

РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО - РОССИЙСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ЦЕНТР ГИГИЕНЫ И ЭПИДЕМИОЛОГИИ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

**С.А. Куролап, О.В. Клепиков, П.М. Виноградов,  
Т.И. Прожорина, М.А. Клевцова, Л.А. Яблонских,  
Л.М. Акимов, Л.О. Серeda, М.О. Маслова**

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ  
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

*Монография*

*Под общей редакцией  
С.А. Куролапа и О.В. Клепикова*

ВОРОНЕЖ  
2015

**УДК 502.55:504.064.36**  
**ББК 28.080.1**

*Рецензенты:*

*д.г.н., профессор Ф.Н. Лисецкий*

*(Белгородский государственный национальный исследовательский университет)*

*д.м.н., профессор А.В. Тулакин*

*(Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора)*

**Интегральная экологическая оценка состояния городской среды / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, П.М. Виноградов, Т.И. Прожорина, М.А. Клевцова, Л.А. Яблонских, Л.М. Акимов, Л.О. Середа, М.О. Маслова; под общ. ред. С.А. Куролапа, О.В. Клепикова - Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2015. - 235 с.**

**ISBN**

В монографии представлены результаты комплексных эколого-географических исследований, выполненных в рамках научного проекта по гранту Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований / проект 13-05-41401\_а «Интегральная оценка и картографирование экологического состояния территории крупного промышленного центра (на примере города Воронежа)» /.

Рассмотрены теоретические основы и практический опыт создания геоинформационной системы (ГИС) в среде MapInfo, интегрирующей базы данных о параметрах источников техногенного загрязнения, индикаторах состояния различных депонирующих и транзитных сред (воздух, снег, почва), биоиндикационных характеристиках, критериях состояния здоровья детского населения с их пространственной «привязкой» к территории города Воронежа.

Приведены основные положения и результаты применения оригинальной методики оценки вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование качества городской среды. Исследованы закономерности статистических связей в системе «источники техногенного воздействия - окружающая среда (атмосфера - снежный покров - почва) - биота - здоровье населения» на территории города Воронежа с обоснованием приоритетных индикаторов качества городской среды и их геоинформационным картографированием. Научно обоснованы принципы совершенствования экологического мониторинга крупного промышленного центра на базе технологий статистического моделирования и геоинформационного картографирования.

Издание будет полезно специалистам региональных природоохранных и гигиенических ведомств, градостроителям, разрабатывающим целевые программы мониторинга и охраны окружающей среды, а также ученым и студентам вузов, заинтересованным в изучении экологических проблем городской среды.

Табл.: 46. Ил.: 70. Библиогр.: 198 назв.

**УДК 502.55:504.064.36**  
**ББК 28.080.1**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Русского географического общества в рамках научного проекта № 13-05-41401\_а*

© Коллектив авторов, 2015  
© Издательство «Цифровая полиграфия», 2015

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ</b> .....	7
1.1. Научно-методологические принципы создания систем экологического мониторинга урбанизированных территорий.....	7
1.2. Подходы к интегральной оценке и картографированию состояния городской среды.....	14
1.3. Геоинформационно-аналитическое обеспечение систем мониторинга окружающей среды.....	20
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ И МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ</b> .....	27
2.1. Общая схема организации исследования.....	27
2.2. Принципы разработки геоинформационно-аналитического комплекса для обеспечения мониторинга состояния городской среды .....	31
2.3. Оценка экологического состояния городской среды.....	35
2.3.1. Методика оценки вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование качества городской среды.....	39
2.3.2. Оценка качества воздушного бассейна.....	43
2.3.3. Экогеохимическая оценка загрязнения снежного покрова.....	48
2.3.4. Анализ загрязнения почвенного покрова.....	49
2.3.5. Анализ реакций древесных растений на состояние городской среды.....	50
2.3.6. Оценка риска для здоровья населения.....	53
2.4. Технологии геоинформационного картографирования и статистического моделирования.....	58
<b>ГЛАВА 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ</b> .....	63
3.1. Ландшафтно-экологические условия и функционально-планировочная организация города Воронежа.....	63
3.2. Источники техногенного загрязнения городской среды.....	68
3.3. Формирование полей аэротехногенного загрязнения при различном метеорологическом состоянии атмосферы .....	76
3.4. Оценка вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование геохимического фона городской среды .....	87
3.5. Статистическая оценка сопряженных связей в системе «атмосфера - почва» в условиях городской среды.....	95

<b>ГЛАВА 4. БИОТИЧЕСКИЕ И МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ.....</b>	<b>102</b>
4.1. Биоиндикация состояния городской среды.....	102
4.2. Оценка экологического риска для здоровья населения.....	108
4.3. Интегральная оценка и геоинформационное картографирование экологического состояния городской среды.....	117
<b>ГЛАВА 5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГОРОДСКОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОРОНЕЖА) .....</b>	<b>130</b>
5.1. Современная эколого-гигиеническая ситуация территории города .....	130
5.2. Эколого-геохимический мониторинг загрязнения снежного покрова .....	142
5.3. Эколого-геохимическая диагностика состояния почвенного покрова ....	150
5.4. Биоиндикационная оценка состояния зеленых насаждений .....	167
5.5. Эколого-аналитическая оценка качества вод пригородных рекреационных зон .....	179
5.6. Основные направления городской экологической политики .....	190
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>203</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>207</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>223</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1.</b> Перечень статистических показателей геоинформационной системы «ЭКОГИС города Воронежа».....	<b>224</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.</b> Основные промышленные и транспортные вкладчики в загрязнение атмосферы города Воронежа.....	<b>227</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях современной урбанизации проблемы мониторинга и картографирования экологического состояния городской среды неизменно сохраняют высокую актуальность. На рубеже XX-XXI веков уплотнение городской застройки в крупных промышленно развитых городах, рост загрязнения атмосферы и почвы способствовали снижению качества городской среды, что проявилось в ответных реакциях угнетения развития древесных растений и росте заболеваемости населения. Накопленный опыт исследований в области урбоэкологии и экогеохимии городских ландшафтов в сочетании с концепцией экологического риска показывает актуальность количественной оценки зависимостей «доза-эффект» для широкого спектра факторов, формирующих экологическую ситуацию и общественное здоровье крупных городов. Особое значение приобретает выработка научно обоснованных подходов к созданию систем экологического мониторинга городской среды с применением геоинформационных технологий и тематического геоэкологического картографирования как важных инструментов территориального планирования и обеспечения устойчивого развития городской среды.

Теоретические подходы к изучению данной проблемы обоснованы во многих трудах отечественных и зарубежных ученых в области урбоэкологии, экогеохимии, экологии человека и медицинской географии (работы В.А. Алексеенко, Э.Ю. Безуглой, В.М. Захарова, Н.С. Касимова, С.М. Малхазовой, Г.Г. Онищенко, Б.Б. Прохорова, Б.А. Ревича, R. Wilson и др.), что позволило обосновать современный рискологический подход в проблеме «среда - здоровье», ориентированный на выявление факторов экологического риска и минимизацию их негативного эффекта воздействия на биоту и население.

Эти проблемы актуальны для многих крупных промышленных центров России, в том числе и города Воронежа. Город типичен для урбанизированных центров Европейской части страны, что позволяет распространять его опыт разработки мониторинговых систем городской среды на другие урбанизированные регионы и отдельные крупные промышленные центры России.

Ранее на территории города Воронежа выполнен ряд аналитических исследований по экологическому зонированию городской среды и оценке риска для здоровья населения от воздействия неблагоприятных экологических факторов (Х.А. Джувеликян [56], С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В.Клепиков, С.А. Епринцев с соавт. [37, 62-65, 98-102, 109, 110, 173], О.П. Негроров, Д.М. Жуков, Н.В. Фирсова [122], М.И. Чубирко с соавт. [72, 144], А.Б. Якушев с соавт. [179, 180]). Однако методологически эти исследования базировались на ведущих факторах экологического риска, в

частности, аэротехногенных, почвенно-геохимических, а аспект интегральной экологической оценки связей в системе «атмосфера - почва - биота - здоровье населения» оставался недостаточно подробно изученным. Не обоснован и подход к созданию систем мониторинга с применением современных геоинформационных технологий, открывающих новые перспективы системной организации экогеоданных, их аналитической обработки и геоинформационного картографирования, что и определяет актуальность исследований в данном направлении.

В настоящей монографии обобщается опыт научно-практических исследований авторов по разработке геоинформационно-аналитического комплекса для обеспечения экологического мониторинга и интегральной оценки экологического состояния территории крупного промышленного центра. В качестве модельного города выбран Воронеж – крупнейший промышленно развитый город Центрального Черноземья с населением более 1 млн. человек.

Проведенные исследования позволяют продвинуться в теоретическом изучении закономерностей формирования зон экологического риска в индустриально развитых городах, а также повысить научную обоснованность и эффективность управленческих решений при экологическом обосновании схем перспективного градостроительства. Разработанный геоинформационно-аналитический комплекс может служить основой создания эффективных систем экологического мониторинга крупных промышленных центров, базирующихся на современных компьютерных технологиях.

Представленные в книге результаты могут быть полезны для природоохранных служб и проектных организаций г.Воронежа и других крупных промышленных центров при организации мероприятий по совершенствованию системы экологического мониторинга городской среды и оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания.

Коллектив авторов выражает искреннюю благодарность за помощь в сборе и предоставлении первичного фактического материала для выполнения исследования руководству и специалистам Управления Росприроднадзора по Воронежской области, ГУ «Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области».

# ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ

## 1.1. Научно-методологические принципы создания систем экологического мониторинга урбанизированных территорий

Современные промышленно развитые города - центры острейших экологических проблем, а вопросы оценки качества, мониторинга и картографирования городской среды сохраняют неизменную актуальность. Методология исследования экологического состояния городской среды и создания систем регионального экологического мониторинга с применением информационных технологий базируется, прежде всего, на трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых в области мониторинга окружающей среды (В.В. Данилов-Данильян [175], Ю.А. Израэль [75], F. Burden [184]), урбоэкологии (Э.Ю. Безуглая [11, 12], В.А. Владимиров [36], В.С. Хомич [51], E.Perle [194]), экогеохимии городских ландшафтов (В.А. Алексеенко [5], Г.В. Добровольский [136], Н.С. Касимов [81, 82, 172], Ю.Е. Саэт [147], N. Melville [193]), биоиндикации и «здоровья среды» (В.М. Захаров [70, 71], Л.Н. Скрипальщикова [151], А.И. Федорова [163]), экологии человека и оценки экологического риска для здоровья населения (С.Л. Авалиани [1, 2], А.М. Большаков [21], Г.А. Воронов, М.С. Оборин, С.М. Малхазова [38], А.В. Киселев [84], Б.И. Кочуров [90, 91], Г.Г. Онищенко [130], Б.Б. Прохоров [140, 141], Б.А. Ревич [147], R.Wilson [198]), а также технологий геоэкологического и геоинформационного картографирования (А.М. Берлянт [14, 15], И.К. Лурье [106], В.З. Макаров [108], В.С. Тикунов [128, 129, 158], В.Т. Жуков [68], А.В. Кошкарев [94], В.И. Стурман [156], А.К. Черкашин [167], R. Barr [182], M. Goodchild [187], S. Pfirmann [195], K. Thomas [197]).

Особенностью этой методологии (рискологический подход) является то, что для оценки «здоровья среды» используются не только экосистемные и популяционные показатели как таковые, но и индикаторные показатели состояния различных депонирующих сред и живых организмов. Таким образом, состояние окружающей среды, организмов-биоиндикаторов и здоровье человека, оцененные по различным диагностическим параметрам с использованием альтернативных и взаимодополняющих методов, являются «откликом» на неблагоприятные антропогенные воздействия, т.е. критериями качества или «здоровья среды» [72].

За последние полвека население Земли возросло почти в три раза [188]. Влияние антропогенной деятельности на среду обитания возрастает, а наиболее значительных масштабов оно достигло на урбанизированных

территориях, т.е. в городах, мегаполисах, городских агломерациях. Следовательно, при прогнозировании техногенного влияния необходимо учитывать понятие урбанизированности территории, под которым понимается отношение площади городских земель к общей площади оцениваемого района [122, 131, 175]. Количество городов увеличивается, площадь городских территорий неуклонно растет. Урбанизированные территории концентрируют в себе основной промышленный потенциал регионов, что влечет за собой изменения в окружающей среде. Перед человечеством встает проблема защиты основных сред (атмосфера, гидросфера, литосфера) от загрязнения [78, 153]. Поэтому для урбанизированных территорий осуществляется интегральная экологическая оценка, которая определяется оценкой степени суммарного воздействия техногенных факторов на основе определенных наиболее представительных показателей [56, 57, 140, 141].

Наиболее репрезентативными показателями для городской среды могут являться уровень загрязнения водного и воздушного бассейнов, почвенно-растительного покрова, уровень заболеваемости населения. В условиях постоянного антропогенного прессинга в природной среде происходят существенные, иногда необратимые изменения, и, как следствие, – снижение уровня популяционного здоровья [122, 130].

Довольно остра для крупных городов проблема загрязнения атмосферного воздуха. В 138 городах Российской Федерации уровень загрязнения воздуха характеризуется как «высокий» и «очень высокий». Значительное количество промышленных предприятий, сконцентрированных на ограниченной территории, выбрасывает в атмосферу сотни тысяч тонн в год загрязняющих веществ. Наибольшая интенсивность выбросов (более 800 тыс. т/год) систематически отмечается в Норильске, Кривом Роге, Новокузнецке, Магнитогорске [49]. В этих городах большая часть производства приходится на предприятия черной и цветной металлургии. Также крайне неблагоприятное воздействие на атмосферу оказывают как объемы, так и качественный состав выбросов от предприятий топливно-промышленного комплекса, химии и нефтехимии. В последние десятилетия ситуация усугубляется существенным увеличением количества автотранспорта вследствие увеличения плотности населения и уплотнения городской застройки в пределах урбанизированных территорий. Так, в Лос-Анджелесе, к примеру, количество машин практически равно количеству жителей [11, 12, 24, 105, 115, 195].

Высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха находит свое отражение в показателях качества почвенно-растительного покрова.

Почвенный покров городской среды – это сложная биогеохимическая система, постоянно испытывающая комплексное антропогенное воздействие. На урбанизированных территориях верхний слой грунта претерпевает регулярные изменения вследствие воздействия химических ве-

ществ, изменения физических свойств и других процессов, не свойственных почве, находящейся в естественных условиях [27, 36, 55, 67, 104, 133]. В настоящее время, как указывает Г.В. Добровольский с соавт. [136], нет определенного подхода к пониманию такого объекта, как городская почва. Наметились две разные точки зрения: либо городская почва – это грунт, а не почва в классическом ее понимании; либо определение почвы стоит понимать несколько шире, чем принято в классическом «докучаевском почвоведении». Этот факт говорит о масштабах изменений, произошедших в почвенном покрове урбанизированных территорий под действием техногенеза. В ряде городов Российской Федерации, таких как Арзамас, Иркутск, Казань, Новочебоксарск, Омск, Пенза, Самара установлено высокое загрязнение почв нефтепродуктами. В 2,8 % населенных пунктов опасная ситуация складывается в отношении содержания тяжелых металлов в почве (Нижний Новгород, Свирск, Кировград, Ревда и др.) [49].

Чувствительным индикатором загрязнения окружающей среды выступает растительный покров, аккумулирующий поллютанты как из почвы, так и из атмосферы. Растения являются, своего рода, экраном на пути осаждения атмосферных выпадений. Одновременно загрязняющие вещества могут поступать с водой из почвы. Также вызывает угнетение растительности изменение погодно-микrokлиматических условий городской среды (уровень освещенности, увлажнения, аэрационный режим и т.д.) [113]. Такой комплекс негативных факторов ведет к нарушениям в развитии (некрозы и хлорозы листьев, флуктуирующая асимметрия, преждевременная дефолиация, замедление роста и снижение продуктивности), вплоть до полной деградации растительного покрова. Усугубляется ситуация еще и физическим уменьшением площади зеленых насаждений с целью увеличения площадей под застройку [52, 65, 71, 127, 161]. Высокая восприимчивость растений к внешним негативным факторам дает возможность использования растительного покрова в качестве индикатора состояния окружающей среды. Это неоднократно было подтверждено в работах, проводившихся в условиях разных урбанизированных территорий В.М. Захаровым [70, 71], А.И. Федоровой, М.А. Михеевой [116, 163], Л.С. Савинцевой [146], Л.Н. Скрипальщиковой [151], Г.Р. Хузиной [166].

В процессе жизнедеятельности человек потребляет огромные объемы воды, используемой как на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды, так и для обеспечения промышленной деятельности. Увеличение площади городов, возрастание численности городского населения, наращивание мощностей промышленных предприятий ведет к тому, что объем водопотребления вырос в последние десятилетия во много раз [5, 78, 112, 147, 184]. Однако, проектная мощность очистных сооружений часто не рассчитана на подобные объемы. Как следствие, очистные сооружения просто физически не могут обеспечить необходимого по са-

нитарным требованиям качества питьевой воды. По данным Роспотребнадзора [49] 10,04 % проб питьевой воды в России, используемой на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды, не соответствуют гигиеническим нормативам. Отмечается неудовлетворительное состояние многих водных объектов, даже несмотря на тенденцию уменьшения антропогенной нагрузки. Основными причинами этого можно назвать отсутствие адекватной очистки стоков и большую концентрацию загрязняющих веществ в донных отложениях, являющихся источником вторичного загрязнения поверхностных вод [172]. Наибольшее количество водных объектов, характеризующихся, как «очень грязные» и «экстремально грязные», наблюдается в Московской, Мурманской, Архангельской, Тюменской, Челябинской, Свердловской областях; республиках Башкортостан, Татарстан и Хабаровском крае [49].

Антропогенный прессинг испытывают и подземные воды, однако здесь сложилась несколько лучшая ситуация, чем с поверхностными водами. В целом в Российской Федерации загрязнено не более 5-6 % общего объема подземных вод, используемых для питьевых нужд. Основными загрязняющими веществами являются соединения азота, нефтепродукты, сульфаты и хлориды, тяжелые металлы и фенолы. Загрязнение этими веществами связано с деятельностью промышленных предприятий, с сельскохозяйственной деятельностью и с коммунальным хозяйством [49].

Процесс урбанизации влечёт за собой сильную концентрацию в пределах ограниченной территории негативных техногенных факторов, следствием чего являются существенные нарушения и деградация всех компонентов естественной среды, ухудшение качества здоровья городского населения. Высокие темпы происходящих в городской среде изменений в совокупности с возрастающим антропогенным прессингом вызывают необходимость постоянного контроля над состоянием окружающей среды.

Решение этой задачи в городах возложено на специализированные ведомства, осуществляющие наблюдение за состоянием отдельных компонентов среды обитания. Для принятия эффективных решений на основании полученной информации важно обеспечить непрерывность наблюдения и своевременную оценку состояния объекта наблюдения, т.е. создание системы экологического мониторинга.

В соответствии с определением Ю.А. Израэля, экологический мониторинг – это информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды [75]. В развитие данного термина понятие «геоэкологический (геосистемный) мониторинг» введено в литературу И.П. Герасимовым как усиление внимания к географической составляющей систем мониторинга окружающей среды с учетом оценки

антропогенного влияния на природную среду в ходе хозяйственной деятельности человека, которая обязательно предполагает тот или иной вид взаимодействия с природой (градостроительство, промышленное освоение и т.д.) [174]. Основная цель мониторинга окружающей среды – выявление негативных последствий человеческой деятельности в окружающей среде посредством наблюдения за ней (например, техногенного загрязнения), оценки состояния и прогноза будущих изменений [73, 77]. Важным звеном является принятие управленческих решений по регулированию качества среды обитания [193].

Система экологического мониторинга городской среды относится к локальному уровню, предназначенному для оценки изменений качества среды крупных промышленных центров. Отдельные системы локального уровня объединяются в более крупные, что соответствует региональному уровню. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды осуществляет организацию и контроль функционирования сети мониторинга на национальном уровне, интегрируя все региональные системы. На вершине этой иерархии в рамках экологической программы ООН значится глобальный уровень, однако, в полной мере его функционирование ещё не отлажено [75, 125].

Для эффективного функционирования системы мониторинга окружающей среды, вне зависимости от того, на каком уровне он проводится, необходима взаимосвязь отдельных блоков: наблюдение, сбор информации; оценка фактического состояния объекта наблюдения; прогноз будущего состояния и его оценка; управление, регулирование качества среды [75, 184].

Основой системы экологического мониторинга является информация, данные, получаемые в ходе непрерывных, систематических наблюдений. Получение достоверной оценки состояния окружающей среды требует наличия полноценной информации о всех элементах городской среды как комплекса взаимодействующих природно-антропогенных компонентов [2, 19]. Она должна включать в себя следующие массивы данных.

