» в Волгограде.

Главный архитектор
«НИиПИ «Росстройпроект»,
член-корреспондент РААСН,
кандидат архитектуры, профессор,
засл. арх. РФ

А.В. Антюфеев

Директор
«НИиПИ «Росстройпроект»

Н.В. Прусакова



СПРАВКА

Дана Донцовой Татьяне Васильевне в том, что в ЗАО «ВолгоградНИПИнефть» на стадии предпроектных работ использовалась предложенная ею методика выбора альтернативных площадок для следующих проектов:

1. «Оценка воздействия на окружающую среду при выполнении работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов при бурении (строительстве) разведочной скважины № 4 Сарматской площади, месторождение им. Ю.С. Кувькина»;
2. Оценка воздействия на окружающую среду при проведении инженерно-геологических изысканий на площадке № 3 структуры "Сарматская";
3. Оценка воздействия на окружающую среду при проведении инженерно-геологических изысканий на площадке № 9-бис структуры "Ракушечная".

Генеральный директор



В. В. Калинин



ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»

Юридический адрес: 400 087, г. Волгоград, ул. Новороссийская, 10

тел./факс: (8442) 26-57-01

Почтовый адрес: 400 074, г. Волгоград, ул. Баррикадная, 1

26-57-08

р/с 40702810311000000897 Волгоградское ОСБ №8621 г.Волгоград

БИК 041806647

Email: ptb2006@mail.ru

к/с 30101810100000000647

ОГРН 1063444056356

ИНН 3444135069/ КПП 344401001

АКТ ПЕРЕДАЧИ

г. Волгоград

18 января 2016 г.

Представитель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «ВолгГАСУ», в лице соискателя ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.19 – «Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства» Донцовой Т.В., с одной стороны, передала, а представитель общества с ограниченной ответственностью «ПТБ Волгоградгражданстрой», в лице начальника отдела Баева А.В., с другой стороны, принял разработанные ею «Методические рекомендации по оценке загрязнения воздушной среды крупных городов балансовым методом».

Передала:

соискатель ученой степени
кандидата технических наук
ФГБОУ ВПО «ВолгГАСУ»

Т.В. Донцова

Принял:

Начальник отдела
ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»
к.т.н.

А.В. Баев

Подпись Баева Алексея Валерьевича заверяю:
Заместитель директора
ООО «ПТБ Волгоградгражданстрой»



Бекетова Н. Г.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016613400

БалансЗВ 1.0

Правообладатель: *Донцова Татьяна Васильевна (RU)*Авторы: *Донцова Татьяна Васильевна (RU), Азаров Валерий Николаевич (RU), Хегай Дмитрий Сергеевич (RU)*

Заявка № 2016610863

Дата поступления 01 февраля 2016 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 28 марта 2016 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Иелиев

ПРИЛОЖЕНИЕ Б РЕЖИМ ВЕТРА Г. ВОЛГОГРАДА ЗА 2010-2014 ГГ.

Таблица 1 – Режим ветра по северному направлению за 2013 г.

№ по п/п	Число	Месяц	Год	Температура, °С		Давление, мм рт. ст.		Скорость ветра, м/с	
				2013	день	вечер	день	вечер	день
1	9	Январь	2013	-10	-8	744	746	5	5
2	22	Февраль	2013	-1	-5	756	757	4	3
3	26	Февраль	2013	1	-5	762	760	4	2
4	12	Март	2013	3	-2	737	741	5	5
5	17	Март	2013	4	3	745	745	7	8
6	29	Март	2013	0	-5	757	759	4	2
7	9	Апрель	2013	8	5	744	748	6	7
8	11	Апрель	2013	12	7	751	752	3	3
9	13	Апрель	2013	13	9	754	755	3	2
10	22	Апрель	2013	11	9	744	744	5	6
11	24	Апрель	2013	10	6	749	748	6	4
12	29	Апрель	2013	22	15	750	753	8	6
13	7	Май	2013	20	14	754	755	9	2
14	22	Май	2013	18	18	748	748	11	3
15	29	Май	2013	28	21	750	749	4	4
16	31	Май	2013	28	20	743	743	8	4
17	19	Июнь	2013	20	14	743	744	5	9
18	28	Июнь	2013	22	21	747	746	9	3
19	29	Июнь	2013	31	24	743	743	2	6
20	13	Июль	2013	30	24	746	746	3	4
21	18	Июль	2013	27	22	747	748	7	4
22	19	Июль	2013	28	22	747	747	4	3
23	5	Август	2013	26	21	743	744	6	3
24	6	Август	2013	26	22	744	746	7	1
25	9	Август	2013	28	20	747	747	7	4
26	10	Август	2013	29	23	747	747	5	3
27	19	Август	2013	27	20	748	749	4	1
28	20	Август	2013	24	19	749	750	7	5
29	13	Сентябрь	2013	16	12	755	755	2	3
30	4	Октябрь	2013	4	3	752	752	5	7
31	5	Октябрь	2013	4	3	753	753	4	2
32	13	Октябрь	2013	13	6	754	753	3	3
33	20	Октябрь	2013	9	1	755	757	9	3
34	3	Декабрь	2013	-3	-6	749	753	11	9
35	11	Декабрь	2013	-4	-8	745	750	6	8