1. Данные об уровне загрязнения атмосферы. Воздушный бассейн – это уникальная среда, так или иначе взаимодействующая со всеми элементами биосферы. Атмосферный воздух не имеет территориальных границ. Уровень загрязнения воздуха зависит от большого количества разнообразных факторов [54]. Это делает наблюдение за его состоянием ключевым звеном в цепи организации системы мониторинга.

2. Данные об уровне загрязнения гидросферы. Вода – необходимое условие существования всех живых организмов на планете. Кроме того, вода представляет собой уникальный природный растворитель, способный растворять вещества, тем самым высвобождая химические элементы, находящиеся в связанном состоянии [192]. На качество поверхностных

водных объектов и грунтовых вод оказывает влияние целый комплекс разнообразных факторов, начиная от геологического строения территории и заканчивая климатическими особенностями. Но особую роль все же играет деятельность человека [191].

3. Данные об уровне загрязнения почвенного покрова. Состояние почв урбанизированной территории определяется, в первую очередь, преобладающим видом производства и степенью освоенности территории [55]. Почва является своего рода буфером, аккумулирующим в себе различные по составу загрязняющие вещества, поступающие из всех сред (нижние слои литосферы, гидросфера, атмосфера). Также почвенный покров подвержен эрозии, что делает эту среду уникальной. Таким образом, непрерывность и оперативность сбора информации о состоянии почв исключительно важна [90, 136].

4. Данные об источниках техногенного загрязнения. Среди источников негативного влияния на окружающую среду можно выделить стационарные и передвижные. К стационарным источникам следует отнести промышленный комплекс города, отдельные промышленные предприятия и производства с их инфраструктурой. Специфика этого вида источников заключается в комплексном характере воздействия на все компоненты городской среды [132]. Передвижные источники – прежде всего, автотранспорт, являющийся линейным дискретно-подвижным источником выброса токсикантов в приземные слои атмосферного воздуха, а также другие транспортные средства (железнодорожный, воздушный транспорт) [180]. Особенностью их является максимально негативное влияние на среду в непосредственной близости от дорожно-транспортной сети. Причем, в отличие от автотранспорта, воздействие поллютантов промышленных объектов может ощущаться даже на значительном удалении от источника. Информация о характере, расположении и плотности размещения источников загрязнения дает возможность оценить масштабы и опасность вызываемых ими изменений в окружающей среде [105, 122].

5. Данные о состоянии растительного покрова. В силу большой распространённости различных видов растительности и их высокой восприимчивости к комплексу факторов негативного воздействия, информация о состоянии растительного покрова играет важную роль в оценке качества среды обитания. Поэтому перспективность применения биоиндикационных методов исследования в системе экологического мониторинга очевидна [127, 161].

6. Данные о состоянии здоровья населения. Уровень популяционного здоровья находится в определенной зависимости от факторов риска, прежде всего, от присутствия в городской среде потенциально опасных химических веществ и других вредных экологических факторов. Исследования последних лет позволяют утверждать, что наряду с социальными

проблемами, среда обитания – это одно из важнейших условий, определяющих состояние здоровья населения [38, 101]. Повышение уровня заболеваемости населения является «откликом» на ухудшение качества среды. В настоящее время контроль состояния общественного здоровья в связи с воздействием вредных факторов среды обитания выступает в качестве приоритетного направления реализации программ устойчивого развития урбанизированных регионов [2, 158, 197].

Таким образом, в основе системы экологического мониторинга лежат систематические наблюдения за состоянием различных компонентов среды обитания и общественного здоровья, прежде всего, наблюдения за источниками и факторами антропогенного воздействия [75].

Сбор информации предстает ключевым звеном в цепи принятия управленческих решений в сфере контроля состояния окружающей среды. Наблюдение за состоянием окружающей среды осуществляется Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и других органов исполнительной власти как федерального значения, так и отдельных субъектов Российской Федерации. Для обеспечения процесса систематического получения информации создана сеть стационарных и подвижных пунктов наблюдений (постов, станций, лабораторий, центров, бюро, обсерваторий), расположенных в различных городах и промышленных центрах [73, 125]. При этом систематизация и обработка первичных данных, их правильная интерпретация имеют важнейшее значение. Результаты анализа позволяют выявить причины наблюдаемых и вероятных изменений состояния, судить о допустимости нагрузок на среду. Полученная информация необходима для корректной оценки реального состояния городской среды в целом и отдельных ее компонентов, в частности. Помимо реального состояния важно учитывать и динамику происходящих изменений, с целью попытки прогноза развития ситуации. Также это дает возможность оценить будущее состояние окружающей среды при современных масштабах влияния на нее негативных факторов [75, 184]. Полная и оперативная оценка реального и будущего состояний среды, особенно на урбанизированной территории, позволяет эффективно осуществлять принятие решений в рамках «кризисного менеджмента». Кризисный менеджмент («crisis management») – политика органов исполнительной власти, предполагающая управление развитием негативных экологических ситуаций для предотвращения неблагоприятных последствий и минимизации ущерба для среды [190].

Таким образом, эффективное функционирование системы экологического мониторинга – важнейшая составляющая природоохранной деятельности и рационального природопользования, а также необходимый компонент обеспечения устойчивого развития городской среды.

## 1.2. Подходы к интегральной оценке и картографированию состояния городской среды

Уровень загрязнения урбанизированной территории зависит от многих факторов. Оценка степени негативного воздействия промышленных центров на природную среду в каждом конкретном случае очень специфична и зависит от физико-географических особенностей территории, величины города (площадь, количество населения), его специализации в территориальном разделении труда, функционально-планировочной структуры, уровня развития инфраструктуры в целом [5, 142, 175].

Оценить степень негативного воздействия помогает такое понятие как «качество среды». В соответствии с «Методическими рекомендациями по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ» [113], под качеством среды обитания следует понимать такое ее состояние, которое обеспечивает комфортные условия существования организмов. В качестве эталона в данном случае выступают естественные, ненарушенные условия природной среды, рассматриваемые как идеальные с точки зрения существования организмов (оценка – это всегда сравнение с эталоном). В наиболее общем понимании оценить качество среды - значит попытаться дать ему определенную характеристику по какому-либо критерию. При этом интегральная или комплексная оценка предполагает наличие нескольких критериев, а рассматривать их необходимо в комплексе. Определяющее значение имеет аспект выделения приоритетных показателей (критериев) комплексной оценки.

Общепризнанной методики интегральной оценки городской среды не существует [51]. Разработкой и апробированием подобных методик на региональном уровне занимаются многие исследователи (Б.И. Кочуров [91, 92], С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков, С.А. Епринцев [37, 62, 64, 65, 113, 177, 182], Б.Б. Прохоров [139, 140, 176], В.С. Хомич [51] и др.). В основе описанных методик обычно используются различные критерии, так или иначе связанные с рейтингом здоровья населения, формирующемся под воздействием определенных сочетаний факторов экологического риска. Выбор тех или иных критериев обусловлен степенью их значимости в оценке качества и комфортности жизнедеятельности в условиях конкретной территории.

Неопределенность и абстрактность понятия интегральной оценки делает разработку методики оценки субъективной, зависимой, в определенной мере, от подхода к этому вопросу отдельного исследователя. Разнообразие методик и отсутствие единого стандарта объясняется следующими основными причинами.

1. Разнообразие критериев оценки. Можно выделить достаточно много критериев (санитарно-гигиенические, социально-экономические

нормативы и др.), отличающихся по своей величине, единицам измерения и т.д.

2. Специфичность территории. При оценке конкретной территории всегда следует учитывать ее специфику: климатические особенности, рельеф местности, производственно-промышленный потенциал и многое другое. Методика, разработанная и апробированная для одной территории, может быть не совсем удачна для другой.

3. Территориальная неоднородность. В пределах городской черты можно условно выделить несколько функционально-планировочных зон, различающихся по ряду показателей, таких как преобладающий тип застройки, степень антропогенного влияния, доминирующее влияние конкретного источника техногенного воздействия.

4. Сложность синтеза разнородных данных. Разная размерность критериев оценки вызывает необходимость поиска путей унификации всех показателей.

Еще один аспект заключается в том, чтобы выявить оптимальный для конкретной ситуации и конкретной территории подход к интегральной оценке, понять, что именно будет иметь решающее значение для оценки качества городской среды. Выделяется два наиболее распространенных подхода: «природный» (оценка, характеризующая общее отклонение состояния среды от нормы) и «гуманистический» (оценка показателя комфортности среды для проживания человека).

В первом случае оценка будет представлять собой совокупность оценок степени отклонения отдельных природных компонентов от естественных фоновых значений. Здесь используется общая комфортность для существования живых организмов. Второй подход к данному вопросу является гуманистическим и предполагает оценку качества среды с точки зрения степени комфортности внешних условий для проживания человека. При таком подходе важно учитывать социально-экономические показатели; иногда вводится такой показатель, как «аттрактивность ландшафта» (визуальная благоприятность ландшафта для горожан) [83]. При современном ритме жизни в крупном городе аттрактивность ландшафта приобретает большое значение для состояния здоровья населения. Однако, оценка этого понятия довольно субъективна.

В зависимости от выбранного подхода приобретают большую важность те или иные критерии. В качестве наглядного примера различия в подходах можно привести микроклиматические показатели городской среды, в частности, ветровой режим. При первом подходе низкие скорости ветра будут являться неблагоприятным фактором, способствующим аккумуляции поллютантов в «зонах затишья» и снижающим потенциал самоочищения атмосферы. С другой стороны, с точки зрения комфортности для человека, невысокие скорости ветра оптимальны. Высокая же ско-

рость ветра может оказывать раздражающее действие на физиологические функции организма человека, хотя и будет способствовать рассеиванию вредных примесей в атмосфере [149].

Однако, вне зависимости от используемого подхода, можно выделить принципиальную схему проведения интегральной оценки качества городской среды, включающую в себя 4 этапа: 1) «выбор комплекса критериев оценки» → 2) «оценка каждого отдельного критерия» → 3) «приведение всех показателей к одной размерности» → 4) «синтез полученных данных».

Большинством авторов выделяются следующие показатели качества среды и критерии их оценки [51, 92, 110, 176].

*1. Оценка природного геохимического фона окружающей территории.* Для выявления негативного антропогенного влияния урбанизированной территории на окружающую среду, необходимо, в первую очередь, произвести оценку ее естественного состояния. Это позволит получить контрольные, эталонные значения исследуемых оценочных критериев. Такая оценка проводится в пределах исследуемой (фоновой) территории, но в местах, не подверженных влиянию негативных факторов. При этом важно учитывать дальность распространения загрязняющих веществ от источника, в качестве которого выступает городская среда, которая может достигать десятков километров [5, 172].

*2. Критерии качества воздушного бассейна.* Качество атмосферного воздуха – один из важнейших оценочных критериев состояния окружающей среды. В основе метода оценки состояния атмосферы лежит установление предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздушной среде. Различают несколько видов ПДК: ПДК рабочей зоны, ПДК максимальная разовая, ПДК среднесуточная. Отличие их заключается в продолжительности вдыхания регламентируемого вещества [47]. Установленные нормативы ПДК ограничивают выбросы в окружающую среду поллютантов свыше установленного значения. В качестве интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха используют индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Он представляет собой сумму отношений среднегодовых концентраций веществ к установленным для них ПДК с учетом класса опасности вещества. ИЗА – безразмерная величина, что делает его использование удобным при интегральной оценке городской среды в целом [11, 12, 174].

*3. Критерии качества водных ресурсов.* В городах потребляемая вода идет на нужды промышленности, питьевые и хозяйственно-бытовые нужды. Качество потребляемой воды оценивают по органолептическим и санитарно-гигиеническим показателям. Для органолептических показателей четкие нормативы отсутствуют, но данные показатели могут косвенно свидетельствовать о биологическом и химическом загрязне-

нии. Санитарно-гигиенические показатели предполагают определение общей минерализации, жесткости, характеристики кислотно-щелочного баланса (рН). Для этих показателей установлены нормативы ПДК: ПДК в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, ПДК в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей. Еще одним показателем качества воды может являться окисляемость, характеризующая содержание в ней минеральных и органических веществ. Окисляемость нормируется такими показателями, как БПК (биологическая потребность в кислороде) и ХПК (химическая потребность в кислороде) [86, 172, 173, 174].

4. *Критерии качества почвенного покрова.* Нормирование качества почвенного покрова (так же, как и атмосферы с гидросферой) осуществляется посредством установления предельно допустимых концентраций вредных веществ в почве (ПДК в поверхностном слое почвы). В качестве интегральной оценки используется суммарный показатель загрязнения почвы (СПЗ), вычисляемый как сумма отношений концентраций веществ к установленным для них ПДК [86, 136, 174].

5. *Загрязнение снежного покрова.* Изучение химического состава снежного покрова используется как достоверный метод эколого-геохимической диагностики загрязнения атмосферного воздуха городской среды. Нормирующими показателями для качества снега выступают фоновые показатели, что определяется отсутствием норматива по определению загрязнения снежного покрова, а нормативы поверхностных вод не всегда применимы к талой воде. Поэтому производится расчет коэффициента концентрации как отношение концентрации вещества к фоновому значению концентрации того же вещества [17, 138, 171, 172]. Этот подход особенно продуктивно применялся на примере различных российских городов геохимической школой МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством Н.С. Касимова [176].

6. *Характеристика техногенных источников загрязнения городской среды.* Основные источники техногенной нагрузки на урбанизированной территории представлены промышленными предприятиями и автотранспортом. Эти источники обладают своей спецификой, которую необходимо учитывать при расчете интегральной оценки. Негативное же воздействие совокупности источников наносит большой вред окружающей среде. С целью минимизации подобных неблагоприятных последствий разработаны критерии, характеризующие предельно допустимую экологическую нагрузку (ПДЭН): для водной среды - это предельно допустимый (нормативный) сброс (НДС), для воздушной – предельно допустимый выброс (ПДВ). Эти величины обязательно указываются в паспорте (или другом документе) источника воздействия и характеризуют нагрузку, оказывае-

мую источником на окружающую среду в единицу времени [86, 105, 172, 174, 192].

7. *Биоиндикационные исследования качества городской среды.* Оценить комплексное влияние антропогенных факторов на окружающую среду позволяет оценка состояния живых организмов. Любое отклонение организма от нормального развития свидетельствует о нарушении естественных условий. Самым доступным для широкого использования, простым и распространенным способом оценки отклонений от нормы является определение величины флуктуирующей асимметрии. Она проявляется в незначительных ненаправленных различиях между сторонами билатеральных морфологических признаков организма и указывает на неблагоприятное воздействие, которое имело место в период его развития [71, 113, 127, 161].

8. *Состояние здоровья населения.* Важность исследования уровня риска здоровью населения в оценке состояния городской среды отмечается многими авторами [72, 85, 101, 110, 113, 126, 173, 197]. Наличие в окружающей среде вредных веществ и других неблагоприятных экологических факторов создает угрозу популяционному здоровью. Оценить степень реальной опасности возможно, опираясь на концепцию риска. В соответствии с «Руководством по оценке риска...» [148] предусматривается расчет показателей потенциальной заболеваемости: канцерогенного (CR) и неканцерогенного (NQ) рисков для здоровья населения. Исследование изменений и тенденции в уровне заболеваемости населения играет ключевую роль в обосновании решений в области экологической политики и устойчивого развития регионов [140, 141, 144, 169, 178].

Важным этапом интегральной оценки качества городской среды является синтез очень различающихся значений отдельных диагностических критериев. Одним из вариантов такой интеграции может быть метод приведения сложно сопоставимых между собой критериев к одной размерности. В качестве общих единиц измерения разных показателей вводятся баллы или ранги. Соответственно, для каждого критерия разрабатывается своя шкала ранжирования. Интегральная оценка может вычисляться как среднее значение. Целесообразен и метод нормирования отдельных количественных критериев оценки, позволяющих их далее объединять простыми арифметическими операциями. Ещё одним эффективным методом синтеза разнородных данных является картографический. Картографический метод дает более наглядное представление результатов интегральной оценки на основе синтеза тематических карт, построенных по отдельным показателям. В основе построения тематических карт лежит метод интерполяции и экстраполяции, применение которого само по себе дает определенное усреднение значений, но позволяет выявить особенности про-

странственного распределения отдельных показателей, либо их комплекса [8, 9, 106, 107, 108, 123, 148, 156, 164].

Применение картографического метода в геоэкологии приобретает все большую популярность. Как отмечает Н.С. Касимов с соавторами [81], сложности перехода к политике устойчивого развития территорий ведут к возрастанию актуальности геоэкологического картографирования.

Распространенность применения картографического метода при изучении состояния городской среды обусловлена его универсальностью. В схеме интегральной оценки картографический материал на территорию города применяется и на этапе сбора информации, и при анализе и синтезе имеющихся данных. Комплексная оценка предполагает получение полной картины о состоянии окружающей среды и не ограничивается лишь данными о загрязнении отдельных компонентов. Богатый материал для исследования могут предоставить топографические карты [28, 148]. Урбанизированная территория – это сложная по своей структуре система. При выделении зон экологической комфортности важно учитывать, в частности, планировочную структуру города. Необходимо брать в расчет высоты зданий и сооружений, их ориентацию, территориальное размещение промышленно-производственного комплекса. В совокупности с изучением рельефа эти данные позволяют выявить предполагаемые места аккумуляции вредных веществ. Большую роль для состояния городской среды играет степень озелененности. Картографический материал позволяет получить информацию о площади территории, занятой зелеными насаждениями [8, 25, 28, 29, 37]. Причем, картографический анализ исследуемой территории дает возможность не только выявить основные закономерности и особенности ее пространственной организации, но и создать основу для обоснования управленческих решений [30].

Картографирование городской среды – это процесс обеспечения урбанизированной территории необходимым по количеству и качеству картографическим материалом. Материал, позволяющий оценить состояние городской среды, разнообразен: это могут быть как планы, так и различные общегеографические и тематические карты. Перечень задач, для решения которых создается карта, обуславливает ее тематику. Так, могут составляться карты дорожно-транспортной сети, карты загрязнения (как комплексного, так и покомпонентного) городской среды или отдельных ее элементов и т. д. [16, 148, 169].

Картографические материалы являются наиболее наглядным представлением результатов любого исследования территории. Многообразие и многогранность всех процессов в городской среде вызывают необходимость создания как монументальных картографических произведений (в частности, атласов), так и оперативных карт для экспресс-оценки (карта погоды и др.). При проведении интегральной оценки качества среды важ-

но составление комплекса карт, включающего аналитические и синтетические карты, позволяющего оценить состояние экологической обстановки территории по отдельным показателям, либо по их совокупности, дать характеристику происходящих явлений, выявить закономерности протекания определенных процессов [9, 29, 108, 152, 156].

Немаловажным фактором является актуальность представляемой на картах информации, что предьявляет требование к обновлению карт. Топографические карты на городскую территорию обновляются с периодичностью 5-7 лет [16]. Частота обновления тематических карт устанавливается в зависимости от динамики изменений картографируемого явления. Необходимость оперативного реагирования и принятия мер в определенных ситуациях предьявляет высокие требования к актуальности картографического материала.

Сведения, получаемые в ходе анализа эколого-географических карт, представляют собой основу для разработки экологических программ развития территории, а также нормативных документов в области экологии и природопользования. Таким образом, высокоинформативные статистические и картографические материалы служат эффективным инструментом интегральной оценки состояния городской среды.

### **1.3. Геоинформационно-аналитическое обеспечение систем мониторинга окружающей среды**

Интегральная оценка состояния городской среды требует эффективного функционирования системы экологического мониторинга территории города. При этом неоднородность территориальной структуры урбанизированной территории обуславливает наличие большого разнообразия взаимозависимых процессов, что делает функционирование системы мониторинга эффективным только при соблюдении условия взаимосвязи нескольких отдельных блоков: сбор информации, ее обработка и анализ, прогноз развития ситуации, представление результатов. Полученные результаты должны быть точны и наглядны, но при этом выглядеть максимально выразительно. Кроме того, современная жизнь предьявляет новое требование к мониторингу экологической обстановки – автоматизация всех этапов работы с информацией. Таким образом, выделяется четкий перечень требований, предьявляемых к системе мониторинга: обеспечение сбора большого объема разрозненных и разновременных данных, достаточный инструментарий для их анализа и синтеза, возможность моделирования и оценки ситуаций и прогноза их развития, разные варианты визуализации полученных результатов, а также возможность оперативного обновления информации.

Перечисленным требованиям в настоящее время полностью удовлетворяют географические информационные системы (ГИС). В литературе встречается достаточно много определений этого понятия разными авторами [14, 23, 94, 106, 128]. Суть данных определений сводится к тому, что производится попытка описания всех функций ГИС. Однако, как отметил А.М. Берлянт, определения довольно тяжеловесны, но при том не раскрывают всю полноту функционала ГИС [14]. Это свидетельствует о широком спектре задач, решаемых посредством ГИС, и богатом наборе средств, предлагаемом для их решения.

Первые ГИС появились еще в 60-70-ые годы XX века. Предпосылкой этого явился процесс развития компьютерных технологий и, как следствие, проникновение информатики во многие сферы человеческой деятельности. Процесс внедрения информационных систем в географические науки был ознаменован появлением ГИС, первоначально имевших своей целью инвентаризацию земельных ресурсов. На стыке информатики, географии и картографии впоследствии зародилась геоинформатика [128].

На современном этапе развития технологий, геоинформационные технологии в силах обеспечить решение очень широкого перечня задач. Это делает возможным применение ГИС практически во всех сферах научной и производственной деятельности человека [14, 23, 42, 44, 129]. Основные функции ГИС можно представить, выделив предварительно два основных подхода к описанию пространства: работа с пространственной информацией и работа с атрибутивными данными. Принципиальное отличие подходов заключается в том, что при «пространственном» подходе важна четкая локализация объекта в определенной системе координат. Соответственно, можно выделить следующие основные функции анализа информации, основывающиеся на данном подходе: получение картометрических показателей объектов (координаты, длина, площадь и т. д.), функции оверлея (выбор объектов, накладываемых, пересекающихся, находящихся внутри других объектах и т. д.), выявление структурных особенностей и закономерностей в пространственном распределении объектов, выделение тенденций развития явлений во времени и в пространстве. При «атрибутивном» подходе работа идет с характеристиками объектов, важность самих объектов при этом полностью пропадает. Это все вычислительные, математико-статистические операции, производимые с количественными данными и оценочные операции с качественными характеристиками, картографическая визуализация атрибутов объектов [15, 129].

В пространстве ГИС эти подходы выделяются лишь условно, при этом они неотделимы друг от друга, что дает возможность значительно увеличить спектр решаемых вопросов и расширить тем самым область применения геоинформационных технологий. В литературе приводится

много примеров применения подобного синтеза подходов: выбор объектов, расположенных в буферных зонах (построенных по определенной атрибутивной информации) других объектов, выявление пространственных закономерностей в распространении количественного показателя, получение координат объектов, выделенных по какому-либо критерию и другие [14, 23, 42, 94, 129, 182, 183, 193].

Применение геоинформационных технологий становится все более актуально в динамично развивающихся областях. К таким можно отнести геоэкологию и урбоэкологию. Современные темпы развития производства, роста численности населения, увеличения доли урбанизированных территорий определяют растущее антропогенное давление на окружающую среду. Такая ситуация привлекает все большее внимание общественности. Возникает необходимость оценки экологической обстановки, выявления зон наибольшего техногенного прессинга. В настоящее время обеспечение локального мониторинга за состоянием окружающей среды осуществляется отдельными специализированными организациями и ведомствами. Характерным признаком подобного подхода является ведомственная разобщенность. Усугубляет сложившуюся ситуацию недостаточная техническая оснащенность и отсутствие единой программно-информационной среды. В таких условиях применение геоинформационных технологий является оптимальным вариантом обеспечения системы экологического мониторинга. Определенную сложность составляет лишь выбор оптимального программного пакета, удовлетворяющего все возникающие потребности [129].

В современном мире все более четко прослеживается «тенденция модульности», которую можно сравнить с принципом сборки конструктора. Охарактеризовать данную тенденцию можно следующим образом: изначально пользователь получает товар в так называемой «базовой» комплектации (с минимальным набором функциональных возможностей); если же этого набора не достаточно, его можно расширить, заказав дополнительные интересующие функции в виде опций (модулей). Таким образом, появляется возможность получения строго необходимого комплекса, рассчитанного на решение определенного круга задач. Ярким примером, иллюстрирующим данную тенденцию, является автомобильный рынок: у любого приобретаемого автомобиля есть «базовая» комплектация и определенный набор опций. Прослеживается «тенденция модульности» и на рынке геоинформатики.

Многими ГИС в той или иной мере поддерживается достаточно широкий круг стандартных операций. Количество доступных дополнительных модулей варьирует в зависимости от выбранного ГИС-пакета. Их выбор зависит от тех вопросов, которые необходимо решить средствами конкретного программного обеспечения. Наиболее популярны в нашей

стране такие коммерческие ГИС как ArcGIS, MapInfo Professional, ГИС Карта. Все большую популярность набирает использование бесплатного программного обеспечения (ПО): QGIS, SAGA, GRASS. Все без исключения современные ГИС-пакеты имеют модульную структуру, предоставляющую пользователям возможность выбора функционального набора, необходимого для решения тех или иных задач. В целом функционал в последних версиях ГИС от разных производителей (с учетом подключенных модулей) одинаково широк и многообразен. При этом нельзя сказать, что одна геоинформационная система лучше, чем другая. Идеальной программы не существует, выбор в пользу того или иного программного продукта в большей степени может быть обусловлен привычками, «вкусами» пользователя и удобством применения конкретной ГИС в определенной области, как отмечает В.Н. Богданов [19].

Применение геоинформационных технологий в экологических исследованиях отмечается повсеместно. В частности, в Соединенных Штатах Америки предпосылками экономического развития признаются рациональное природопользование и устойчивое развитие территорий, основывающиеся на использовании геоинформационных систем [87]. В России исследованиями в данной области занимаются А.М. Берлянт [14, 15], Л.М. Бугаевский [23], А.В. Кошкарев [94], И.К. Лурье [106], В.С. Тикунов [128, 129]. Приверженности авторов к какому-либо определенному ГИС-пакету в работах не прослеживается. Отмечается актуальность применения геоинформационных систем для целей обеспечения экологического управления и оптимизации природопользования за счет системного подхода к организации геоэкологической информации в ГИС, возможности ее «послойного» хранения, позволяющего производить оперативный анализ и синтез, и наглядного отображения в виде картографических изображений.

Геоинформационные технологии находят широкое применение в качестве эффективного инструмента контроля состояния окружающей среды при локальном негативном воздействии, таком как, например, угроза загрязнения нефтью прибрежной зоны морей. Подобные примеры описаны в работах В.В. Затыгаловой и А.Ю. Иванова [69], Д.В. Моисеева [117]. Так, в работе В.В. Затыгаловой и А.Ю. Иванова авторы рассматривают методы сбора информации о нефтяном загрязнении морских акваторий (точное положение, размер и площадь нефтяных пятен) с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Геоинформационные системы рассматриваются как средство улучшения идентификации нефтяных пятен и их классификации, а также как инструмент планирования и управления работами при ликвидации неблагоприятных последствий разливов нефти. Для этих задач ГИС должна включать в себя три основных блока: «Блок сбора информации (данных дистанционного зондирования и

подспутниковых измерений)», «Блок интеграции данных» и «Блок хранения данных (включая их архивацию)». Показана важность применения ГИС для установления причин, источников загрязнения и выявления зон риска. В качестве конечного продукта выделяются карты распределения нефтяных загрязнений [69].

Д.В. Моисеевым описан опыт применения геоинформационных технологий при проведении мониторинга на шельфе Баренцева моря. Использование ГИС началось еще на стадии проектирования (разрабатывалась схема расположения станций мониторинга с учетом определенных требований). Следующим этапом стал сбор комплекса разнородных геоэкологических данных, их пространственная привязка к картографической основе. Последующий пространственный анализ и обработка позволили получить информационные продукты, на основе которых были сделаны выводы об экологическом состоянии шельфа Баренцева моря [117].

Таким образом, все авторы, применяя геоинформационный подход к обеспечению системы мониторинга, выделяют общие блоки или этапы работы. Кроме того, подчеркивается необходимость использования геоинформационных систем при подобного рода изысканиях.

В рамках применения ГИС для контроля комплексного техногенного воздействия на окружающую среду также ведется разработка геоинформационно-аналитических комплексов обеспечения экологического мониторинга отдельных регионов. Ведомственная разобщенность специализированных организаций и органов власти, призванных обеспечивать функционирование системы мониторинга, требует координирования их деятельности. Наиболее приемлемым выходом из ситуации является создание единой программно-информационной среды на основе геоинформационных технологий [9]. Примеры подобного подхода к решению данного вопроса в рамках регионов и отдельных субъектов Российской Федерации приводятся А.А. Тигеевым [157], Н.О. Гусейновой [53], С.Ф. Мазуровым [107], В.Н. Миличем [114], А.А. Ямашкиным [181].

Так, территория Тюменской области представляет собой крупнейший нефтегазоносный бассейн в России, что, в сочетании с физико-географическими особенностями, приводит к интенсивному антропогенному воздействию на окружающую среду, что отмечает А.А. Тигеев. Контроль экологической ситуации требует оперативного анализа больших объемов информации, что невозможно без внедрения ГИС. Автором предлагается структура региональной экологической ГИС, имеющей замкнутую структуру: «Картографо-информационная база» (включающая инвентаризационный и экологический блоки), «Оценочный блок», «Аналитический блок» и «ГИС-оболочка» (информационно-пользовательский блок и блок формирования картографо-информационной базы). Блоки картографо-информационной базы предполагают наличие атрибутивной и карто-

графической информации, на основе которой функционируют остальные блоки. Региональная ГИС Тюменской области нашла применение при проектировании многих месторождений и прокладки трубопроводов Западной Сибири и оптимизации природопользования региона в целом [157].

В работе С.Ф. Мазурова автором представлена технологическая схема создания цифровых карт, применяемых для принятия управленческих решений в Байкальском регионе. Их оригинальность заключается в системном отображении природной и социальной обстановки, характера природопользования и экологической ситуации картографируемой территории [107].

А.А. Ямашкин описывает опыт создания геоинформационного экологического атласа республики Мордовии, включающего в себя ряд моделей геоэкологических карт (карты устойчивости природных комплексов, ландшафтно-экологические, техногенных комплексов и объектов, техногенного изменения ландшафтов, прогнозирования катастрофических явлений) [181].

Результаты исследований, проведенных отмеченными авторами, являются наглядным примером эффективности внедрения геоинформационного подхода в создании единой программно-информационной среды для обеспечения регионального уровня системы экологического мониторинга Российской Федерации.

В пределах отдельных городских территорий геоинформационные системы находят применение в проведении комплексной оценки качества городской среды обитания в таких промышленных центрах как Волгоград [83], Воронеж [63, 64, 76, 155], Москва [123, 165], Новосибирск [124], Улан-Батор (Монголия) [93, 155].

Например, Волгоград является типичным примером развитого крупного города с миллионным населением и характерными экологическими проблемами. Для получения комплексной оценки состояния окружающей среды было изучено влияние комплекса взаимодействующих неблагоприятных факторов природного и антропогенного происхождения, а также произведен их анализ с применением геоинформационного и картографического подходов. Были выделены основные сложности проведения комплексной оценки городской среды [83].

На основе геоинформационно-картографического анализа Восточного административного округа Москвы разработана и составлена ландшафтно-геохимическая карта, синтезирующая данные по негативным техногенным и природным факторам среды. Произведено зонирование территории по степени опасности загрязнения тяжелыми металлами, дана оценка качества среды обитания горожан и уровня экологических рисков здоровью [123, 165].

Лабораторией медико-экологического картографирования г. Новосибирска ведутся разработки эколого-гигиенической ГИС, позволяющей интегрировать весь объем имеющейся информации, создавать на ее основе аналитические, синтетические и комплексные карты, что в итоге приведет к оптимизации работы по обеспечению устойчивого развития и экологической безопасности города [124].

В последние годы появляются работы, иллюстрирующие возможности методов дистанционного зондирования и ГИС-технологий в эффективном функционировании городских систем экологического мониторинга, апробированные по отдельным депонирующим средам, например, в Ижевске, Тольятти, Махачкале (Л.С. Габдуллина [39], О.Н. Гусейнова с соавт. [53], А.Н. Крючков [95]).

Анализ приведенных выше работ показывает наличие достаточно большого количества различных методик применения геоинформационного подхода к оценке состояния городской среды. При этом разработка общей методики создания геоинформационно-аналитических комплексов для обеспечения системы мониторинга окружающей среды достаточно сложна, в силу больших различий в специфике отдельных территорий. Для интегральной оценки качества городской среды требуется учет всего комплекса факторов, влияющих на ее состояние. Это определяет обработку большого объема экологических данных по территориям отдельных промышленных центров, что делает применение ГИС весьма эффективным инструментом обеспечения мониторинга городской среды.

Таким образом, современные темпы урбанизации и возрастание техногенного прессинга на окружающую среду определяют необходимость интегральной оценки и мониторинга экологического состояния городской среды, что особенно актуально в крупных промышленных центрах. Однако, в условиях ведомственной разобщенности отечественных служб экологического контроля и мониторинга эффективность обеспечения экологической безопасности остается проблемной.

Многообразие подходов к интегральной оценке качества городской среды, неоднозначность алгоритмов интегральных оценок свидетельствует о том, что отечественная система мониторинга окружающей среды, имеющая относительно четкие критерии экологической безопасности (ПДК, ПДВ и др.), концептуально и технологически ещё находится в стадии становления и научного поиска. Не разработана унифицированная методология экологического мониторинга, базирующаяся на современных технологиях, а наиболее перспективным подходом в обеспечении эффективного функционирования систем экологического мониторинга крупных промышленных центров становится метод, ориентированный на интегральные оценки и картографирование экологического состояния городской среды с применением геоинформационных технологий.

## **ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ И МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

### **2.1. Общая схема организации исследования**

Создание автоматизированного комплекса для обеспечения экологического мониторинга на территории города Воронежа («ЭКОГИС г.Воронежа») осуществлялось на основе специально разработанной методологии, основные положения которой отражены на рисунках 2.1 (общая схема) и 2.2 (этапы исследования и решаемые задачи). Методические принципы создания «ЭКОГИС» следующие.

1. Автоматизированный комплекс должен обеспечивать возможность накопления, хранения и статистической обработки различных формализованных показателей (экогеоданных), характеризующих состояние окружающей среды и здоровья населения в пространственно-временном аспекте за многолетний период (подсистема хранения данных типа модели реляционной базы данных).

2. Подсистема хранения экогеоданных должна быть системно структурирована по диагностическим критериям, отражающим качество городской среды: источники техногенного воздействия на среду обитания (промышленные и транспортные объекты); состояние воздушного бассейна (прямые индикаторы - концентрации загрязняющих веществ в атмосфере; косвенные индикаторы - концентрации загрязняющих веществ в снежном покрове); загрязнение почвенного покрова; состояние биоты (например, древесных растений, реагирующих на загрязнение атмосферы и почвы); состояние здоровья населения. При этом в качестве операционных территориальных единиц (ОТЕ) выбраны три уровня генерализации информации: 1) функционально-планировочные зоны города (6 зон); 2) районы обслуживания детских поликлиник города (12 территорий); 3) специально выбранные пункты мониторинга состояния городской среды (75 пунктов, относительно равномерно охватывающих городское пространство, включающих стационарные и передвижные посты контроля воздуха системы гидрометслужбы и санитарно-эпидемиологической службы региона).

Все уровни генерализации данных реализованы в модели цифровой карты города. Данные о функционально-планировочных зонах города основаны на материалах Генерального плана городского округа города Воронеж [40], разработанного ОАО «Воронежпроект», с детализацией по результатам натурного обследования территории города. Выбор пунктов мониторинга (75) обоснован нами с позиции репрезентативного охвата территории города относительно равномерно по функционально-планировочным зонам с учетом пространственно структурированной информации фонда социально-гигиенического мониторинга.

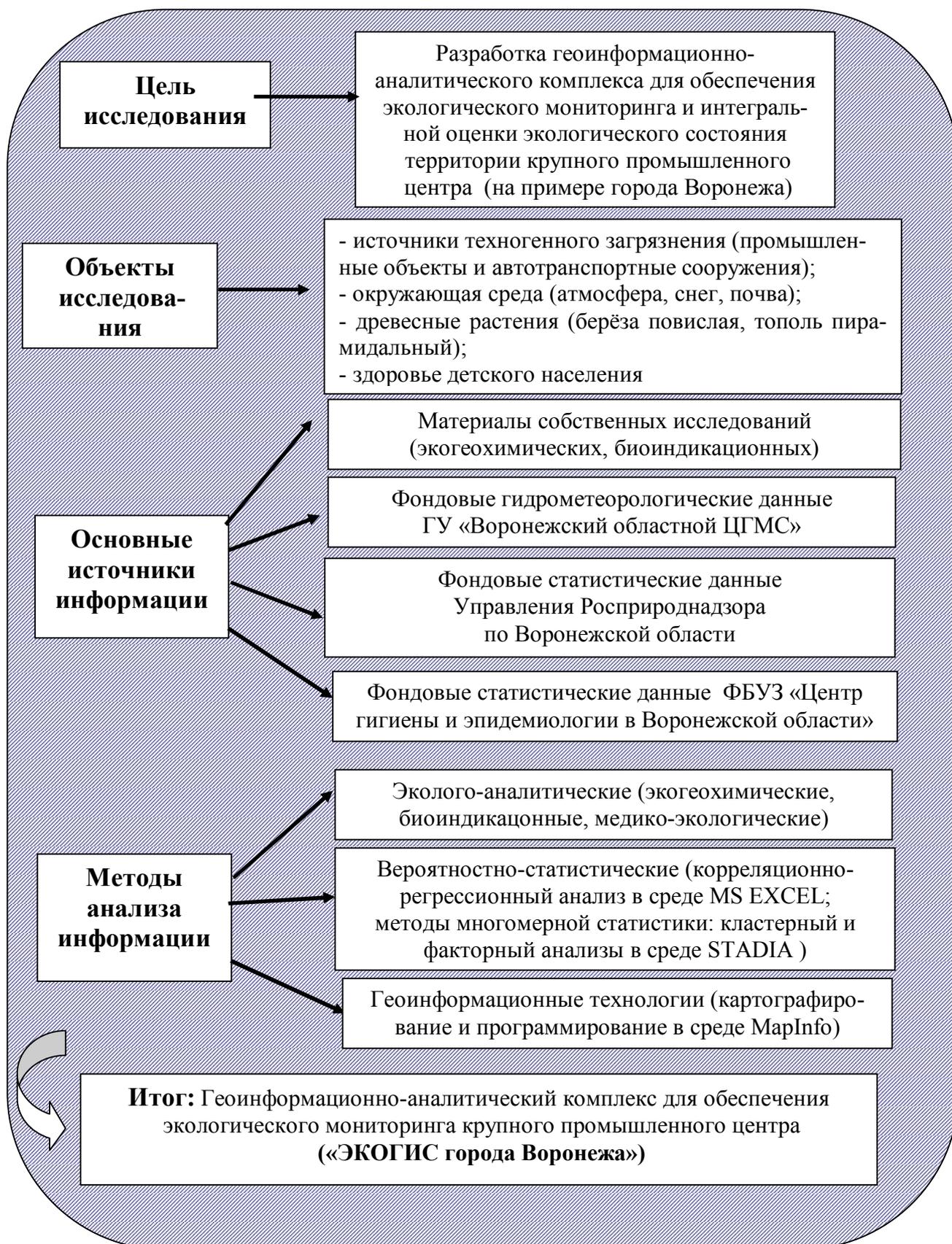
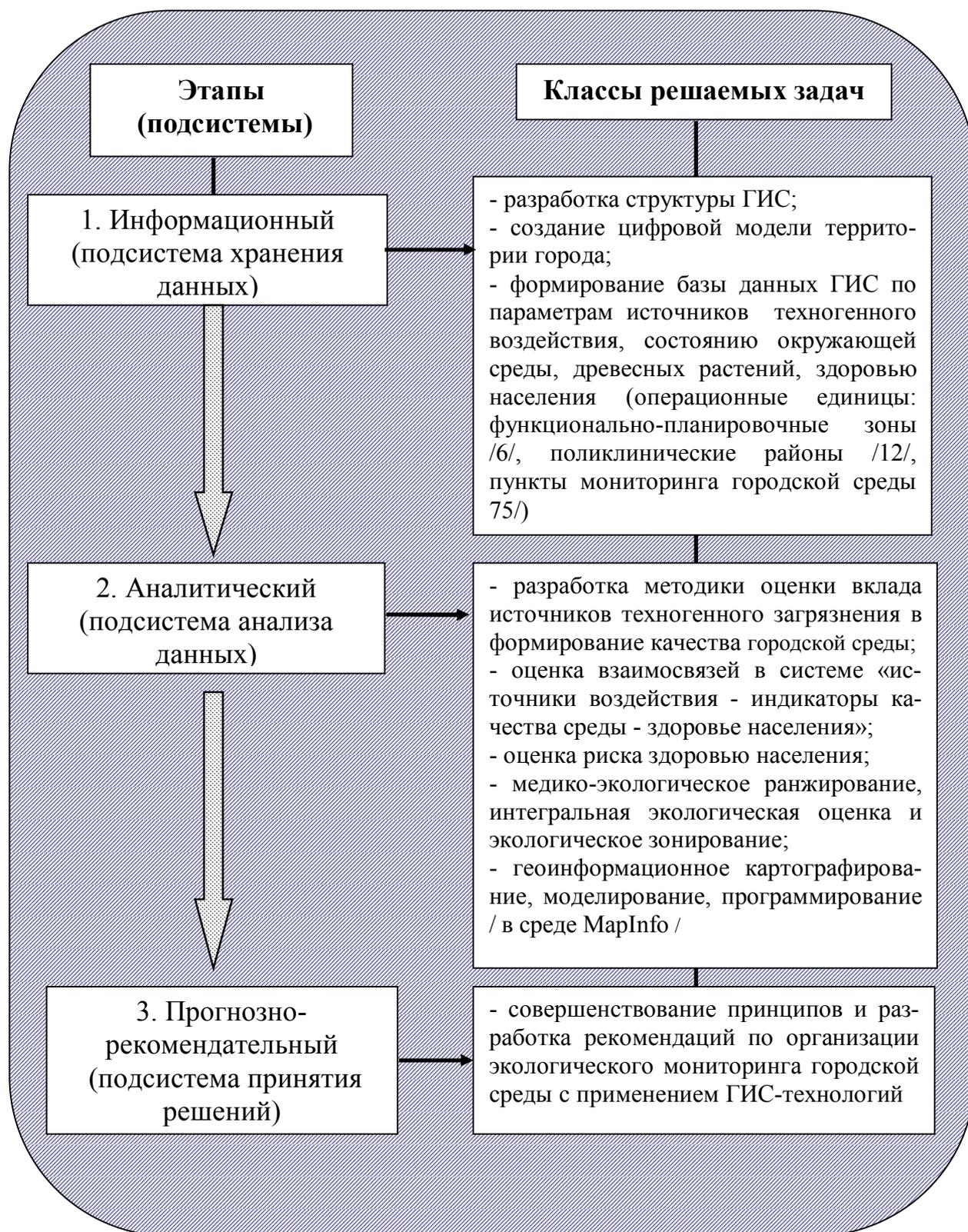


Рис. 2.1. Общая схема организации исследований



*Рис. 2.2. Методические этапы исследования и классы решаемых задач*

3. Информационная база должна быть доступна для расчета вторичных (оценочных) показателей, например, индексов загрязнения атмосферы, почвы, вероятностно-статистического анализа и картографической визуализации в виде цифровых карт (подсистема анализа данных). Эти функции необходимы для интегральной оценки качества городской среды и обеспечения задач экологического мониторинга города. В качестве геоинформационной среды нами выбран широко используемый ГИС-пакет MapInfo Professional.