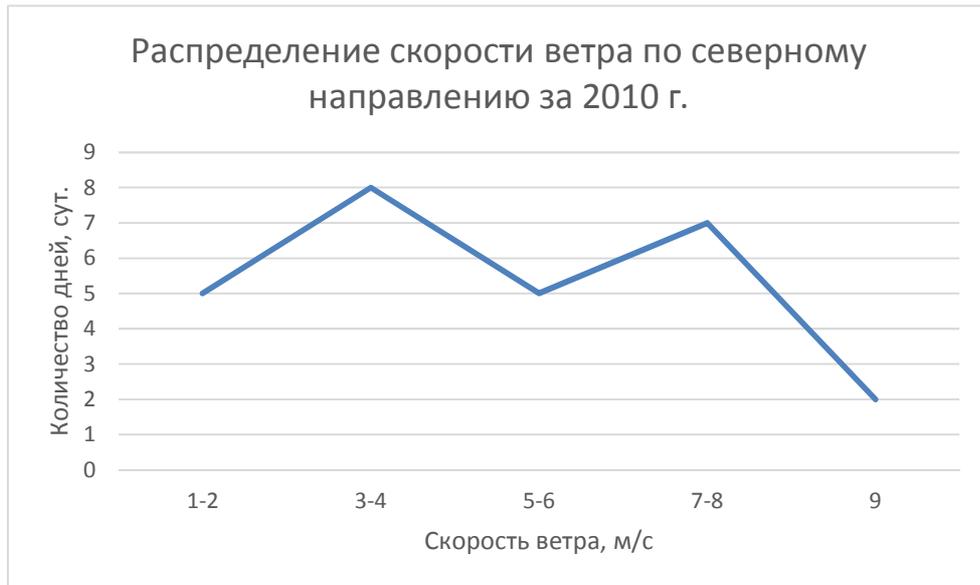


Рисунок 1 – Распределение скорости ветра за 2010 г.

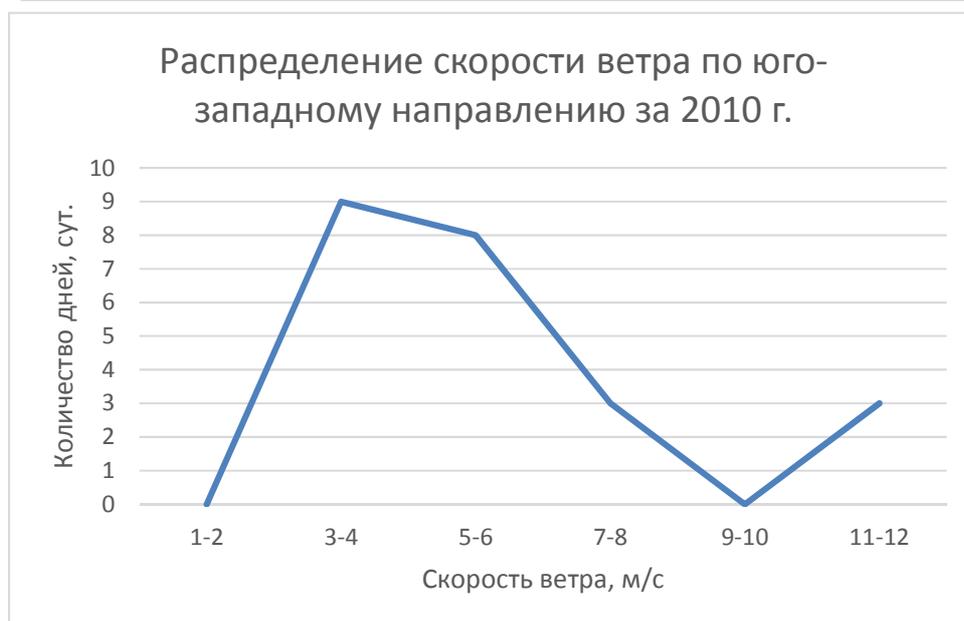
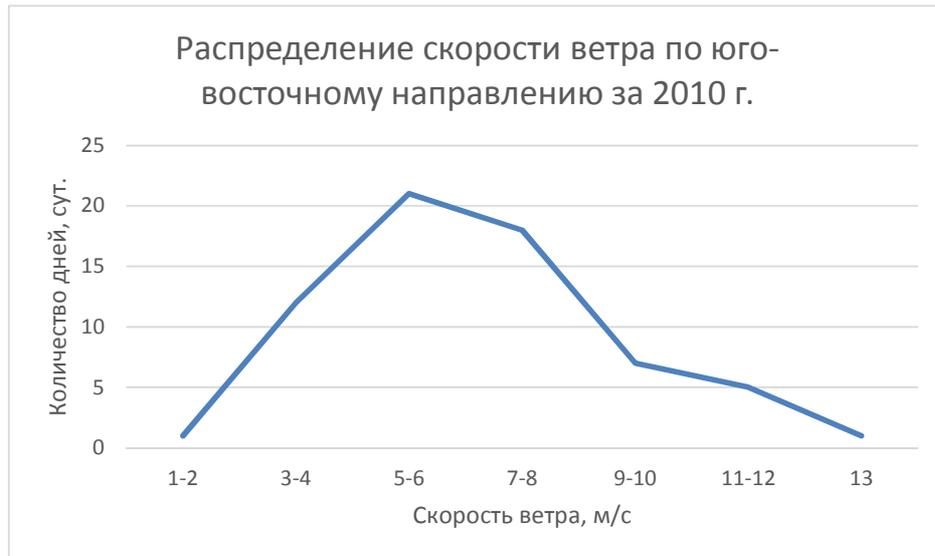


Рисунок 2 – Распределение скорости ветра за 2010 г.