4. Хранимая информация (экогеоданные) должна легко конвертироваться в доступные статистические пакеты для реализации задач многомерного статистического анализа и моделирования при интегральной оценке экологического состояния городской среды. Для этих целей нами использованы статистические пакеты MS EXCEL и STADIA. Организация данных должна обеспечивать возможность создания синтетических (оценочных) карт нового содержания с использованием данных вероятностно-статистического анализа. Получаемая информация может использоваться для поддержки принятия решений в системе экологического контроля и мониторинга региональными природоохранными службами (подсистема принятия решений).

Исходные данные для создания «ЭКОГИС г.Воронежа» получены в ходе натурных экспериментальных исследований (изучение функционально-планировочной инфраструктуры города и выбор пунктов мониторинга городской среды, экогеохимический анализ загрязнения снежного покрова, биоиндикационные исследования флуктуирующей асимметрии листовых пластинок древесных растений), а также предоставлены региональными природоохранными и мониторинговыми ведомствами города в рамках межведомственного сотрудничества с Воронежским госуниверситетом, а именно: аэросиноптический материал и данные загрязнения воздушного бассейна по 5 стационарным постам наблюдений за состоянием воздушного бассейна города (ГУ «Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды /ЦГМС/»); данные по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу стационарными источниками (Управление Росприроднадзора по Воронежской области); данные по загрязнению воздушного бассейна, почвы, заболеваемости детского населения (ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»). Для расчета интенсивности автотранспортной нагрузки по всему городу использованы опубликованные данные по интенсивности автотранспорта на улицах различных категорий (данные А.Б. Якушева с соавт. [180]). Базовым «временным срезом» выбран 5-летний период 2009-2013 гг., достаточно объективно характеризующий современную экологическую ситуацию на территории города.

## **2.2. Принципы разработки геоинформационно-аналитического комплекса для обеспечения мониторинга состояния городской среды**

Общая технологическая схема разработки «ЭКОГИС г.Воронежа» следующая: 1) создание программной среды для накопления, хранения и электронного картографирования данных мониторинга «среда-здоровье» (специализированной геоинформационной системы /ГИС/); 2) формирование информационного банка данных (БД), т.е. сбор и компьютерная обработка исходных данных по заданным критериям состояния окружающей среды и здоровья населения; 3) аналитические исследования для выявления пространственно-временных закономерностей формирования очагов техногенного загрязнения и оценки риска здоровью; 4) интерпретация результатов и выработка рекомендаций, управленческих решений для минимизации экологического риска и улучшения экологической обстановки на территории города. Подобный ГИС-комплекс – основа автоматизированного рабочего места эколога-практика, объединяющего в единое целое информационную, аналитическую и управленческую задачи мониторинга «среда - здоровье» как важнейшие блоки единой системы городского экологического мониторинга.

Разработка данной системы осуществляется в программной среде ГИС MapInfo Professional (ответственный разработчик ГИС - П.М. Виноградов). В качестве картографической основы использована топографическая карта г.Воронежа масштаба 1:20 000. Карта привязана в местной системе координат, применяемой в Воронежской области (МСК-36). Все объекты карты разбиты на шесть основных тематических слоев: 1) растительность (внутригородские и пригородные зеленые массивы, парки, скверы, формирующие «зеленый каркас» городской агломерации); 2) гидрография (основными объектами этого слоя являются Воронежское водохранилище, постоянные и временные водотоки); 3) жилые кварталы города (кварталы жилой городской застройки, разбитые на 3 функциональные подзоны: а) центральная историческая часть города, включая разноэтажную общественно-деловую застройку и «старую» 5-ти-этажную застройку 50-х – 70-х гг. прошлого столетия; б) кварталы с современной многоэтажной застройкой в основном от 9 этажей и выше периода 80-х гг. прошлого – начала нынешнего столетия; в) «частный сектор»: преимущественно низкоэтажная и коттеджная жилая застройка; 4) промышленные зоны (площади, занятые промышленными предприятиями, и территориями их санитарно-защитных зон); 5) основные автомагистрали (наиболее крупные и загруженные транспортом улицы); 6) прочие транспортные коммуникации (железные дороги, мосты, подъездные пути), выделенные в отдельный слой.

Важнейшим этапом в создании системы экологического мониторинга является сбор медико-экологической информации и формирование те-

матических БД. На первом этапе создания «ЭКОГИС г.Воронежа» основное внимание уделено формированию БД по загрязнению воздушного бассейна, поскольку предшествующие исследования показали достаточно высокую информативность атмосферных характеристик среди различных факторов риска здоровью населения г. Воронежа [36, 172]. Состояние питьевого водоснабжения как фактор риска нами не рассматривалось, поскольку источники водоснабжения – подземные, система водоснабжения города «закольцована», а различия в качестве питьевой воды в пределах города несущественны и обусловлены, прежде всего, не экологическими, а технологическими условиями, в том числе характером и режимом водопользования, системой водоочистки на ВПС города.

Исходные данные мониторинга техногенного загрязнения атмосферы и почвы нами структурированы по 75 локальным пунктам наблюдений, относительно равномерно распределенным по основным видам функционально-планировочных зон города, в том числе: 1) жилая зона с 3-мя подзонами: («жилая ЦИ», «жилая СП», «жилая ЧС» /20 точек/; 2) промышленная зона /18 точек/; 3) транспортная зона /17 точек/; 4) рекреационно-селитебная зона /14 точек/; 5) фон /6 точек/. Выбор точек определялся типичностью охвата застройки, а также включал имеющиеся стационарные и передвижные посты контроля воздушной среды в системе гидрометслужбы и санитарно-эпидемиологической службы города (информация любезно предоставлена Испытательным лабораторным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»).

БД представляют собой совокупность данных различного типа: стабильных и динамических. К стабильным относятся данные по источникам техногенного риска. Динамические включают в себя данные о состоянии окружающей среды (качество воздушного бассейна) и данные о состоянии общественного здоровья (реальная и потенциальная, прогнозируемая заболеваемость населения).

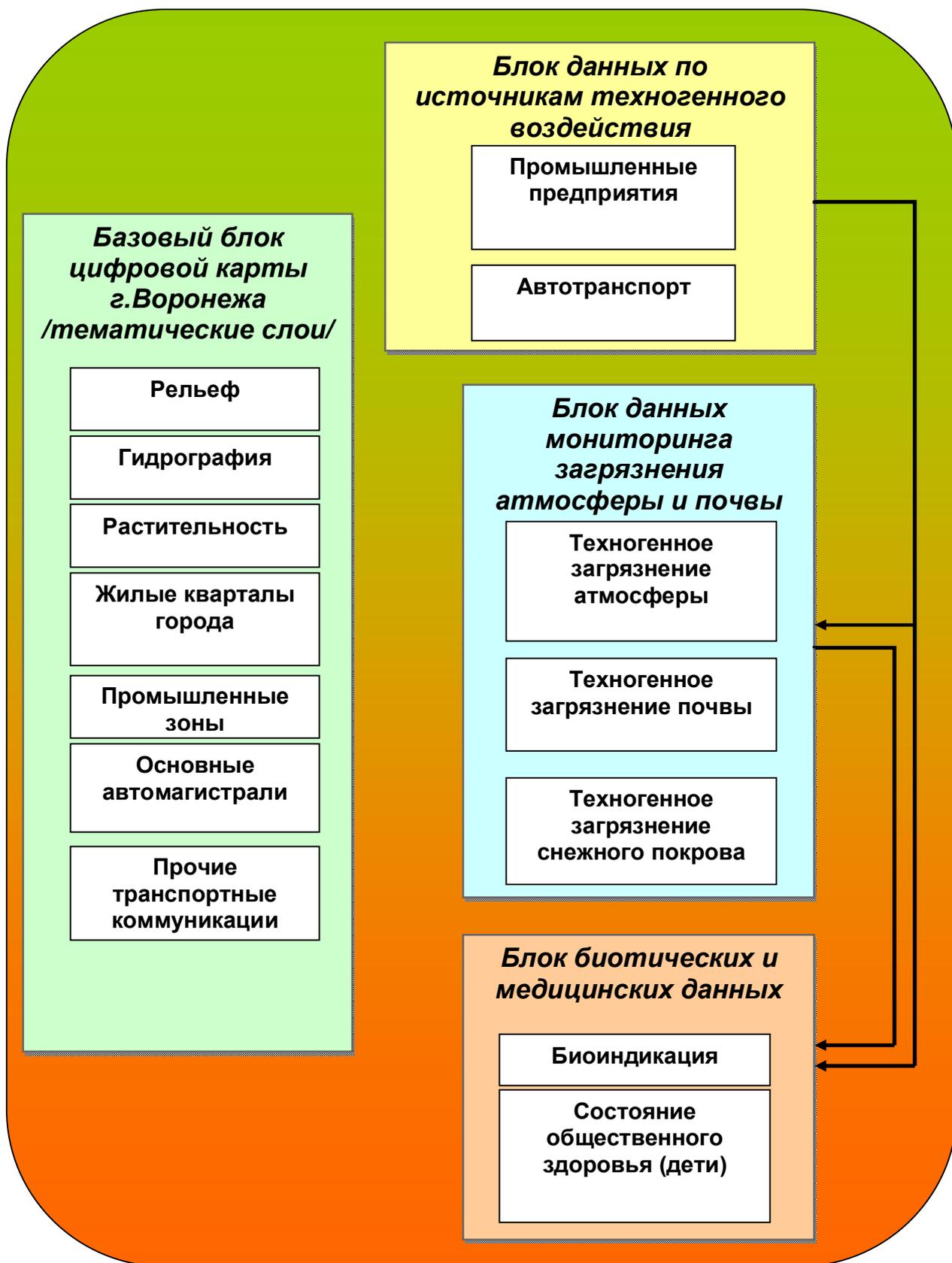
БД по приоритетным загрязнителям (оксид углерода, оксид азота, диоксид азота, диоксид серы, пыль, фенол, сажа, формальдегид и некоторые другие ингредиенты) формировалась в электронной таблице Microsoft Excel и в дальнейшем «привязывалась» к цифровой картооснове. БД по источникам техногенного воздействия, как и БД по техногенному загрязнению воздушного бассейна, состоит из двух подразделов: данные по промышленным объектам и по автотранспорту. Подраздел, включающий данные по промышленным объектам, создан на основе реестра основных промышленных предприятий г.Воронежа (данные Управления Росприроднадзора по Воронежской области), содержит полные названия предприятий, их адреса, класс вредности, валовой выброс загрязняющих веществ в атмосферу и процент от общего выброса (около 200 предприятий и отдельных промышленных площадок). Тематическая информация этого

подраздела БД привязана к пространственно координированным графическим объектам соответствующего слоя цифровой картоосновы. Второй подраздел содержит информацию по улично-дорожной сети города (152 основных улицы): перечень основных улиц с указанием средней интенсивности движения автотранспорта (авт/час), причем категории улиц и объемы выбросов загрязняющих веществ рассчитаны в зависимости от интенсивности движения автотранспорта, средней скорости транспортного потока, количества полос движения и длины дороги с использованием данных А.Б. Якушева [180] и на основании данных по категориям дорог Постановления администрации Воронежской области [135]. Нами проведен расчет интенсивности движения автотранспорта с дифференциацией: легковые автомашины, грузовой транспорт, автобусы. Таким образом, создан реестр 351 источников техногенного загрязнения городской среды (199 промышленных объектов и 152 транспортных сооружений). Перечень диагностических показателей БД «ЭКОГИС г.Воронежа» с пояснительной информацией, а также основные количественные параметры источников техногенного загрязнения г.Воронежа приведены в приложениях 1 и 2.

Структура информационной базы данных в обобщенном виде показана на рисунке 2.3, а в последующих подразделах подробнее описаны основные методические и технологические приемы создания и аналитической обработки первичных экогеоданных.

Созданная ГИС позволяет «послойно» отображать пространственное размещение элементов городской инфраструктуры, природного комплекса, эколого-гигиенических и медицинских характеристик: рельеф, застройка жилая, застройка промышленная, транспортные коммуникации, ландшафтно-рекреационные объекты, источники техногенного риска (промышленные объекты, автотранспорт и интенсивность транспортных потоков), состояние окружающей среды (качество воздушного бассейна, загрязнение почвенного покрова, состояние видов-биоиндикаторов), состояние общественного здоровья и индексы потенциального риска здоровью населения.

Создание «ЭКОГИС г.Воронежа» служит основой тематического геоинформационного картографирования и интегральной оценки качества городской среды обитания, а также может служить образцом-аналогом для подобных экологических исследований и интегральной оценки экологического состояния других крупных промышленно развитых городов России.



*Рис. 2.3. Структура базы данных для интегральной экологической оценки и геоинформационного обеспечения экологического мониторинга городской среды*

### 2.3. Оценка экологического состояния городской среды

Основа формируемого банка данных – информация по пунктам мониторинга различных сред, в том числе стационарным и передвижным постам контроля загрязнения воздушного бассейна, а также выбранным нами дополнительным локальным пунктам мониторинга для относительно равномерного охвата всей территории города с учетом функционально-планировочных зон. Всего для экогеохимических исследований экспертным путем выбрано 75 пунктов наблюдений (для снежного покрова - 48), т.е. систематического мониторинга состояния городской среды, краткая характеристика которых приведена в таблице 2.1, а схема размещения – на рисунке 2.4.

Таблица 2.1

Пункты мониторинга состояния городской среды г.Воронежа  
/точки отбора проб для экогеохимических исследований:  
атмосферы, снега, почвы /

№ точки *	Местоположение точки отбора проб /адрес/	Функционально-планировочная зона**	Депонирующие среды («+» означает наличие данных)		
			атмосфера	снег	почва
1(С)	ул. Ростовская, 44	жилая ЦИ	+	+	+
2(С)	ул. Лебедева, 2	промышленная	+	+	+
3	ул. Черепанова, 18	жилая ЧС	+	+	+
4	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	рекреационная	+	+	+
5(П)	ул. Героев Стратосферы, 8	жилая ЦИ	+	+	+
6	ул. Ильюшина, 12б	промышленная	+	+	+
7	ул. Димитрова-ул. Волгоградская	транспортная	+	+	+
8	ул. Старых Большевиков, 47	промышленная	+	+	+
9	Парк «Дельфин» (ул. Остужева)	рекреационная	+	+	+
10	Ленинский проспект, 149	транспортная	+	+	+
11	больница Электроника	рекреационная	+	+	+
12	ул. Грибоедова, 5	жилая СП	+	+	+
13	ул. Землячки, 1	промышленная	+	+	+
14	ул. Б. Хмельницкого, 35	промышленная	+	+	+
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	транспортная	+	+	+

Продолжение табл. 2.1

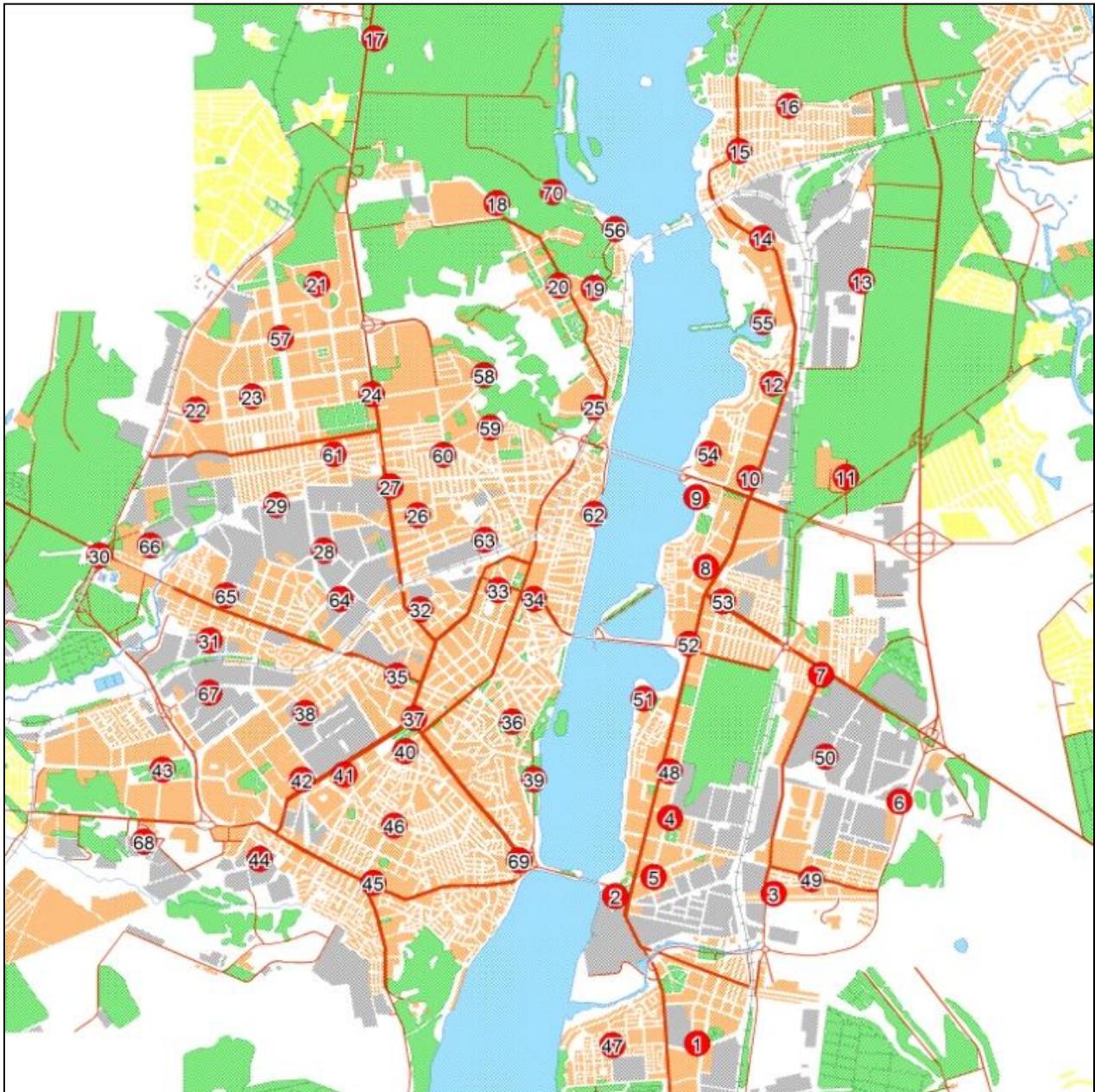
№ точки *	Местоположение точки отбора проб /адрес/	Функционально-планировочная зона**	Депонирующие среды («+» означает наличие данных)		
			атмосфера	снег	почва
16	ул.Калининградская, 61	жилая ЧС	+	+	+
17	СОК «Олимпик»	рекреационная	+	+	+
18	ул. Ломоносова, 114/13	рекреационная	+	+	+
19(П)	ул. Дарвина, 1	рекреационная	+	+	+
20	ул. Ломоносова, 83	жилая ЦИ	+	+	+
21	ул. Вл. Невского, 53	жилая СП	+	+	+
22	ул. Хользунова, 102	транспортная	+	+	+
23	ул. Генерала Лизюкова, 73а	жилая СП	+	+	+
24	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	+	+	+
25	ул. Ломоносова, 1	жилая ЧС	+	+	+
26(С)	ул. Лидии Рябцевой, 51б	промышленная	+	+	+
27(П)	Московский проспект, 36	транспортная	+	+	+
28	ул. Машиностроителей, 8	промышленная	+	+	+
29	Ясный проезд, 13	промышленная	+	+	+
30	ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко	транспортная	+	+	+
31	ул. Холмистая, 41	промышленная	+	+	+
32	ул. 3 Интернационала, 4	жилая ЦИ	+	+	+
33	Парк «Орленок»	рекреационная	+	+	+
34	ул. Степана Разина – ул. Большая Манежная	транспортная	+	+	+
35(С)	ул. 9 Января, 49	транспортная	+	+	+
36	ул. Володарского, 60	жилая ЦИ	+	+	+
37(П)	ул. 20-летия Октября, 94	транспортная	+	+	+
38	ул. Пирогова, 79	промышленная	+	+	+
39	Петровская Набережная	рекреационная	+	+	+
40	ул. Моисеева, 11	жилая СП	+	+	+
41	ул. Депутатская, 12	жилая ЦИ	+	+	+
42(С)	ул. Ворошилова, 30	жилая ЦИ	+	+	+
43	Парк «Танаис» (ул. Южно-Моравская)	рекреационная	+	+	+
44	ул. Кривошеина, 11	промышленная	+	+	+
45(П)	ул. Матросова, 6	транспортная	+	+	+
46	ул. Краснознаменная – пер. Казарменный	транспортная	+	+	+
47	ул. Саврасова – ул. Заслонова	транспортная	+		+
48	ул. Ленинградская, 98а	промышленная	+		+

Продолжение табл. 2.1

№ точки *	Местоположение точки отбора проб /адрес/	Функционально-планировочная зона**	Депонирующие среды («+» означает наличие данных)		
			атмосфера	снег	почва
49	ул. Циолковского – ул. Туполева	жилая ЧС	+		+
50	ул. Волгоградская, 48	промышленная	+		+
51	Парк «Алые паруса»	рекреационная	+		+
52	ул. Брусилова – Ленинский проспект	транспортная	+		+
53	ул. Димитрова - ул. Ленинградская	транспортная	+		+
54	ул. 25 Января, 16	жилая СП	+		+
55	ул. Маршала Одинцова, 11	рекреационная	+		+
56	ул. Дарвина	рекреационная	+		+
57	Победы бульвар – ул. 60 Армии	транспортная	+		+
58	ул. Ипподромная, 55	жилая ЧС	+		+
59	ул. Транспортная, 83а	жилая СП	+		+
60	ул. Шишкова, 53	жилая ЧС	+		+
61	ул. Нагорная, 65	жилая ЧС	+		+
62	ул. Набережная Массали-тинова, 1	рекреационная	+		+
63	ул. Урицкого, 47	промышленная	+		+
64	проспект Труда, 111	промышленная	+		+
65	ул. 9 Января, 180	промышленная	+		+
66	ул. 9 Января, 262/1	рекреационная	+		+
67	ул. Дорожная, 15	промышленная	+		+
68	Патриотов проспект, 3	промышленная	+		+
69	ул. Скрибиса, 16	транспортная	+		+
70	Санаторий им. Горького	фон	+	+	+
71	СТ «Северный бор»	фон	+	+	+
72	пгт. Рамонь, ул. Тутукова	фон	+		+
73	пгт. Рамонь, ул. Юбилейная, 5	фон	+		+
74	пгт. Рамонь, ул. Мосина, 6	фон	+		+
75	пгт. Рамонь, ул. 50 лет Октября, 7	фон	+		+

*\*) Посты наблюдений за состоянием атмосферы: С - стационарные (Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды); П - передвижные (Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области).*

*\*\*\*) В жилой зоне выделено 3 подзоны: «жилая ЦИ» – центральная историческая часть города (включая общественно-деловую застройку и «старую» 5-ти-этажную застройку по обоим берегам); «жилая СП» – кварталы с современной многоэтажной застройкой; «жилая ЧС» – частный сектор (преимущественно одноэтажная и коттеджная жилая застройка).*



*Рис. 2.4. Размещение точек (пунктов мониторинга) отбора проб атмосферы, снежного покрова, почвы на территории г.Воронежа*

В качестве «фона» (точки 70-75) выбрана условно-чистая территория рекреационной зоны вблизи санатория им. Горького (северная окраина г.Воронежа) и территория пгт. Рамонь, расположенного к северу примерно в 30 км от города, где систематически проводит исследования воздушной среды и почвы Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области. При биоиндикационных исследованиях фоном считали территории лесных массивов в пределах Воронежской дубравы (вблизи спорткомплекса «Олимпик») и севернее микрорайона «Отрожка» примерно в 5-6 км севернее правобережной и левобережной городской застройки.

### 2.3.1. Методика оценки вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование качества городской среды

Основными источниками техногенного загрязнения городской среды в г.Воронеже является автотранспорт (около 86-89 % вклада в загрязнение атмосферы ежегодно) и промышленные предприятия (стационарные источники). По опубликованным данным Управления Росприроднадзора по Воронежской области /формы государственной статистической отчетности 2ТП (воздух) – «Сведения об охране атмосферного воздуха»/, в атмосферный воздух г.Воронежа от организованных (промышленных) источников поступает 343 загрязняющих вещества (ЗВ) общим объёмом выбросов около 10497 т/ год [173]. Вещества, совокупный вклад которых в валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу г.Воронежа составляет около 82%, представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Приоритетные загрязняющие вещества, присутствующие в выбросах от организованных источников (по данным формы «2ТП (воздух)»)

Вещество (класс опасности)	Удельный вес выброса в общем объеме, %	Краткая токсикологическая характеристика (неблагоприятное воздействие на системы организма, токсические эффекты) [130, 145, 147]
Углерода оксид	28,0	кровь, сердечно-сосудистая система, центральная нервная система
Азота диоксид	27,1	органы дыхания, кровь (образование метгемоглобина), эндокринная система, коканцерогенный эффект*
Ангидрид сернистый /серы диоксид/	11,0	органы дыхания, в т.ч. бронхиальная астма, коканцерогенный эффект*
Метан	7,2	отдаленные токсические эффекты на центральную и вегетативную нервную системы
Азота оксид	4,4	органы дыхания, кровь (образование метгемоглобина), эндокринная система
Зола углей (20%<SiO <sub>2</sub> <70%)	4,1	органы дыхания, иммунопатологические процессы

*\*) коканцерогены, присутствующие в атмосферном воздухе, не обладая прямым канцерогенным эффектом, усиливают неблагоприятное воздействие канцерогенных веществ на человека.*

Ведущая роль в загрязнении атмосферного воздуха принадлежит предприятиям производства транспортных средств, машиностроения и оборудования (ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество», Воронежский механический завод – филиал государственного

унитарного предприятия «Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева»), химической промышленности (ОАО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод»), теплоэнергетики (ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 ОАО «Квадра»); коммунального хозяйства (Правобережные очистные сооружения ООО «РВК-Воронеж», ООО «Левобережные очистные сооружения») [173]. Причем, наиболее неблагоприятны по критериям загрязнения воздушного бассейна промышленная и транспортная зоны. В жилых функциональных зонах вызывает опасение присутствие в атмосферном воздухе оксида марганца и формальдегида. На рекреационных территориях отмечается вполне удовлетворительная ситуация, не вызывающая опасения.

На основании созданного реестра промышленных и автотранспортных вкладчиков в загрязнение атмосферы (фрагмент показан в приложении 2) нами предложена оригинальная методика оценки опасности воздействия источников загрязнения атмосферы, включающая поэтапную реализацию следующих расчетных процедур.

### **1. Оценка потенциальной опасности промышленных вкладчиков.**

По каждому промышленному объекту (промплощадке) определяли расчетным путем индексы опасности выбросов ЗВ:

1.1. Индекс опасности выбросов ЗВ 1 класса опасности (в % от общегородского выброса ЗВ 1 класса опасности); аналогично – для ЗВ 2, 3 и 4 классов опасности и суммарного выброса по предприятию (всего – 5 индексов опасности ЗВ отдельных классов опасности и индексов суммарного воздействия:  $I_{1кл}$ ,  $I_{2кл}$ ,  $I_{3кл}$ ,  $I_{4кл}$ ,  $I_{сумм}$ ).

1.2. Средневзвешенный индекс экологической опасности предприятия ( $I_{прм}$ ) с учетом весовых коэффициентов опасности ЗВ разных классов опасности аналогично формуле К.А. Буштуевой [26], используемой для расчета суммарного индекса загрязнения атмосферы  $K_{атм}$ , по формуле (1):

$$K_{атм.} = \left( \frac{C_1}{N_1 * ПДК_{C_1}} + \frac{C_2}{N_2 * ПДК_{C_2}} + \dots + \frac{C_n}{N_n * ПДК_{C_n}} \right) t \quad (1)$$

где  $C_i$  – средняя за год концентрация  $i$ -вещества;  $ПДК_i$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация  $i$ -вещества;  $N_i$  – константа, принимающая значения 1; 1,5; 2; 4 соответственно для веществ 1, 2, 3, 4 классов опасности;  $t = P / P_o$ , где  $P$  – среднегодовой процент повторяемости штилей, %;  $P_o = 12,5$  % (процент повторяемости направлений ветров одного румба при круговой розе ветров).

Используя весовые константы, применяем следующую формулу (2):

$$I_{\text{прм}} = \frac{I_{1\text{кл}}}{N_1} + \frac{I_{2\text{кл}}}{N_2} + \frac{I_{3\text{кл}}}{N_3} + \frac{I_{4\text{кл}}}{N_4} \quad (2)$$

1.3. Индекс опасности выбросов канцерогенных загрязняющих веществ (CR) – суммарный выброс веществ с установленным канцерогенным эффектом в % от общегородского выброса канцерогенных веществ ( $I_{\text{CR}}$ ). При этом канцерогенами считали выбросы канцерогенных веществ, относящихся к группам 1, 2А и 2В по классификации МАИР, приведенной в «Руководстве по оценке риска ...», 2004 (п. 4.4.2, стр. 34) [145].

Таким образом, каждый промышленный объект характеризовался 7 индексами потенциальной экологической опасности выбросов ЗВ:  $I_{1\text{кл}}$ ,  $I_{2\text{кл}}$ ,  $I_{3\text{кл}}$ ,  $I_{4\text{кл}}$ ,  $I_{\text{сумм}}$ ,  $I_{\text{прм}}$ ,  $I_{\text{CR}}$  (см. приложение 2).

**2. Оценка потенциальной опасности автотранспортных вкладчиков.** Сначала по каждой из 152 основных улиц города с учетом её категории определена среднегодовая интенсивность движения транспортных средств. Далее по справочнику улиц определены индексы потенциальной опасности выбросов от автотранспортных средств. Справочные данные представлены в таблице 2.3 (А – опубликованные данные из работы А.Б. Якушева с соавт. [180], Б – ранговые показатели с учетом градаций интенсивности и естественных разрывов значений, предложенные нами, в частности, интенсивность: 5 - высокая (2188 - 2738 авт/час), 4 - повышенная (1694 авт/час), 3 - средняя (802-1030 авт/час), 2 - пониженная (52-278 авт/час), 1 - низкая (0-32 авт/час). Более высокий порядковый ранг означает более высокую интенсивность движения транспортных средств, повышающую загрязненность воздушной среды. Определены индексы для различных транспортных средств в зависимости от категорий дорог:

2.1. Индекс потенциальной опасности выбросов легковыми автотранспортными средствами /  $I_{\text{ЛГК}}$  /- ранговые показатели в зависимости от интенсивности движения автотранспорта по улицам различных категорий.

2.2. Аналогично - грузовыми автотранспортными средствами /  $I_{\text{ГРЗ}}$  /.

2.3. Аналогично - автобусами /  $I_{\text{авт}}$  /.

2.4. Аналогично – суммарный ранг автотранспортной нагрузки по общей интенсивности автотранспорта на улице заданной категории /  $I_{\text{атн}}$  /. Несмотря на то, что автомагистрали - это линейные объекты, пространственная «привязка» ранговых значений к середине автотрассы с шагом 500 м по трассе движения, принятом в экогеохимическом опробовании территории при составлении ландшафтно-геохимических карт городов [36, 93, 111], позволяет в дальнейшем рассматривать эти показатели как точечные объекты, пригодные для пространственной интерполяции при геоинформационном картографировании.

**3. Расчет суммарного индекса экологической нагрузки** промышленно-транспортной инфраструктуры ( $I_{\Sigma}$ ) на городскую среду для любой операционной территориальной единицы проводится с учетом весовой значимости трех основных показателей опасности выбросов ЗВ от стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферы в зависимости от их комбинации на заданной территории (например, зоне обслуживания детской поликлиники) по формуле (3):

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (I_{\text{прм}} + I_{\text{CR}} + I_{\text{атм}}) \quad (3)$$

где  $n$  – количество объектов (промплощадок, уличных трасс) в пределах заданной территориальной единицы.

Таблица 2.3.

Интенсивность автотранспорта по основным категориям улиц г.Воронежа (авт/час) [180]

(А) - фактические данные:

Интенсивность	1Б	2Б	2В	2Г	3А	3Б	3В	3Г	3Д
Легковые	1694	2188	816	948	169	938	98	61	52
Грузовые	802	272	128	63	32	63	7	16	5
Автобусы	91	278	86	3	16	8	0	0	0
Всего	2587	2738	1030	1014	217	1009	105	77	57

(Б) - ранговые показатели:

Интенсивность	1Б	2Б	2В	2Г	3А	3Б	3В	3Г	3Д
Легковые	4	5	3	3	2	3	2	2	2
Грузовые	3	2	2	2	1	2	1	1	1
Автобусы	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Всего	5	5	3	3	2	3	2	2	2

Блок-схема применения данной методики показана на рисунке 2.5.

**4. Создание цифровых карт опасности техногенного воздействия на городскую среду.** Осуществляется путем пространственного интерполирования значений индексов экологической опасности промышленных и автотранспортных кладчиков и построения карт методом изолиний. Возможно «послойное» отображение как точечных, так и линейных объектов потенциального экологического риска в интерактивном режиме воспроизведения информации.

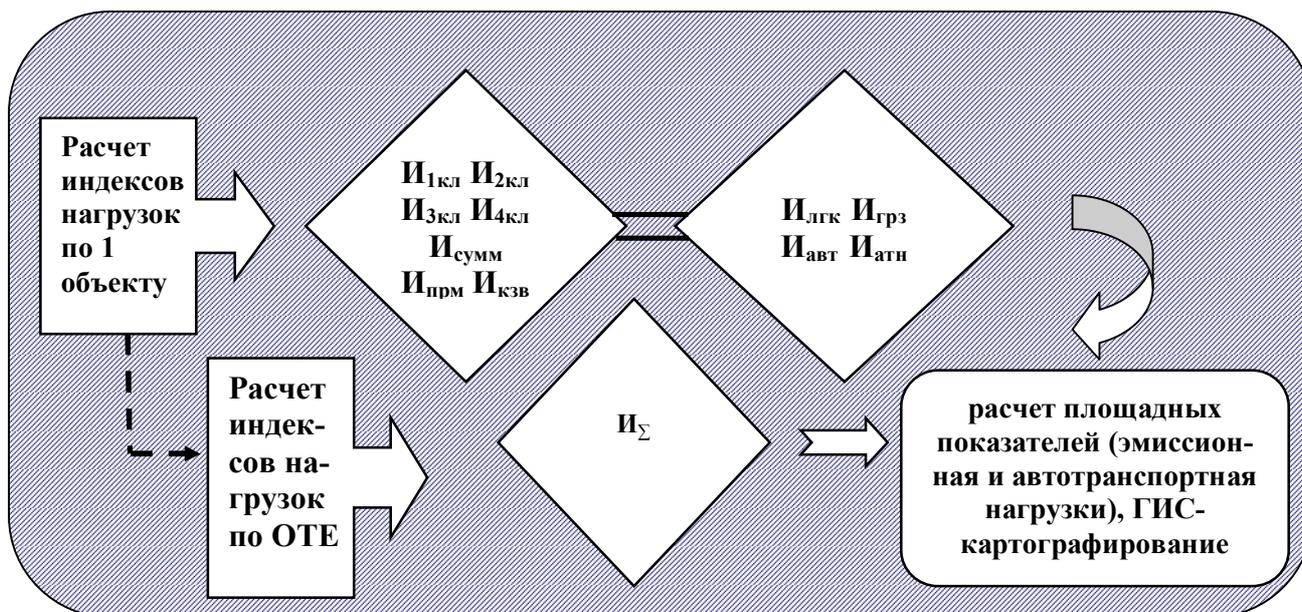


Рис. 2.5. Блок-схема (методика) оценки вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование качества городской среды

Для анализа воздействия промышленно-транспортной инфраструктуры на биоту и здоровье населения нами предложены и рассчитаны площадные показатели, более объективно отражающие техногенную нагрузку на городскую среду (в качестве операционных единиц использованы 12 районов обслуживания детских поликлиник города), а именно:

1) коэффициенты эмиссионной нагрузки выбросов ЗВ от стационарных источников в т/год на 1 кв. км площади района, в т.ч. по классам опасности и выбросов канцерогенных веществ ( $P_{1кл...P_{4кл}}$ ,  $P_{сумм}$ ,  $P_{CR}$ ,  $P_{прм}$ );

2) коэффициенты автотранспортной нагрузки: количестве автомобилей в час на 1 кв. км площади района отдельно по легковым, грузовым автотранспортным средствам, автобусам и суммарно ( $T_{лгк}$ ,  $T_{грз}$ ,  $T_{авт}$ ,  $T_{атн}$ );

3) индекс интегральной промышленно-транспортной нагрузки ( $I_{\Sigma}$  - сумма нормированных значений  $P_{прм}$ ,  $P_{CR}$ ,  $T_{атн}$ ).

### 2.3.2. Оценка качества воздушного бассейна

База данных «Уровень загрязнения атмосферного воздуха г.Воронежа» сформирована по данным мониторинга, который осуществляется аккредитованным испытательным лабораторным центром (АИЛЦ) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» и Воронежским ЦГМС – филиалом ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

В базу данных включены средние и максимальные концентрации приоритетных загрязнителей, контролируемых на 5 маршрутных постах

(П) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» и 5 стационарных постах Воронежского ЦГМС» (рис. 2.6), а также результаты лабораторных исследований, выполненных на основании жалоб населения на неудовлетворительное качество атмосферного воздуха на территории жилой застройки и в рамках обеспечения надзорных мероприятий по контролю уровня загрязнения атмосферного воздуха на внешних границах санитарно-защитных зон крупных промышленных объектов, соприкасающихся с территорией жилой застройки (ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»), что обеспечило максимально возможную детализацию данных о распространении ЗВ на городской территории.



*Рис. 2.6. Посты мониторинга качества воздушного бассейна г.Воронежа*

База данных сформирована за пятилетний период (2009-2013 гг.) по 75 указанным выше пунктам мониторинга загрязнения. В перечень контролируемых показателей включены концентрации 16 приоритетных загрязнителей: оксида углерода, оксида серы IV (диоксида серы), оксида азота IV (диоксида азота), формальдегида, пыли (взвешенных веществ), свинца, сажи (углерода), фенола, оксида марганца IV, оксида железа III, оксида хрома VI, меди оксида, 1,3-бутадиена, озона, акролеина, стирола (этилбензола).

При этом, на маршрутных постах наблюдения Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области постоянно контролировались концентрации всех 16 перечисленных загрязнителей, а на стационарных постах Воронежского ЦГМС – от 5 до 7 загрязнителей (оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, пыль, формальдегид, фенол, сажа).

Основным нормативным документом, определяющим требования к качеству атмосферного воздуха, является «Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» [47]. Нормативы распространяются на атмосферный воздух городских и сельских поселений (таблица 2.4).