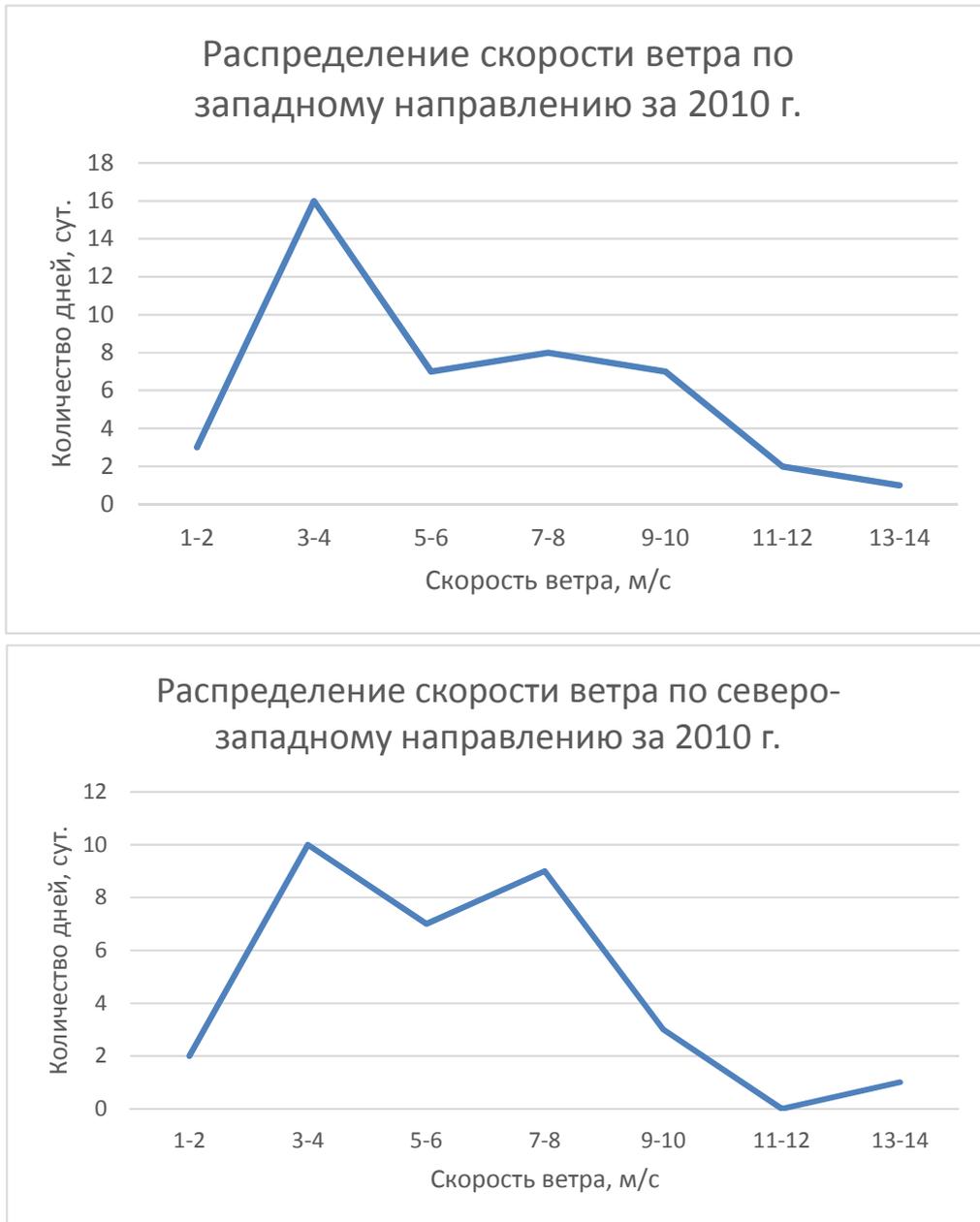


Рисунок 3 – Распределение скорости ветра за 2010 г.