Таблица 2.4

Предельно допустимые концентрации (ПДК) приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест  
(выборка из ГН 2.1.6.1338-03)

Загрязняющие вещества	Код CAS	ПДК максимально разовые, мг/м <sup>3</sup>	ПДК среднесуточные, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Лимитирующий признак вредности
Углерод оксид	630-08-0	5	3	4	резорбтивное
Сера диоксид	7446-09-5	0,5	0,05	3	рефлекторно-резорбтивное
Азота диоксид *)	10102-44-0	0,2	0,04	3	рефлекторно-резорбтивное
Формальдегид	50-00-0	0,035	0,003	2	рефлекторно-резорбтивное
Взвешенные вещества (пыль)	-	0,5	0,15	3	резорбтивное
Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	7439-92-1	0,001	0,0003	1	резорбтивное
Сажа (углерод)	1333-86-4	0,15	0,005	3	резорбтивное
Фенол (гидроксибензол)	108-95-2	0,01	0,003	2	рефлекторно-резорбтивное
Оксид марганца (марганец и его соединения в пересчете на оксид марганца IV)	1313-13-9	0,01	0,001	2	резорбтивное

Продолжение табл. 2.4

Загрязняющие вещества	Код CAS	ПДК максимально-разовые, мг/м <sup>3</sup>	ПДК среднесуточные, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Лимитирующий признак вредности
Оксид железа III (дижелезо триоксид в пересчете на железо)	1309-37-1	не уст.	0,04	3	резорбтивное
Оксид хрома VI (хром в пересчете на хрома VI оксид)	18540-29-9	не уст.	0,0015	1	резорбтивное
Меди оксид (в пересчете на медь)	1317-38-0	не уст.	0,002	2	резорбтивное
1,3-бутадиен	106-99-0	3	1	4	рефлекторно-резорбтивное
Озон	10028-15-6	0,16	0,03	1	резорбтивное
Акролеин (проп-2-ен-1-аль)	107-02-8	0,03	0,01	2	рефлекторно-резорбтивное
Стирол (этиленбензол)	100-42-5	0,04	0,002	2	рефлекторно-резорбтивное

\*) «Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1983-05. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнение №2 к ГН 2.1.6.1338-03».

Отдельно проведён анализ сезонной динамики концентраций загрязняющих веществ в воздушном бассейне г.Воронежа в зависимости от функционально-планировочной структуры города.

Для проведения исследований в качестве исходных данных нами использован аэросиноптический материал за 2012 - 2013 г.г., размещенный на официальном сайте Росгидромета РФ (<http://meteocenter.net/raob.htm>), а также результаты ежедневных наблюдений за концентрацией загрязняющих веществ в атмосфере 5 постов наблюдений города (посты №№ 1, 7, 8, 9, 10) Воронежского ЦГМС.

Сеть постов наблюдений работает в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89 [144]. Станции подразделяются на «промышленные», вблизи предприятий (посты №№ 1, 8, 9, 10) и «авто», вблизи автомагистралей в районе с интенсивным движением автотранспорта (пост № 7).

Нами проанализированы ежедневные данные наблюдений концентраций по 7 антропогенным примесям – пыли, сажи, угарного газа, оксида азота, двуокиси азота, сернистого ангидрида, формальдегида – и значения метеорологических величин: температуры воздуха ( $T$ ), относительной влажности ( $f$ ), направления ( $dd$ ) и скорости ветра ( $v$ ) у земли и на высотах: 700 м (АТ-925гПа), 1,5 км (АТ – 850 гПа), 3,0 км (АТ – 700 гПа) и 5,5 км (АТ –

500 гПа) за 4.00, 7.00, 13.00, 19.00 часов. Дополнительно привлечены данные о параметрах задерживающих слоёв (инверсий температуры) в эти дни.

Анализ аэрогенного загрязнения городской среды осуществлен по принятым методикам расчета индексов загрязнения атмосферы [144, 172]. Так, парциальный индекс загрязнения атмосферного воздуха ( $I_{Pi}$ ) рассчитан по формуле 4:

$$I_{Pi} = (C_i / ПДК_i)^k \quad (4)$$

где  $C_i$  – среднегодовая концентрация  $i$ -вещества;  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -вещества;  $k$  – коэффициент изоэффективности (константа), принимающий значения 1,5; 1,3; 1; 0,85 соответственно для веществ 1, 2, 3, 4 классов опасности.

Для оценки суммарного загрязнения атмосферы использован интегральный показатель загрязнения атмосферы (ИЗА), который рассчитывался как сумма парциальных индексов загрязнения по 7 основным загрязнителям (формула 5):

$$ИЗА = \sum_{j=1}^m I_{Pi}, \quad (5)$$

где  $j$  - порядковый номер вещества;  $m$  - число веществ;  $I_{Pi}$  - индекс загрязнения атмосферы отдельной примесью (парциальный индекс).

Выбор веществ, включенных в расчет ИЗА, а также для других приоритетных загрязнителей с целью оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха города осуществлялся в соответствии с РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» [144] и ОНД-86. Оценка риска загрязнения атмосферы проведена по критериям, представленным в таблице 2.5 [172].

Таблица 2.5

Критерии риска загрязнения атмосферы

Градации риска	Риск загрязнения	ИЗА
I	допустимый	от 0 до 4
II	вызывающий беспокойство	от 5 до 6
III	вызывающий опасение	от 7 до 13
IV	опасный	$\geq 14$

Для изучения особенностей сезонной динамики загрязнения воздушного бассейна с учетом влияния функционально-планировочной

структуры города на формирование полей аэрогенного загрязнения нами были также рассчитаны средние за месяц значения ИЗА в каждом пункте наблюдения, а также комплексный показатель антропогенного загрязнения атмосферы  $K_{\text{атм}}$  по формуле (1).

### 2.3.3. Экогеохимическая оценка загрязнения снежного покрова

В зимний период нами осуществлялся анализ загрязнения снежного покрова по взвешенным веществам, макрокомпонентам, спектру тяжелых металлов, кислотности осадков, минерализации, азотсодержащим соединениям, что позволяет оценивать корреляцию уровней техногенного воздействия на воздушный бассейн и загрязнение атмосферы, снежного покрова.

Для отбора снежных проб были выбраны 48 точек (пунктов наблюдений) в различных функциональных зонах г.Воронежа с разной степенью техногенного воздействия. Отбор и анализ проб снега проводился на базе эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского госуниверситета группой авторов под руководством доцента Т.И. Прожориной при участии Е.В. Беспаловой.

Поскольку ГОСТ Российской Федерации по загрязнению снежного покрова не существует, а применение нормативных документов поверхностных вод к талой воде не всегда обосновано, то для более объективной характеристики загрязнения снежного покрова за основу принимается сопоставление концентраций поллютантов городских проб снега с соответствующими значениями их фонового аналога [171, 172]. Это достигается расчетом коэффициента концентрации химических элементов ( $K_c$ ) по формуле (6):

$$K_c = C_i / C_{\text{ф}} \quad (6)$$

где  $C_i$  - содержание элемента в исследуемом объекте,  $C_{\text{ф}}$  - среднее фоновое содержание элемента.

В качестве фонового участка выбираются территории, испытывающие минимальное воздействие на природную среду. В нашем случае целесообразным является выделение такой территории за пределами городской черты, в частности, д. Медовка Рамонского района. Деревня расположена в 20 км от города в северном направлении. В западной части деревни протекает река Дон. Выбор фонового участка согласовывали с направлением преобладающих ветров, т.к. известно, что все атмосферные рассеяния коррелируют с розой ветров и имеют эллипсоидальный вид.

Отбор проб проводился пластиковой трубкой площадью сечения 78,5 см<sup>2</sup> и длиной 30 см. В месте отбора пробы трубу врезали на всю толщину снежного покрова до поверхности земли. После чего трубку из снега

вынимали, поддерживая снизу пластмассовой лопаткой. Нижнюю часть трубки тщательно очищали от частиц грунта [17].

Отобранные усредненные пробы высыпали в полиэтиленовые пакеты и далее пересыпали в чистую посуду для таяния. Пробы снега растапливали при комнатной температуре и отфильтровывали. По осадку, полученному на фильтре, определяли количество взвешенных частиц в отобранной пробе, а в фильтрате – основные компоненты химического состава талых вод. Для этого применялись следующие методы анализа: колориметрический ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ); титриметрический ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , общая жесткость,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ); расчетный ( $\text{Mg}^{2+}$ ); потенциометрический (рН); весовой (взвешенные вещества); кондуктометрический (минерализация). Проводились также анализы содержания в талой снеговой воде 4-х тяжелых металлов (кадмий, свинец, медь, цинк) с помощью вольтамперометрического анализатора «ГА-4» [177].

Исследования химического состава проб снега проводились в зимний период 2013 и 2014гг., в течение февраля – периода максимального накопления снега, предшествующего снеготаянию). Всего отобрано и проанализированы 75 проб снега в различных функциональных зонах г.Воронежа (27 проб в 2013г. и 48 проб - в 2014г.).

#### **2.3.4. Анализ загрязнения почвенного покрова**

База данных «Уровень загрязнения почвы г.Воронежа» сформирована по данным мониторинга, который осуществлялся аккредитованным испытательным лабораторным центром (АИЛЦ) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», что позволило оценить корреляцию («сходимость») данных по качеству среды (атмосфера - почва) и обосновать интегральный индекс качества городской среды по уровню техногенного загрязнения.

В базу данных включены средние и максимальные концентрации приоритетных загрязнителей на городской территории. В перечень контролируемых показателей вошли концентрации 10 веществ: никель (подвижная форма), медь (подв. форма), цинк (подв. форма), марганец (подв. форма), хром (подв. форма), свинец (подв. форма), кадмий (подв. форма), бенз(а)пирен, нефтепродукты и водородный показатель (рН). Данные представлены по 75 пунктам мониторинга аналогично атмосфере. Основным нормативным документом, в котором определены требования к качеству почвы, является «Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». Нормативы распространяются на почвы населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений (таблица 2.6).

## Нормативы качества почвы (выборка из ГН 2.1.7.2041-06)

Наименование вещества (показателя)	Международный код /CAS/	ПДК с учетом фона (кларка), мг/кг	Лимитирующий признак вредности
Никель (подвижная форма)	7440-02-0	4,0	Общесанитарный
Медь (подвижная форма)	7440-50-8	3,0	Общесанитарный
Цинк (подвижная форма)	7440-66-6	23,0	Транслокационный
Марганец, извлекаемый ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8 / чернозем (подвижная форма)	7439-96-5	140	Общесанитарный
Свинец (подвижная форма)	7439-92-1	6,0	Общесанитарный
Свинец (валовое содержание)	7439-92-1	32,0	Общесанитарный
Бенз(а)пирен (валовое содержание)	50-32-8	0,02	Общесанитарный

Для комплексной оценки металлизации почвы рассчитан показатель суммарного загрязнения почвы тяжелыми металлами (СПЗ) по формуле (7):

$$СПЗ = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i} \quad (7)$$

где  $n$  - число веществ;  $C_i$  – среднее значение концентрации  $i$ -го загрязняющего вещества в почве территории за год (или период), мг/кг;  $ПДК_i$  – предельно-допустимая концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в почве, мг/кг.

В расчете учитывались концентрации 5 тяжелых металлов: меди, цинка, марганца, свинца, кадмия.

### 2.3.5. Анализ реакций древесных растений на состояние городской среды

Анализ реакций древесных растений на состояние городской среды (биоиндикация) был направлен на выявление неблагоприятных эффектов в состоянии древесных растений, а в качестве видов-биоиндикаторов экологического состояния территории г.Воронежа выбраны наиболее массовые виды древесных растений в г.Воронеже: берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Borkh.). От-

бор материала и расчет показателей стабильности развития видов производился нами в соответствии с «Методическими рекомендациями по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ» [113].

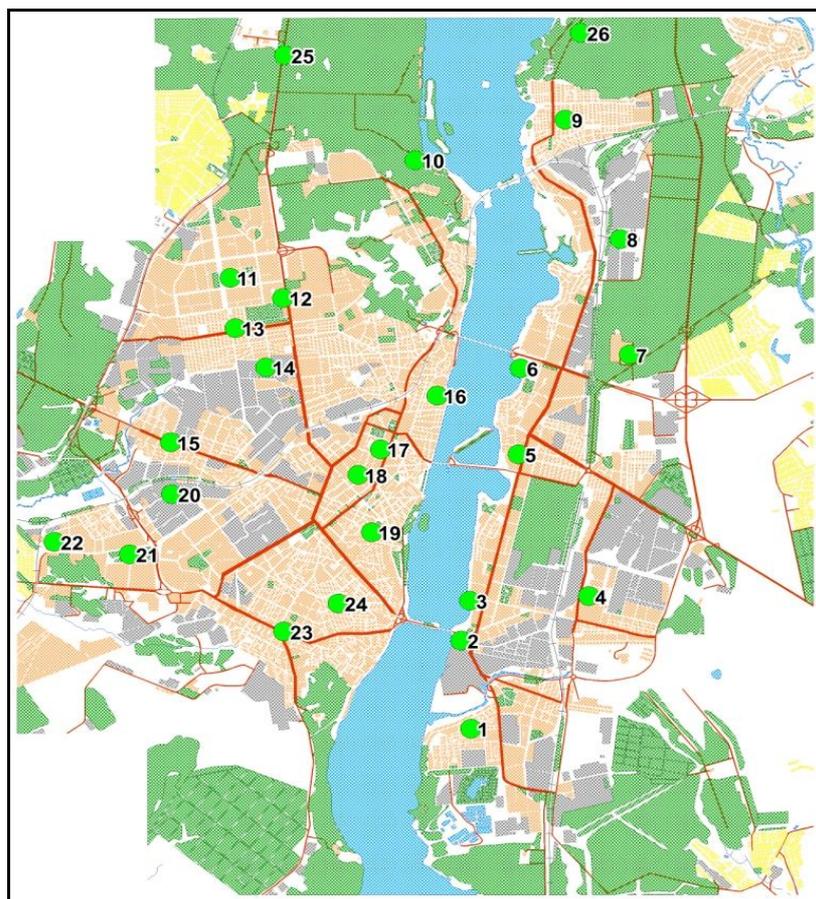
В соответствии с мнением В.М. Захарова [70, 71], под качеством среды понимается такое её состояние, которое необходимо для обеспечения здоровья человека и других живых существ. Для оценки этого качества необходимо определить степень нарушения стабильности развития наиболее массовых видов. Наиболее простым и доступным способом подобной оценки является определение величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков. Величина флуктуирующей асимметрии для древесных растений выражается в виде интегрального показателя стабильности развития, рассчитываемого на основе асимметрии правой и левой половинок листовой пластинки растения. Для оценки качества окружающей среды по величине этого показателя обычно используется пятибалльная шкала [71] (таблица 2.7).

На рассматриваемой территории г.Воронежа сбор листьев осуществлялся в 26 точках, равномерно распределенных по территории города и расположенных в описанных выше 6 функционально-планировочных зонах с разной степенью техногенного воздействия (см. табл. 2.1). На каждую зону (включая подзоны) приходится по четыре точки отбора. Кроме того, произведена выборка в двух «фоновых» точках, находящихся за пределами городской застройки. Схема расположения точек отбора листьев представлена на рисунке 2.7.

Таблица 2.7

Шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы [71]

Балл	Качество среды	Величина показателя стабильности развития	
		<i>Betula pendula</i>	<i>Populus pyramidalis</i>
I	Условная норма	< 0,040	< 0,055
II	Растения испытывают слабое влияние неблагоприятных факторов	0,040 - 0,044	0,055 - 0,059
III	Загрязненные районы	0,045 - 0,049	0,060 - 0,064
IV	Сильно загрязненные районы	0,050 - 0,054	0,065 - 0,069
V	Крайне неблагоприятные условия, растения находятся в сильно угнетенном состоянии	> 0,054	> 0,069



*Рис. 2.7 Схема расположения точек отбора листьев березы повислой и тополя пирамидального на территории г.Воронежа*

Каждая выборка включала в себя 25 листьев (по 2-3 листа с 10 растений) с каждого вида-индикатора (итого 50 листьев). Все листья, собранные для одной выборки, складывались в полиэтиленовый пакет. Выборка осуществлялась с деревьев приблизительно одного возраста, из нижней части кроны с максимального количества доступных веток равномерно вокруг дерева. С одного дерева собирались сходные по размеру листья. За один день производилась выборка не более чем в 2-3 точках, что позволяло произвести промеры непосредственно после сбора (не позднее двух дней после сбора). Сбор листьев осуществлялся в августе-сентябре 2014г.

По каждой листовой пластинке определяли пять параметров (отдельно по правой и левой половинкам листа): 1 – ширина половинки листа; 2 – длина второй жилки 2-го порядка от основания листа; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной и второй от основания жилкой 2-го порядка. Далее для экологической оценки состояния вида путем осреднения расчетных частных параметров проводился расчет интегрального показателя стабильности развития и присвоение того или иного балла в соответствии с таблицей 2.7.

На основании полученных данных при помощи геоинформационно-аналитического комплекса, созданного в программной среде ГИС MapInfo Professional, была составлена карта стабильности развития видов, дающая наглядное представление о биоиндикационных проявлениях загрязнения городской среды Воронежа.

### 2.3.6. Оценка риска для здоровья населения

Анализ состояния здоровья городского населения и оценка риска здоровью, связанного с состоянием городской среды, базируется на современных подходах к оценке канцерогенного, неканцерогенного рисков в соответствии с «Руководством по оценке риска...» (2004) [145] и методах вероятностно-статистического анализа. В качестве индикаторной группы выбрано детское население; база данных сформирована по материалам официальной статистики ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» и включает период ретроспекции за последние 5 лет (2009 - 2013 гг.).

В соответствии с методологией оценки риска здоровью [1, 126, 145] для расчета уровней рисков применяются справочные величины, установленные экспериментальным путем ( $SF$  – фактор канцерогенного потенциала  $\text{мг}/(\text{кг}\cdot\text{сутки})^{-1}$ ;  $RfD$  – референтная доза – суточное воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья;  $RfC$  – референтная концентрация).

**Канцерогенный риск (CR)** в течение жизни определяется по формуле (8):

$$CR = ADD * SF \quad (8)$$

где  $ADD$  - средняя суточная доза в течение жизни,  $\text{мг}/(\text{кг}\cdot\text{день})$ ;  $SF$  - фактор канцерогенного потенциала.

**Неканцерогенный риск** (для воздушной среды) количественно оценивается на основе расчета коэффициента опасности ( $HQ$ ) по формуле (9):

$$HQ = C_i / RfC \quad (9)$$

где  $C_i$  - средняя концентрация ( $\text{мг}/\text{м}^3$ );  $RfC$  - референтная (безопасная) концентрация, ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ).

С учетом однонаправленности воздействия веществ рассчитывается индекс суммарного эффекта, т.е. опасности присутствия множества ЗВ ( $CI$  или  $HI$ ), в зависимости от характера суммируемых рисков по формулам (10) и (11):

$$CI = CR_1 + CR_2 + \dots + CR_n \quad (10)$$

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n \quad (11)$$

где  $n$  – число веществ;  $CR_{1...n}$ ,  $HQ_{1...n}$  – канцерогенные риски и коэффициенты опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих веществ.

Оценка неканцерогенного риска проводится суммарно, а также по отдельным критическим (наиболее восприимчивым) органам и системам. При оценке индивидуального риска для здоровья населения ориентируются на систему критериев приемлемости (безопасности). Они различны для показателей канцерогенного и неканцерогенного рисков. Так, канцерогенный риск ( $CR$ ), равный или меньший  $1 * 10^{-6}$ , соответствует 1 дополнительному случаю онкологического заболевания или смерти на 1 млн. экспонированных лиц и характеризуется как риск допустимый, не вызывающий беспокойства. Риск более  $1 * 10^{-6}$ , но менее  $1 * 10^{-4}$ , соответствует предельно допустимому риску, вызывающему беспокойство. Риск более  $1 * 10^{-4}$ , но менее  $1 * 10^{-3}$ , приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом (опасный риск, требующий профилактических мероприятий). Риск, равный или более  $1 * 10^{-3}$ , неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп и требует экстренной профилактики (чрезвычайно опасный, недопустимый риск).

Неканцерогенный риск ( $HQ$ ) количественно оценивается на основе расчета коэффициента опасности: если величина риска  $HQ < 0,8$ , то риск считается допустимым ( $< 0,5$  = целевой риск), не вызывающим беспокойства. Если величина риска  $HQ$  достигает от 0,8 до 1,0 – риск предельно допустимый, вызывающий беспокойство. Если  $HQ > 1$  – опасный риск.

С помощью языка программирования MapBasic (в ГИС MapInfo) нами автоматизирован процесс оценки риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха. На основе информации БД по техногенному загрязнению воздушного бассейна, средствами ГИС MapInfo осуществлена оценка потенциальной заболеваемости по индексам канцерогенного и неканцерогенного рисков для здоровья населения в соответствии с алгоритмами формул (8 - 11). Для этой цели специально разработан программный модуль, реализующий количественные расчеты уровней риска для здоровья населения. Данный модуль представляет собой приложение, при запуске которого в горизонтальном меню MapInfo добавляется пункт «Риск», справа от меню «Справка», включающий три команды: «Создать таблицу Risks\_MB», «Расчет экологического риска», а также «Выход», завершающий работу программы (рис. 2.8).

Первая команда меню «Создать таблицу Risks\_MB» дает возможность создать новый слой в проекции данной карты. Слой включает в себя несколько графических объектов, расположение которых совпадает с местоположением постов мониторинговых наблюдений загрязнения атмосферы города. Вторая команда («Расчет экологического риска») вызывает

одноименное диалоговое окно, включающее в себя нескольких выпадающих списков, в котором предлагается последовательно выбрать БД, на основе которой будет проводиться расчет, а также вид расчетного риска – канцерогенного или неканцерогенного. Разработанный модуль значительно оптимизирует и ускоряет процедуру оценки риска, а также устраняет вероятность совершения ошибок при «ручных» расчетах.

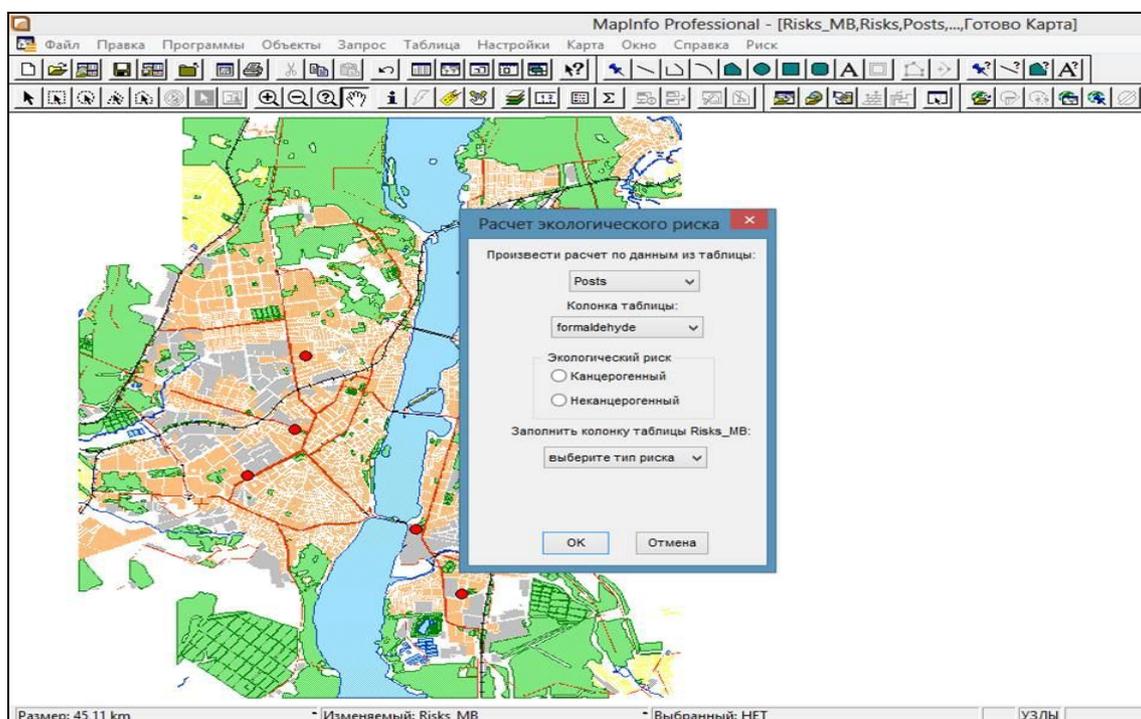


Рис. 2.8. Диалоговое окно "Расчет экологического риска"

Однако, описанный подход [145], применяемый в практике социально-гигиенического мониторинга, позволяет оценить лишь потенциальный риск экологически обусловленных заболеваний населения. Для оценки взаимосвязи экологических показателей качества городской среды и критериев состояния здоровья населения г.Воронежа (т.е. верификации моделей риска здоровью) нами был выбран детский контингент (дети до 14 лет включительно). Основанием выбора данного контингента являлось то, что дети более «привязаны» к району постоянного проживания (посещают детские дошкольные учреждения, школы, как правило, ситуационно расположенные в этом же районе). Взрослое же население сильно мигрирует в течение дня в пределах города, поскольку место проживания и место трудовой деятельности часто располагаются в разных районах города. Кроме того в формировании здоровья взрослого населения существенный вклад могут оказывать производственные факторы, образ жизни (характер питания, наличие вредных привычек и др.), что вносит неопределенности в оценку риска [36].

Оценка уровня заболеваемости детей проведена по данным обращаемости населения в лечебно-профилактические учреждения за медицинской помощью (форма статистической отчетности №12 «Отчет о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания лечебного учреждения»). Статистические данные о числе случаев заболеваний собираются и анализируются в рамках системы социально-гигиенического мониторинга г.Воронежа по 12-ти территориям – районам обслуживания детских поликлиник. Рассчитан средний многолетний уровень заболеваемости детского населения (2009-2013 гг.) по 14 основным классам болезней (число случаев заболеваний на 1000 детей).

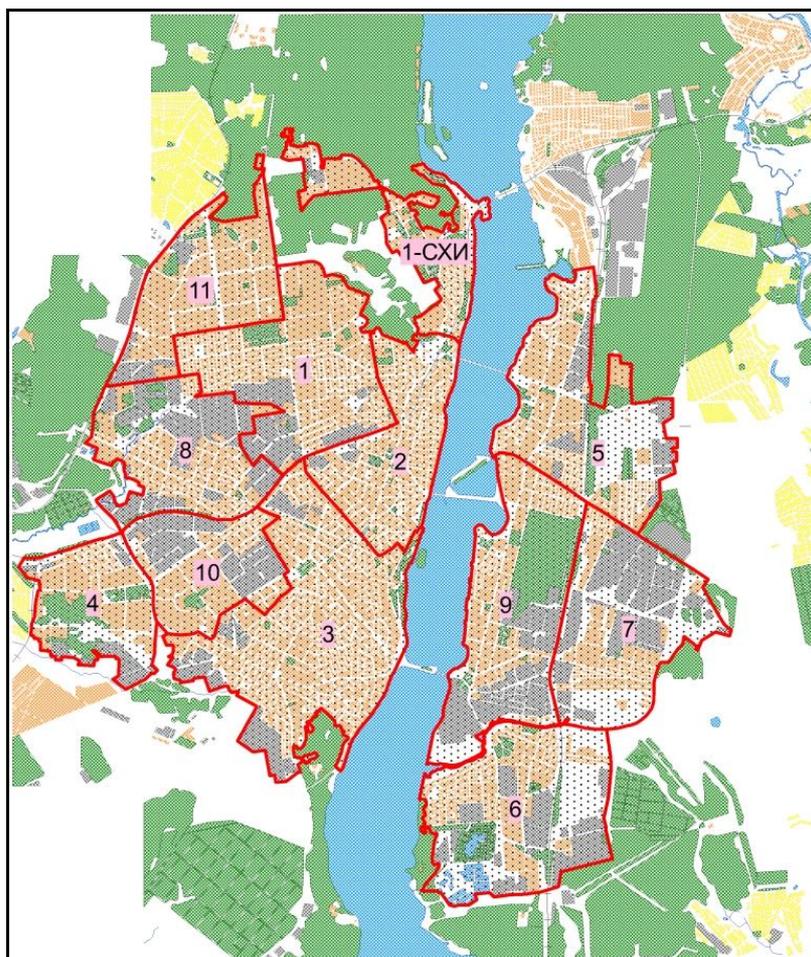
Таблица 2.8

Перечень точек (пунктов мониторинга) по территориям (районам) обслуживания детских поликлиник

№	Поликлиника /номер/	Количество точек	Номера точек *
1	1	7	24, 26,27,58,59, 60, 61
2	2	5	32, 33, 34, 62, 63
3	3	9	35, 36, 37, 39, 40, 44, 45, 46, 69
4	4	2	43, 68
5	5	4	10, 12, 54, 55
6	6	4	1, 2, 5, 47
7	7	5	3, 6, 7, 49, 50
8	8	6	28, 29, 31, 64, 65, 66
9	9	9	2, 4, 5, 8, 9, 48, 51, 52, 53
10	10	4	38, 41, 42, 67
11	11	4	21, 22,23, 57
12	1 - СХИ	5	18, 19, 20, 25, 56
	<b>Итого</b>	<b>64</b>	-

*\*) всего - 64 точки (некоторые нетипичные точки - "Отрожка", фон, пригород - 17, 15,16, 14, 11,13, 70) были исключены. Точки 2 и 5 включены в территории 9 и 6 поликлиник, т.к. находятся практически на их границе и характеризуют влияние загрязнения воздуха на проживающее на данных территориях население.*

Поскольку изначально исходные данные мониторинга окружающей среды (атмосферы, почвы) были представлены по 75 пунктам мониторинга, была проведена их перегруппировка с учетом границ обслуживания детских поликлиник г.Воронежа (12 территорий), показанных в таблице 2.8 и на рисунке 2.9.



*Рис. 2.9. Границы районов обслуживания детских поликлиник г.Воронежа*

При такой перегруппировке в каждую из территорий обслуживания детских поликлиник вошли мониторинговые точки, характеризующие ситуацию в различных функционально-планировочных зонах. Вместе с тем, только такое перераспределение дало возможность проведения анализа связи уровня загрязнения атмосферного воздуха, почвы, промышленно-транспортной нагрузки и заболеваемости населения, поскольку внутригородская детализация статистических данных о заболеваемости имеется только по территориям обслуживания поликлиник.

С учетом этого по 12-ти территориям были рассчитаны средние арифметические значения концентраций загрязняющих веществ в депонирующих средах (атмосфера, снег, почва), биоиндикационные показатели, параметры промышленно-транспортной нагрузки на городскую среду. Это позволило обеспечить территориальное соответствие анализируемых данных, обеспечить вероятностно-статистический анализ методами одномерной и многомерной статистики, а также комплексно оценить вклад различных факторов экологического риска в формирование общественного здоровья города.

## 2.4. Технологии геоинформационного картографирования и статистического моделирования

Созданная «ЭКОГИС г.Воронежа» и её картографическая основа является полноценной цифровой картой и позволяет осуществлять пространственную «привязку» любой тематической информации. Стандартный функционал ГИС MapInfo Professional предоставляет возможность производить анализ имеющейся информации на основе её графического представления. Наглядно показать это могут, например, тематические карты любых пространственно варьирующих параметров на основе опорных точек (узлов) мониторинга с использованием метода интерполяции. Для отображения пространственно варьирующих явлений особенно удобен метод изолиний (для характеристики загрязнения атмосферы, снежного покрова, почвы).

Карты представляют собой интерполированную поверхность с изолиниями (созданными при помощи приложения «Поверхность»). В ГИС MapInfo используются два метода интерполяции – метод обратных взвешенных расстояний (*Inverse Distance Weighting – IDW*) и нерегулярной сети треугольников (*Triangulated Irregular Network – TIN*). По опыту построения подобных тематических поверхностей можно сделать вывод, что для карт, основывающихся на данных по точкам, независимым и не влияющим друг на друга (какими являются, например, данные загрязнения воздушного бассейна), причем находящихся на значительном удалении друг от друга, более приемлемым является метод *IDW*. Этот способ позволяет получать вполне репрезентативную информацию с любой точки уже готовой поверхности, что весьма удобно при экспериментальном и выборочно-статистическом обследовании города.

Наглядно нами изучены отличия разных методов интерполяции экогеоданных на примере создания тематических карт техногенного загрязнения снежного покрова (примеры по минерализации снега показаны на рис. 2.10 и 2.11).

Существует возможность расчета интегральных показателей, с внесением рассчитанных величин в таблицу. За эту функцию отвечает инструмент «Обновить колонку». Примером его использования может служить расчет индекса загрязнения атмосферного воздуха по первичным экспериментальным данным загрязнения атмосферы. Также важной функцией является построение буферных зон (например, санитарно-защитных зон промышленных предприятий).

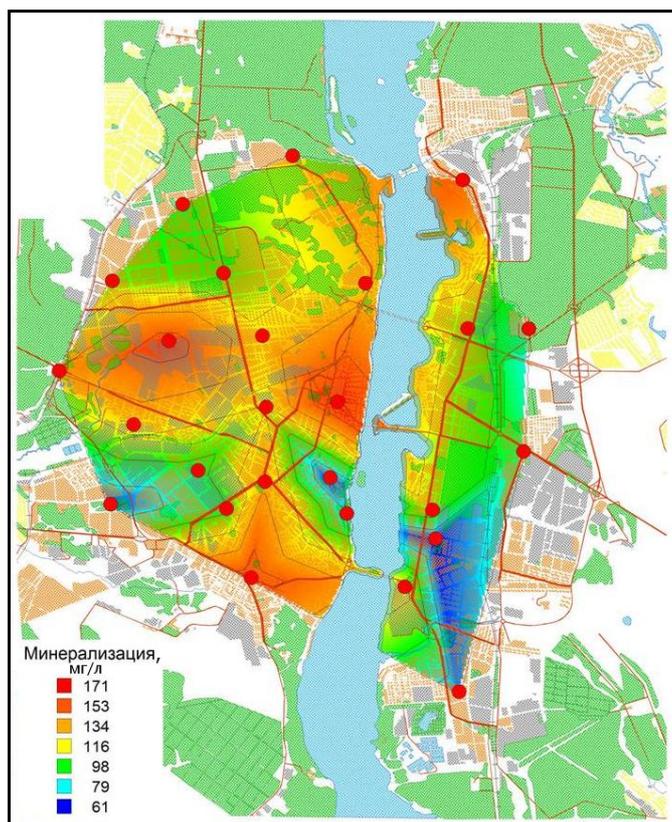


Рис. 2.10. Карта минерализации снеговых вод, построенная методом TIN-интерполяции

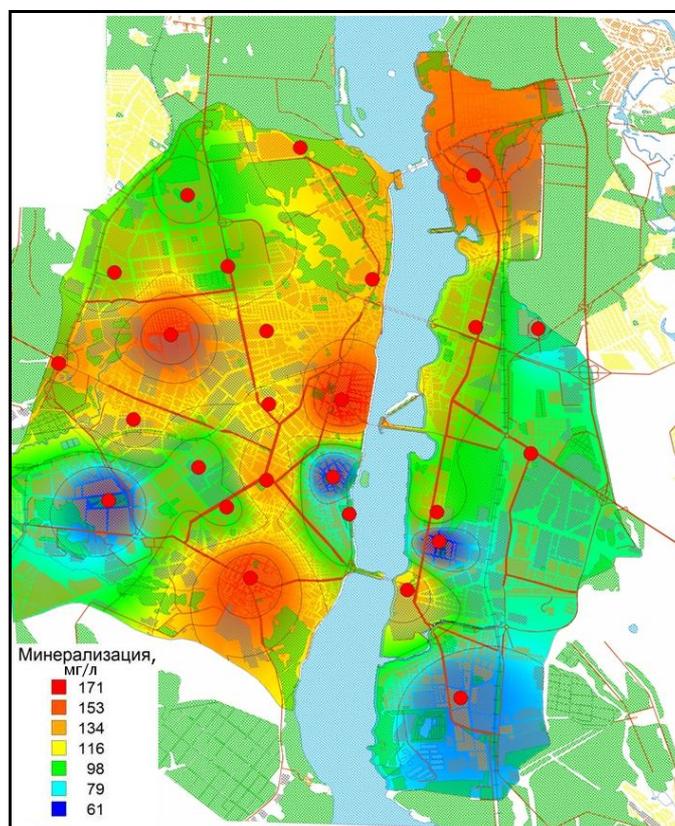


Рис. 2.11. Карта минерализации снеговых вод, построенная методом IDW-интерполяции

Описанные «штатные» инструменты и функции ГИС MapInfo предоставляют богатый выбор возможностей для анализа БД. Для расширения арсенала инструментов ГИС, необходимых в решении задач с использованием большого объема однотипных операций, производимых «вручную», целесообразно применять специальные языки программирования. В среде MapInfo таким инструментом является MapBasic, эффективно использованный нами для создания программного инструмента расчета уровней риска здоровью.

В процессе работ по созданию цифровой картографической основы возник вопрос о неудобстве постоянного переключения между инструментами «Сдвиг» и «Выбор» путем нажатия на соответствующие кнопки на панели инструментов. Так, при оцифровке растрового изображения часто необходимо перемещаться по карте и многократно выбирать определенные объекты (вышеназванные инструменты отвечают за выполнение этих функций). Во многих программах (Topocad, EasyTrace) это неудобство устранено путем задания этим командам «горячих клавиш». В нашем случае было решено пойти тем же путем. В пункт горизонтального меню «Правка» были добавлены соответствующие команды, позволяющие переключать инструменты «Сдвиг» и «Выбор» нажатием специальных клавиш на клавиатуре компьютера, что позволило существенно оптимизировать, ускорить процесс работы с объектами БД, характеризующими состояние городской среды обитания. Таким образом, созданный ГИС-комплекс вполне отвечает типовым задачам экологического мониторинга в условиях промышленно-развитого города.

Для осуществления интегральной оценки состояния городской среды нами было произведено совместное использование ГИС-технологий с методами вероятностно-статистического анализа. Методами ГИС-технологий были построены карты различных медико-экологических показателей, позволившие путем интерполяции сформировать базы данных по 75 точкам мониторинга даже при отсутствии некоторых значений, далее применить методы стандартного корреляционно-регрессионного анализа для выявления связей в многофакторной системе «промышленно-транспортная инфраструктура - атмосфера - снежный покров - почва - биота - здоровье населения», выявить ведущие факторы экологического риска и с помощью статистического метода взвешенных баллов осуществить комплексное зонирование территории города по риску экологически обусловленных заболеваний населения.

Технология медико-экологического ранжирования и территориального зонирования ранее применялась в работах С.А. Куролапа, Н.П. Мамчика, О.В. Клепикова с соавт. [178]. В данном исследовании применен аналогичный подход со следующими особенностями и модификациями: 1) в качестве основной меры сходства в процессе оценки связей между медико-экологическими характеристиками использован коэффициент ли-

нейной корреляции ( $r$ ), при этом коэффициенты от 0 до  $\pm 0,10$  не рассматривались как значимые, т.е. в анализе вообще не учитывались, а заметной (существенной) считали связь при значениях более  $+0,50$  [150]; 2) относительно слабые и иногда недостоверные корреляции (от  $0,10$  до  $0,30$ ) учитывали в анализе, поскольку они отражают определенные, часто весьма устойчивые тенденции, которые не проявляются более существенно на фоне многофакторности влияния взаимообусловленных признаков и имеют «стабилизирующую роль» в интерпретации количественных связей, что отмечалось в медико-географической литературе [101]; 3) все исследуемые параметры БД разделили на «параметры воздействия» (прямые - индексы промышленно-транспортных нагрузок; косвенные - загрязнение атмосферы, снега, почвы) и «индикаторы воздействия» (т.е. критерии «отклика», имеющие достоверную реакцию на неблагоприятное воздействие: повышенную асимметрию листьев растений-биоиндикаторов, повышенную заболеваемость детского населения), а в качестве критерия информативности (значимости «воздействия» или «отклика») рассматривали % положительных корреляционных связей ( $r \geq +0,10$ ), отражающих тенденцию или достоверную связь между уровнем воздействия и уровнем ответного отклика в комплексе исследуемых признаков; 4) наиболее существенные, достоверные зависимости иллюстрировали регрессионными моделями с уровнем адекватности ( $R^2$ ) – не менее  $0,60$  (т.е. статистическое влияние - не менее  $77\%$ ). Всего проанализировано около  $17300$  корреляционных моделей, позволивших дифференцировать параметры воздействия и критерии отклика по уровням значимости, послужившим основой интегральной оценки экологического состояния городской среды – важнейшего аспекта экологического мониторинга крупного промышленного центра в целом.

Для классификации факторов риска, операционных территориальных единиц, поиска и интерпретации внутренних закономерностей были применены методы многомерной статистики, в частности, кластерный и факторный анализы в среде STADIA [96]. Кластерный анализ позволяет разбить изучаемую совокупность объектов на группы «схожих» объектов, называемых кластерами (например, это целесообразно при определении сходных зон различного экологического риска). В качестве меры сходства объектов использованы «нормированные евклидовы расстояния», применены «агломеративная» (объединяющая) стратегия, метод «группового соседа» и дивизивная (разделяющая) стратегия, метод динамических сгущений. Факторный анализ применен в форме метода главных компонент (МГК), основанного на исследовании внутренних закономерностей связей признаков в изучаемых комплексах, оценки их линейных корреляционных связей для выявления групп новых гипотетических факторов, формирующих экологические риски на территории города.

В итоге были реализованы в сравнительном аспекте три схемы интегральной оценки экологического состояния городской среды: 1) по обобщенным данным экологической характеристики функционально-планировочных зон (7 зон с учетом фона); 2) по осредненным данным, пространственно приуроченным к территориям обслуживания детских поликлиник города (12 районов); 3) по данным интерполяции значений, полученных в ходе геоинформационного моделирования картографических поверхностей (46 базовых точек мониторинга). Сравнительный анализ позволил более объективно подойти к обоснованию модели экологического мониторинга городской среды с применением современных ГИС-технологий.

Благодаря геоинформационным технологиям процесс обработки и анализа пространственных данных происходит значительно оперативнее, чем традиционными методами, что оказывает прямое влияние на принятие управленческих решений в сфере обеспечения экологической безопасности города. Применение ГИС MapInfo, доступных программных модулей, расширяющих ее стандартный функционал, а также языка программирования MapBasic создает условия для функционирования системы экологического мониторинга в едином информационном пространстве и обеспечивает эффективность ее функционирования.