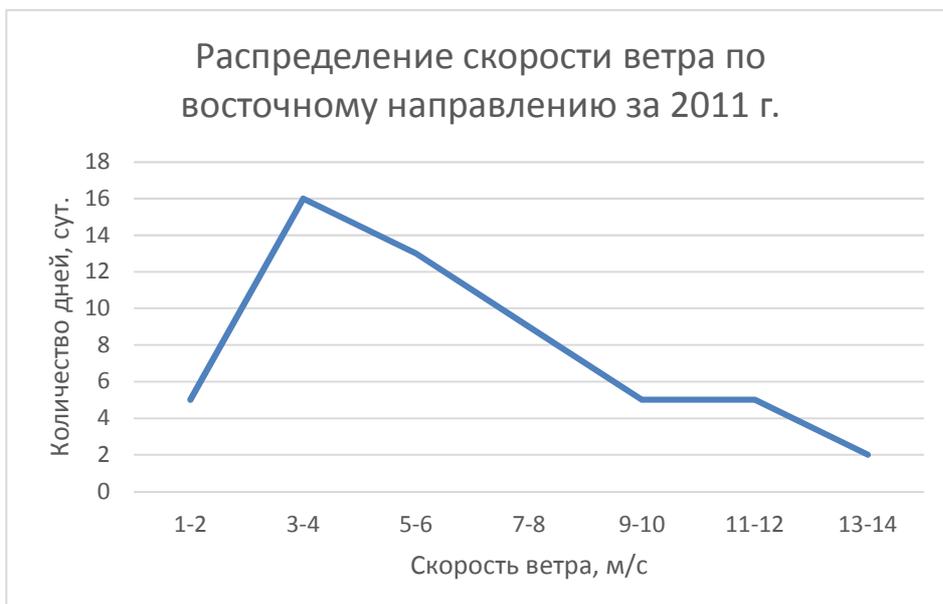


Рисунок 4 – Распределение скорости ветра за 2011 г.

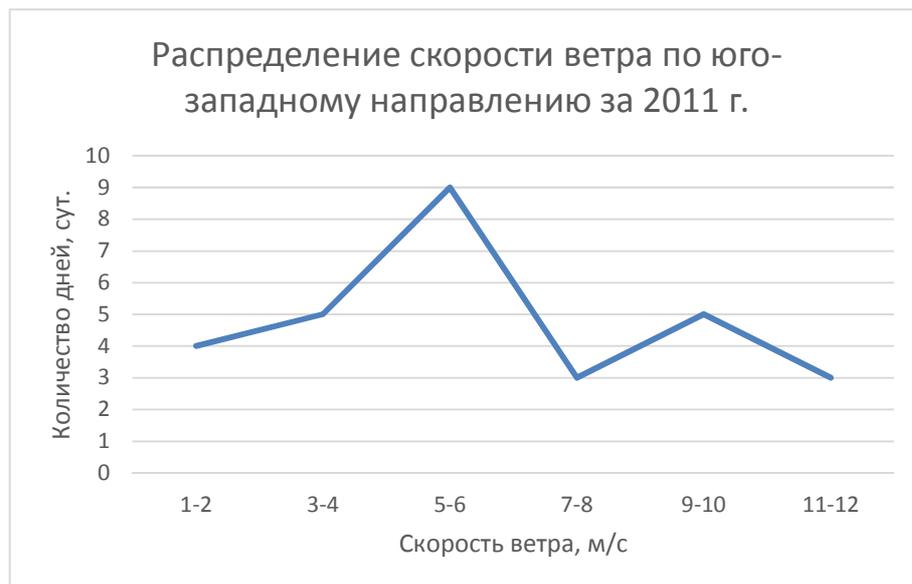
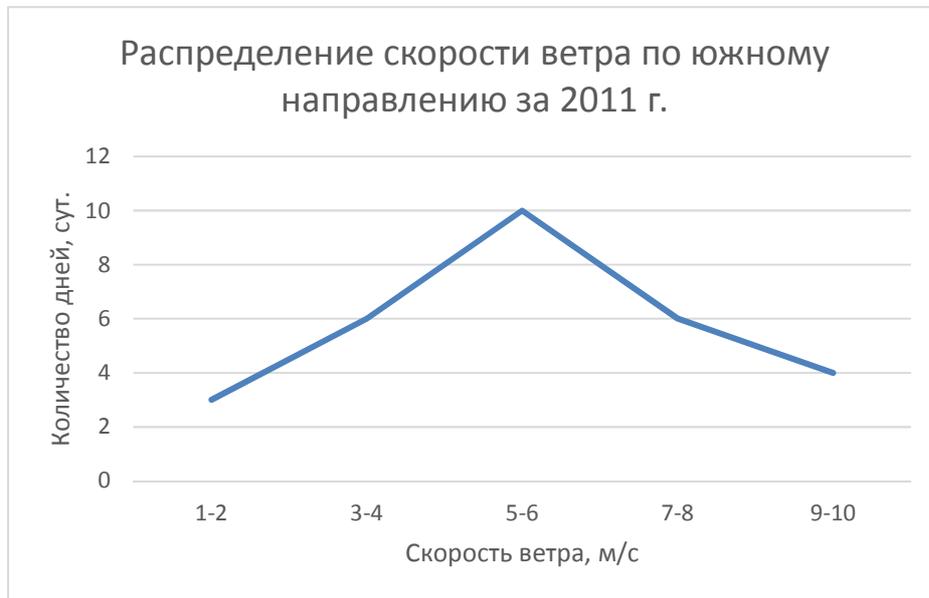


Рисунок 5 – Распределение скорости ветра за 2011 г.

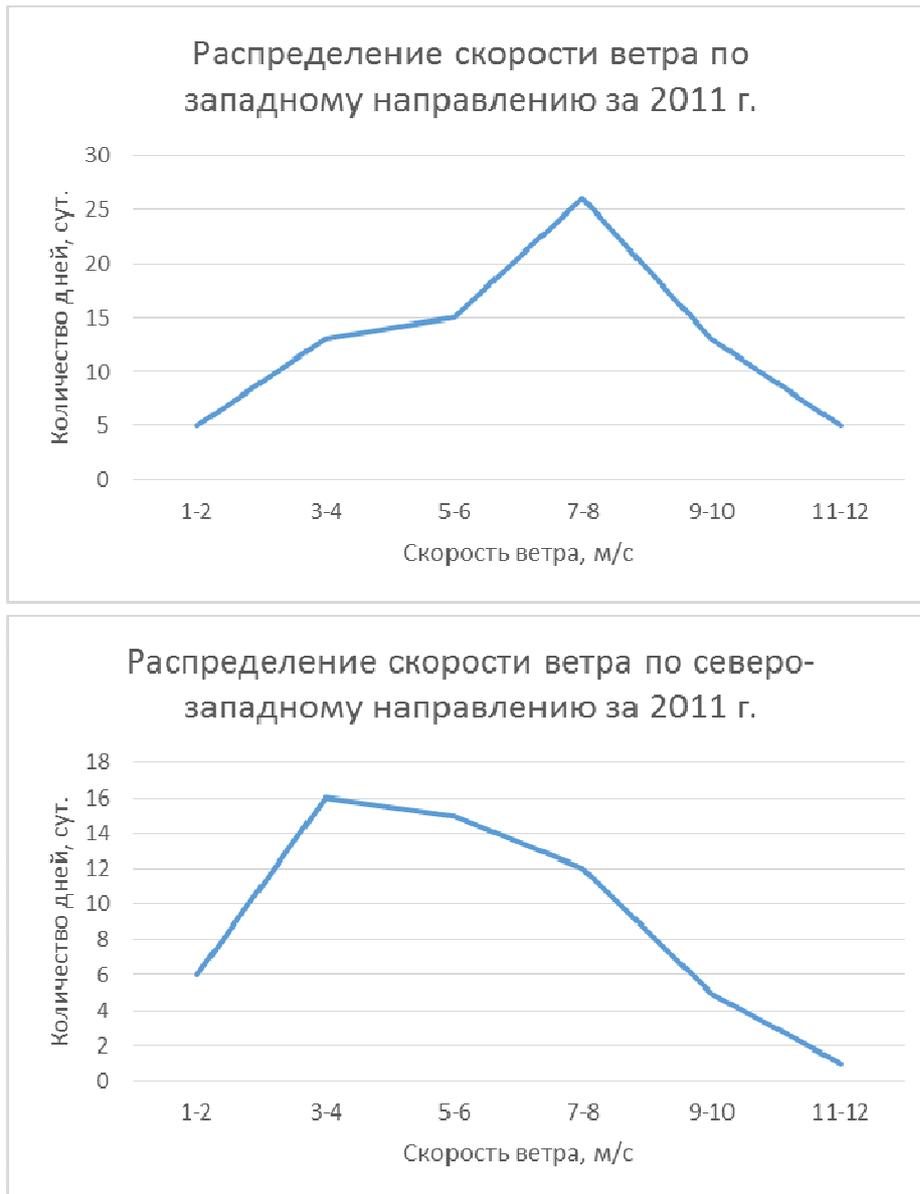


Рисунок 6 – Распределение скорости ветра за 2011 г.

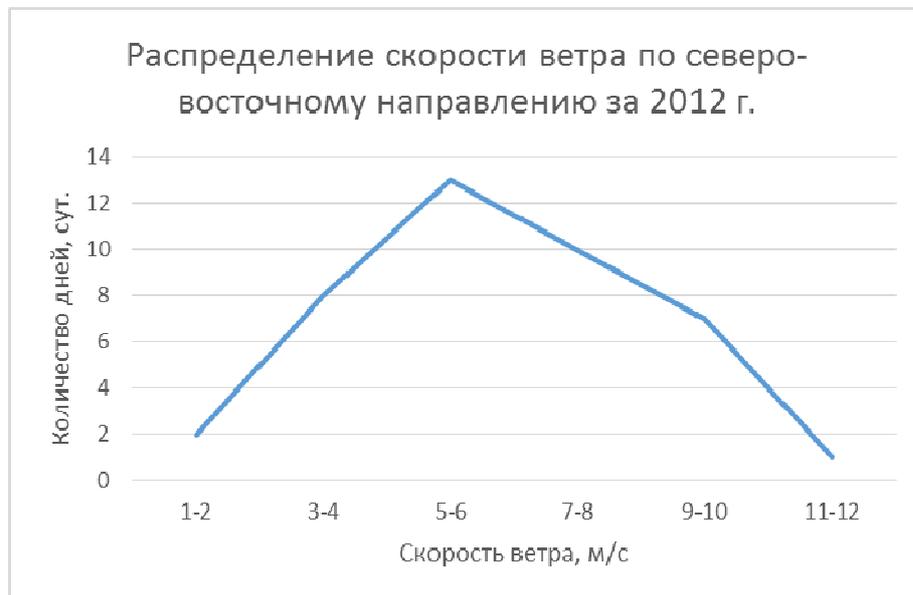
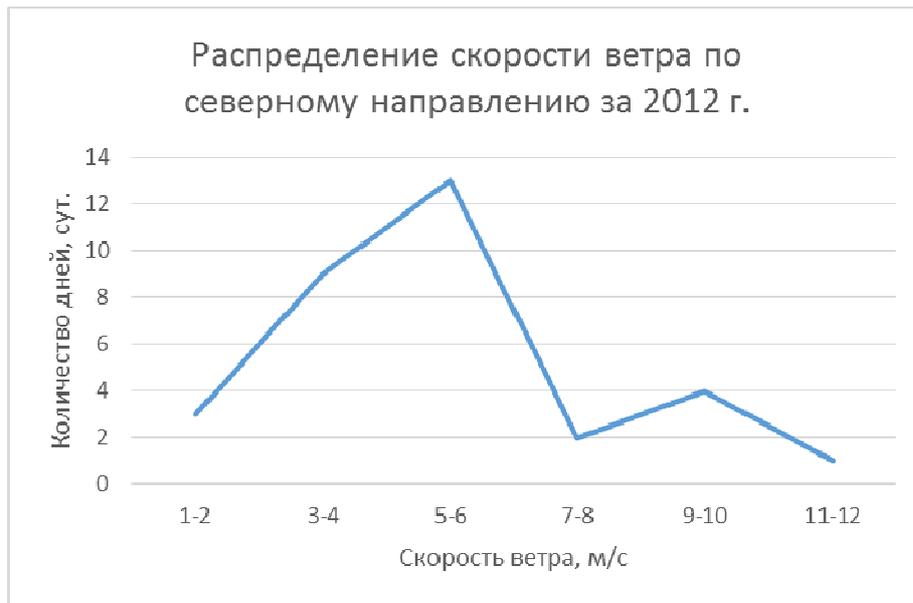


Рисунок 7 – Распределение скорости ветра за 2012 г.

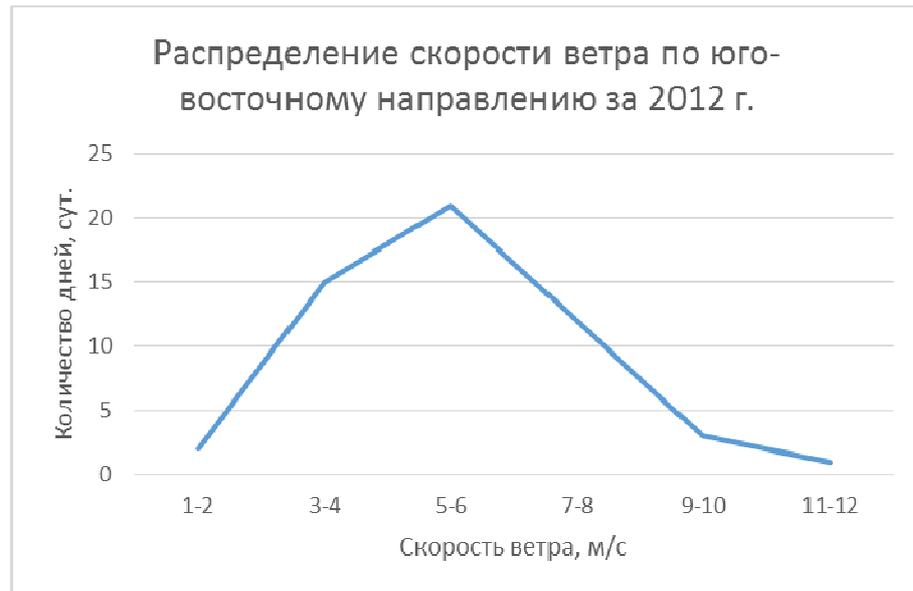


Рисунок 8 – Распределение скорости ветра за 2012 г.

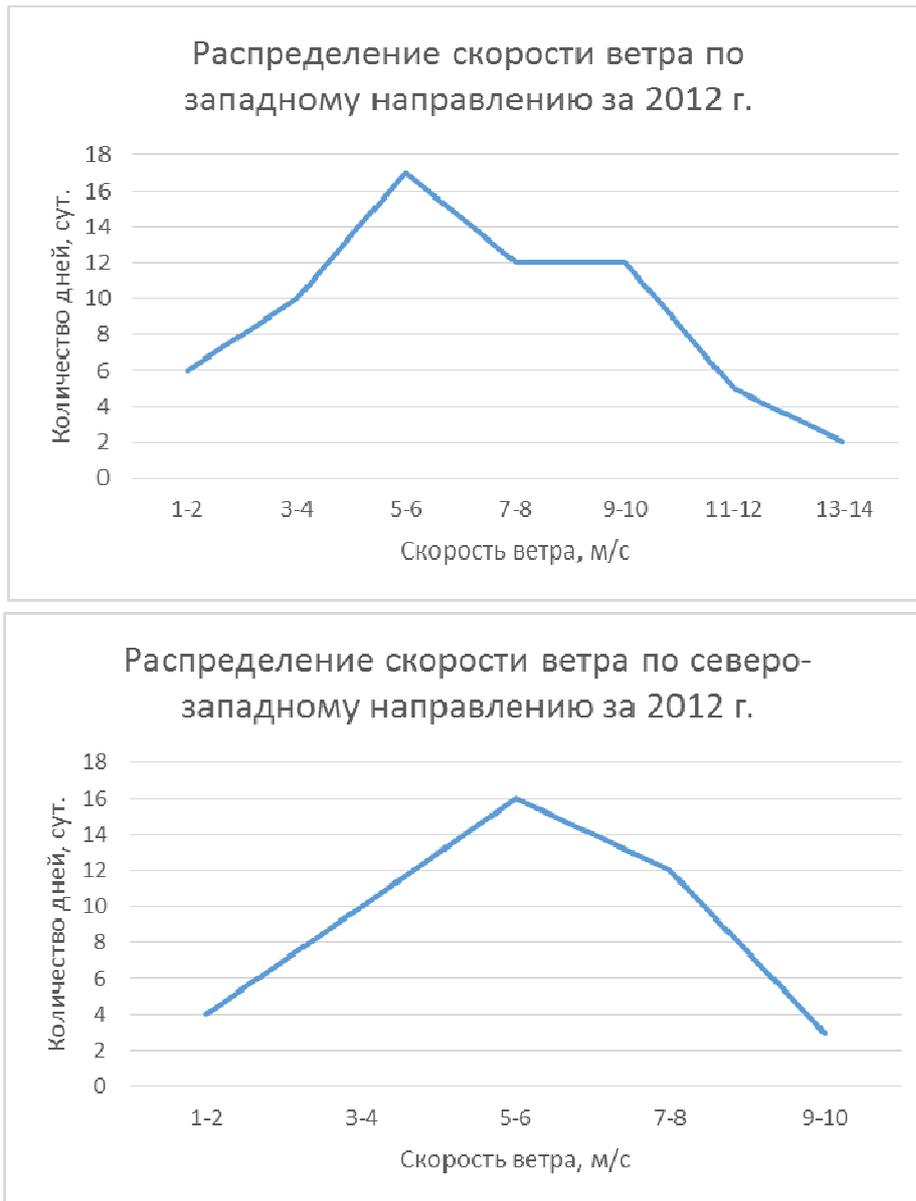


Рисунок 9 – Распределение скорости ветра за 2012 г.

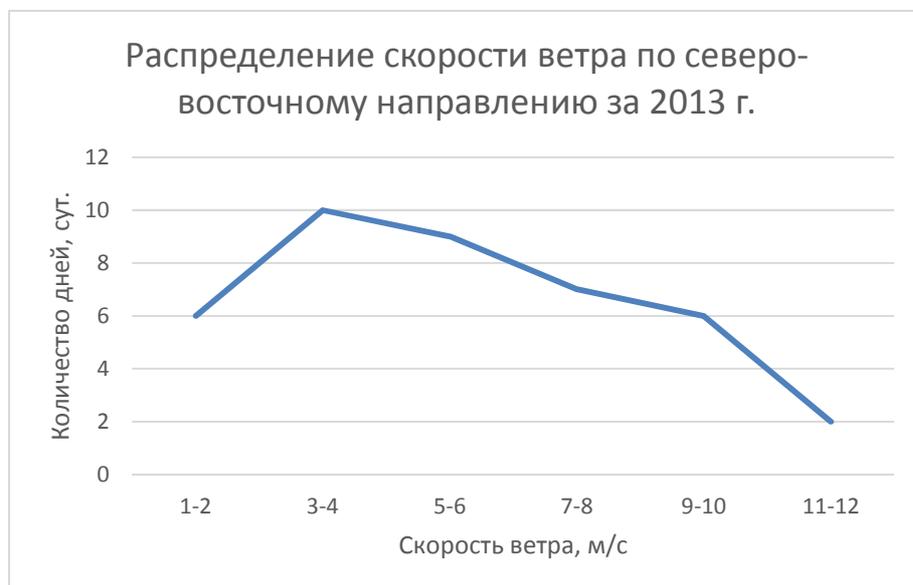
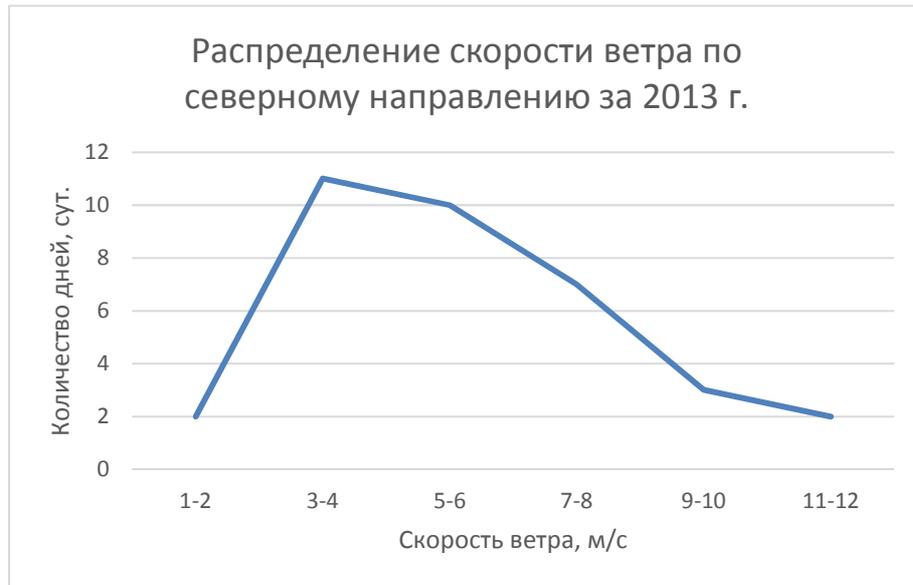


Рисунок 10 – Распределение скорости ветра за 2013 г.



Рисунок 11 – Распределение скорости ветра за 2013 г.



Рисунок 12 – Распределение скорости ветра за 2013 г.

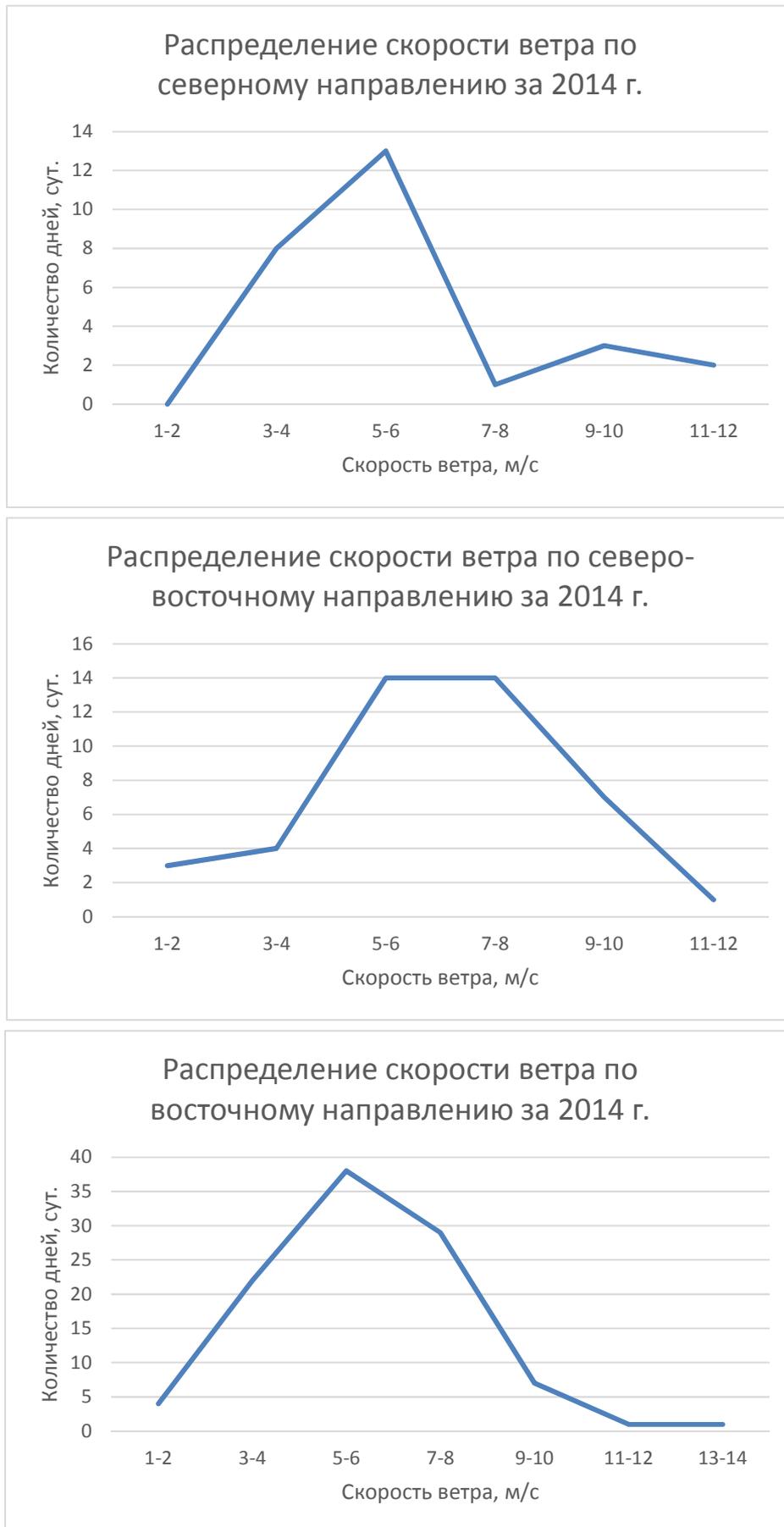


Рисунок 13 – Распределение скорости ветра за 2014 г.



Рисунок 14 – Распределение скорости ветра за 2014 г.



Рисунок 15 – Распределение скорости ветра за 2014 г.