Таким образом, методическая схема исследования включает три этапа (информационный, аналитический, прогнозно-рекомендательный) и три группы методов: эколого-аналитические, вероятностно-статистические, геоинформационно-аналитические.

В ходе проведения натурных экогеохимических, биондикационных исследований и с использованием фондовых статистических данных о промышленно-транспортной инфраструктуре, функциональном зонировании города, загрязнении атмосферы, почвы и показателей заболеваемости детского населения сформирована база данных о параметрах экологического состояния города за 5 лет (2009-2013 гг.).

Разработана и апробирована оригинальная методика оценки вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование качества городской среды. Для выявления взаимосвязей в комплексе исследуемых экологических критериев применены методы корреляционно-регрессионного и многомерного (кластерного, факторного анализа), позволившие осуществить интегральную оценку качества городской среды.

В программной среде MapInfo создан действующий макет геоинформационно-аналитического комплекса («ЭКОГИС города Воронежа»), включающего реляционные базы экогеоданных, программно-алгоритмическое обеспечение для оценки риска здоровью населения и средства электронного картографирования для обеспечения экологического мониторинга и интегральной оценки экологического состояния городской среды.

## ГЛАВА 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

### 3.1. Ландшафтно-экологические условия и функционально-планировочная организация города Воронежа

Город Воронеж – «столица Черноземья» - типичный пример крупного промышленного центра, где в настоящее время проживает около 1015 тыс. жителей.

Город расположен в лесостепной зоне, в бассейне Среднего Дона. Геологической основой территории служит докембрийский кристаллический фундамент, перекрытый 110-120 метровой толщиной песчано-глинистых древнеаллювиальных отложений неоген-четвертичного времени. Территория находится на границе двух геоморфологических провинций – Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности.

В меридиональном направлении город разделяет на две неравные части акватория Воронежского водохранилища, созданного в 1972 г. в долине р. Воронеж. Левобережная часть города представляет собой пониженную выровненную поверхность 2-ой надпойменной террасы, возвышающуюся над урезом водохранилища на 10-20 м, сложенную преимущественно песчаными и песчано-глинистыми грунтами, переработанными ветром и водной эрозией. Правобережная часть – высокое холмистое суглинистое плато с абсолютными отметками высот 100-160 м (абсолютная отметка 168,2 м в южной части правобережья) и крутым, обрывающимся к водохранилищу, коренным склоном около 35 м, расчлененным системой древних балок Ботаническая, Чернавская, Стрелецкая, Чижовская, Грачиная [37, 101].

Климат города – умеренно-континентальный, с неустойчивым увлажнением. Средняя годовая температура воздуха около  $+6,0^{\circ}\text{C}$ . Зимой отмечаются небольшие морозы ( $-8-12^{\circ}\text{C}$ ), часто сменяемые оттепелями. Экстремальные значения температуры в отдельные холодные зимы, достигают  $-35-37^{\circ}\text{C}$ . С декабря по март держится устойчивый снежный покров высотой до 1,0 м. В летние месяцы наблюдается преимущественно ясная погода, преобладающая дневная температура воздуха  $+20-25^{\circ}\text{C}$ , в отдельные дни превышающая значения в  $+32-36^{\circ}\text{C}$ . Годовое количество осадков колеблется в пределах 550-600 мм. Характерна высокая относительная влажность воздуха (наиболее холодный месяц – около 83 %, наиболее теплый – около 66%). В холодный период года часты туманы, способствующие снижению потенциала естественного самоочищения атмосферы; в теплый период нередко перепады в состоянии погоды: засухи, чаще приходящиеся на вторую половину лета, или выпадение большого количества осадков в виде ливневых дождей, гроз [170].

В течение всего года в розе ветров преобладают западные румбы (около 40%), но существенны и сезонные различия. Так, в зимне-весенний период увеличивается повторяемость юго-восточных и юго-западных ветров, несколько смягчающих суровость зимы при циклональной циркуляции. В летне-осенний период чаще наблюдаются ветры северных и северо-западных румбов, смягчающие летний зной. В районе Воронежа в течение года прослеживаются элементы муссонной циркуляции воздушных масс. Средние скорости ветра в приземном слое воздуха составляют около 3,8 м/с, отмечены и шквалистые ветры до 25 м/с. В июле-августе преобладают суховеи, провоцирующие летний листопад [37, 149].

Под влиянием застройки в городе сформировался микроклимат с повышенной температурой воздуха по сравнению с зональным фоном, увеличен и безморозный период. По данным Э.Ю. Безуглой [11, 12] по потенциалу загрязнения атмосферы (ПЗА) Воронежская область находится на границе двух зон: умеренного и повышенного ПЗА. Частота инверсий составляет около 30-40%, причем максимум приземных инверсий, способствующих аккумуляции загрязняющих веществ, приходится на май (64%), август (66%), сентябрь (59%) и февраль (55%); минимум же – на январь (18%), декабрь (19%) и ноябрь (21%) [120]. При слабых ветрах характер движения воздушных масс определяется возникновением «острова тепла», вследствие которого над городом возникает небольшая депрессия. Анализ повторяемости слабых ветров (0-1 м/с) показывает, что максимум штилей наблюдается летом, минимум – зимой и весной. Наиболее часто слабые ветры наблюдаются в южной, низменной части города. В центре города и в северной его части, как правило, слабые ветры проявляются реже.

Влияние города распространяется и на режим осадков. Наибольший эффект наблюдается в 15-55 км в подветренной стороне от городского центра, т.к. облака, образующиеся в результате подъема воздушных масс, при наличии «острова тепла» и гигроскопических частиц промышленных выбросов, могут быть снесены в эту часть города. Осадки уменьшают значения концентраций загрязняющих веществ за счет вымывания техногенных примесей, причем, наибольшая интенсивность осадков отмечается летом (июль, август) и в декабре; минимальная – в апреле и сентябре.

Почвенный покров в пределах города и прилегающей территории довольно пестрый. Преобладают черноземы различных типов (зональный тип – чернозем выщелоченный), которые часто прерываются массивами дерново-подзолистых и серых лесных почв на субстрате легкого механического состава. Фрагменты природного комплекса представлены в основном лесными массивами, плотность которых выше в северном секторе города (в радиусе до 15 км от границ застройки, где леса занимают до 20 % площади городского округа), главным образом вдоль рек Воронеж и Усмань. Это в основном дубравы и сосновые леса. Наименьшая площадь озеленения – в левобережной промышленной части города. По данным генерального плана города площадь зеленых насаждений общего пользо-

вания ниже нормативной величины почти вдвое и составляет 5,1 кв. м на человека [40].

Растительный покров застроенной части города отличается неустойчивостью к техногенным воздействиям и потерей способности природных сообществ к самовозобновлению [37]. Именно это и стало главной причиной господства в границах города фитоценозов, состоящих из рудеральных видов. Доминируют формации мятликовая, пырейная, одуванчиковая, птичьегоорцевого, циклахеновая, полынная. Фитоценозы промышленных предприятий имеют общее проективное покрытие 35-50 %, видовую насыщенность 4-7 видов, из которых 85 % рудеральных.

Природоподобные растительные сообщества сконцентрированы лишь в садово-парковых массивах. Древесно-кустарниковый состав их упрощен. В травянистом покрове чаще других видов произрастает мятлик узколистный, пырей ползучий, костер безостый, одуванчик лекарственный, горец птичий.

Воронеж относится к числу городов, в границах которого получили распространение основные характерные ландшафты Центрального Черноземья на уровне местностей.

Так, плакорные местности занимают центральную часть Доно-Воронежского междуречья. В целом ровная, слегка волнистая из-за внедряющихся сюда верховьев балок поверхность благоприятна для городского строительства. Единственным негативным моментом здесь выступает суффозия. Песчано-глинистые породы плакоров провоцируют образование верховодки, в том числе из-за утечки воды из городских коммуникаций. Переизбыток увлажнения грунтов приводит к появлению просадок и даже провалов, что может угрожать деформациями сооружений [37]. Склоновые местности приурочены к правому долинному склону р. Воронеж. Возвышающийся над урезом воды водохранилища на 57 м крутой склон расчленен системой коротких логов, между которыми образуются уступы в виде Чернышевского и Бархатного бугров, Университетской и Мясной горы. Террасовые местности в городе распространены на левобережье и на юго-западной окраине Воронежа, обращенной к Дону. Застроены лишь первые две песчаные террасы Левого берега. Аквальная местность совпадает с зеркалом воды водохранилища, которое представляет собой мелководный водоем руслового типа.

Существование в городе различных по морфологической структуре ландшафтов, таких как плакоры, склоны, надпойменные террасы и водного зеркала водохранилища на месте поймы открывает перед градостроителями исключительно благоприятные возможности реализовать идеи ландшафтной архитектуры.

Современный Воронеж – индустриально развитый город, включающий шесть муниципальных районов. В правобережной части расположены Центральный, Ленинский, Коминтерновский и Советский районы, на левом берегу Воронежского водохранилища – Левобережный и Железно-

дорожный. В центральной части города наибольшее развитие получили административно-селитебные зоны застройки преимущественно 50-60-х гг. прошлого века, которые окружены прерывистым кольцом промышленных предприятий. С 70-х годов начало формироваться внешнее функциональное кольцо, представленное жилыми микрорайонами. В настоящее время непосредственно застройкой занято около 20 тыс. га. Жилой фонд составляет около 17 млн. кв. м жилой площади, 80 % которой приходится на многоэтажную, а 20 % – на низкоэтажную застройку.

В пределах границ городской черты Воронеж занимает около 600 км<sup>2</sup>, непосредственно под застройкой – около 200 км<sup>2</sup>. В составе жилого фонда соотношение многоэтажной и низкоэтажной застройки составляет около 80% на 20%. Площадь промышленных и коммунально-складских зон – около 7% территории.

В структуре города, в исторической центральной его части, отчетливо прослеживается общественно-деловой центр. Наибольшее развитие здесь получили административно-селитебные зоны застройки преимущественно 50-60-х гг. XX века, окруженные прерывистым кольцом промышленных предприятий. В последние десятилетия активно начало формироваться внешнее функционально-планировочное кольцо, представленное жилыми микрорайонами [41, 63].

На территории Воронежа исторически сложилось несколько промышленно-производственных комплексов. Промышленно-производственный район, расположенный в левобережной части города включает в себя комплекс основных промышленных объектов, таких как ТЭЦ-1, заводы по производству синтетического каучука, шин для автомобилей, авиационной техники. К другому крупному промышленному району относятся предприятия, расположенные в правобережной части: ТЭЦ-2 и заводы преимущественно машиностроительного, радиотехнического и строительного профилей [37].

Город имеет развитую транспортную сеть железнодорожных путей и автомагистралей. Железнодорожная линия пересекает правобережную часть города с северо-востока на юго-запад. В левобережной части другая железнодорожная линия пролегает в меридиональном направлении с севера на юг. Плотная сеть автодорог покрывает всю территорию города. Среди наиболее крупных автомагистралей выделяются проспекты Московский, Революции, Труда, улицы Плехановская, 9 Января, Ворошилова (на правобережье); Ленинский проспект, улицы Ленинградская, Димитрова, Остужева (левобережье).

Разветвленная и насыщенная городская инфраструктура, многочисленные промышленные предприятия машиностроительного, нефтехимического, энергетического профилей, загруженные автомагистрали и железнодорожное полотно, пересекающее как в широтном, так и в меридиональном (по левобережью) направлениях территорию города, создают предпосылки эколого-гигиенического неблагополучия. Наличие много-

численных низких источников вредных выбросов в атмосферный воздух преимущественно в трех промышленных районах города в сочетании с транспортной загруженностью создают потенциальную угрозу опасного загрязнения среды обитания.

Крупные автомагистрали, пролегая через плотно заселенные микрорайоны, в большинстве случаев не только не соответствуют современным нормативам транспортной инфраструктуры в городах, но и не в состоянии обеспечить достаточную пропускную способность, надежную защиту населения, проживающего вблизи крупных автомагистралей, от выхлопных газов и шума. Положение в последние годы особенно обострилось в связи с возросшим числом личного автотранспорта и маршрутных такси, буквально «наводнивших» город, который в часы пик перегружен «автомобильными пробками». Причем, плотная городская застройка продолжает наращиваться без адекватного развития инженерно-транспортной инфраструктуры, что приводит к ухудшению эколого-гигиенического состояния жилых микрорайонов и рекреационного потенциала пригородной зоны. Северный микрорайон разрастается, постепенно наступая на зеленую зону – северную дубраву, разделяющую аэропорт и городскую застройку.

Таким образом, одной из главных проблем городской инфраструктуры является сильная загруженность улично-дорожной сети и отсутствие резервных площадей для перспективного развития городской застройки. Это является одной из главных предпосылок формирования зон экологического риска.

Безусловно, концепция городского градостроительства предусматривает определенную модернизацию архитектурно-планировочной инфраструктуры. Так, Генплан г.Воронежа предусматривают развитие жилого фонда по двум направлениям: на свободных от застройки территориях, занятых в основном сельскохозяйственными угодьями, и реконструкция ветхих и малоценных строений прошлого века [40]. Кроме того, небольшие площади для застройки жилыми зданиями будут изысканы при выносе из центральной части города отдельных промышленных предприятий (асфальтобетонных заводов, ряд автотранспортных предприятий и др.). Однако, эти меры реконструкции города могут дать эффект лишь в отдаленной перспективе, а в настоящее время ситуация вызывает беспокойство: наличие рассредоточенной разноэтажной застройки с элементами совмещения селитебной, промышленной и транспортной инфраструктуры без четкого градостроительного зонирования приводит к формированию очагов техногенного загрязнения городской среды обитания.

Следует, однако, отметить и наметившиеся позитивные тенденции. Так, в экологическом рейтинге почти сотни городов России 2013 года столица Воронежской области занимает высокое 5 место [60]. Рейтинг составляется ежегодно по данным, предоставляемым администрациями субъектов Российской Федерации, проходящим техническую проверку и анализ. Министерством природных ресурсов и экологии Российской Фе-

дерации разработана методика, в основе которой лежат 7 критериев: воздушная среда, водопотребление и качество воды, обращение с отходами, транспорт, использование территорий, энергопотребление, управление воздействием на окружающую среду.

Получение соответствующих сведений требует организации в городах систем экологического мониторинга состояния окружающей среды. В городе Воронеже наблюдение за состоянием окружающей среды осуществляется специализированными организациями Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) и Воронежским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (филиал ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»).

Этими ведомствами проводятся мероприятия, предусматривающие установление количественного и качественного состава выбрасываемых загрязняющих веществ, степени их рассеивания, качества топлива автотранспорта, зон повышенного загрязнения окружающей среды [59, 60]. Однако, характерным признаком деятельности этих организаций является недостаточная техническая оснащенность лабораторий и пунктов наблюдения, ведомственная разобщенность и, как следствие, - низкая эффективность процедур обработки и обмена информацией. Таким образом, при наличии ряда организаций, осуществляющих мониторинг состояния отдельных сред, органы исполнительной власти Воронежской области практически не имеют оперативной и полной картины о состоянии окружающей среды в целом. Принятие же экологически обоснованных управленческих решений, направленных на реализацию политики рационального природопользования и природоохранной деятельности, невозможно без оценки реального состояния окружающей среды, полученного на основании мониторинговых наблюдений [155].

Таким образом, для эффективного функционирования системы экологического мониторинга в Воронеже требуется координирование деятельности региональных природоохранных ведомств и обеспечение их техническими средствами, способствующими интеграции деятельности. Это может быть осуществлено посредством разработки и внедрения единой программно-информационной среды на основе геоинформационных технологий. В такой системе необходимо учесть весь комплекс факторов, оказывающих неблагоприятное воздействие на городскую среду, и критериев ее интегральной оценки.

### **3.2. Источники техногенного загрязнения городской среды**

Основными источниками антропогенного загрязнения города являются промышленные предприятия, автотранспорт, инженерные сети,

коммунальные и энергетические объекты, строительные объекты. Индустриальная база Воронежа представлена в основном объектами теплоэнергетики, а также предприятиями машиностроения, химической, пищевой и строительной индустрии. Суммарно промышленно-коммунальные зоны составляют 7,2 % от общей территории застройки города.

Основной вклад в загрязнение воздушного бассейна по общей эмиссии ЗВ вносят выбросы от автотранспорта (более 85 %). На территории города зарегистрировано более 300 тысяч единиц транспортных средств, в том числе 2551 единиц грузового автотранспорта, приписанных к предприятиям и организациям города [61].

На территории города исторически сложилось несколько промышленно-производственных комплексов. Крупнейшим из них является Левобережный промышленный район, включающий ТЭЦ-1, ОАО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод», АООТ «ВАСО», ДАОЗТ «Воронежстальмост». К числу достаточно крупных промышленных комплексов относится Коминтерновский (ОАО «ВЭКС», АО «Электросигнал», АО «Воронежтяжмехпресс» и др.), Северо-Восточный, Юго-западный и Южный промышленные узлы. Быстро формируются новые промышленные узлы в пос. Придонской, на проспекте Патриотов, в южной части Левобережного района. Причем ранее построенные на окраине Воронежа промышленные предприятия в результате активного городского развития оказались в городской черте. Дисперсные включения коммунально-складских и производственных участков в городскую структуру создают ситуацию, в которой практически все жилые территории находятся в зоне их влияния, а около 6000 жителей до сих пор проживают в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий, что недопустимо в соответствии с действующими санитарно-гигиеническими нормативами [67].

В границах санитарно-защитных зон 1315 промышленных предприятий г. Воронежа по данным за 2013г. проживает 5697 человек (2012г. – 6094 человек) [61]. В 2013г. численность населения, проживающего в санитарно-защитных зонах, сократилась на 542 человека, что связано, прежде всего, с работой предприятий по установлению окончательных размеров санитарно-защитных зон. В 2013г. главным государственным санитарным врачом Воронежской области принято решение о сокращении санитарно-защитных зон на 6 предприятиях города (ООО «Аэробус», ОАО «НИИЭТ», ИП Ударов, ВРЗ ОАО «ВРМ», ИП «К.И.Т.», ОАО «ДСК»).

По опубликованным данным Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Воронежской области, согласно информации из формы государственной статистической отчетности 2ТП (воздух) – «Сведения об охране атмосферного воздуха», в атмосферный воздух г. Воронежа от организованных (промышленных) источников поступает 343 загрязняющих вещества, общим объёмом выбросов около 10,5 тыс. т/год [173].

В структуре загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от организованных источников к 1 классу опасности относятся 17 веществ (5 %), ко 2 классу – 48 веществ (14 %), к 3 классу – 81 вещество (23,6 %), к 4 классу – 41 вещество (12 %); веществ, для которых приняты ОБУВ, – 156 (45,4 %) [173].

Основной вклад в общий объем выбросов от организованных источников вносят оксид углерода (28,01 %), диоксид азота (24,09 %), диоксид серы (10,96%), метан (7,16 %), оксид азота (4,35 %), зола углей (4,06 %), пыль неорганическая с содержанием SiO<sub>2</sub> 20-70% (2,44 %). По 1-2 % приходится на гексан, взвешенные вещества, уайт-спирит, бензин нефтяной, толуол, ксилол, спирт этиловый. На остальные 329 учитываемых веществ в совокупности приходится 4,13 %, при этом на каждое из них приходится от 0,000001 до 1,18 %. Вещества, совокупный вклад которых в валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу г.Воронежа составляет 95 % представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Объем и структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от организованных источников по данным формы «2ТП (воздух)»

Код	Вещество	Класс опасности	Выброс вещества, т/год	Удельный вес выброса в общем объеме, %	Ранг
337	углерода оксид	4	2940,127	28,01	1
301	азота диоксид	3	2843,616	27,09	2
330	ангидрид сернистый (серы диоксид)	3	1150,608	10,96	3
410	метан	4	751,511	7,16	4
304	азота оксид	3	456,723	4,35	5
3714	зола углей (20%<SiO <sub>2</sub> <70%)	-	426,129	4,06	6
2908	пыль неорганическая	3	256,267	2,44	7
403	гексан	4	224,616	2,14	8
2902	взвешенные вещества	3	177,386	1,69	9
2752	уайт-спирит	4	176,423	1,68	10
2704	бензин нефтяной	4	175,361	1,67	11
621	толуол	3	164,969	1,57	12
616	ксилол	3	163,143	1,55	13
1061	спирт этиловый	4	157,436	1,50	14
	остальные учитываемые вещества (329 веществ)	-	432,685	4,13	-

Ведущая роль в загрязнении атмосферного воздуха принадлежит предприятиям производства транспортных средств, машиностроения и оборудования (ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество»), Воронежский механический завод – филиал государственного унитарного предприятия «Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева»), химической промышленности (ОАО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод»), теплоэнергетики (ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 ОАО «Квадра»); коммунального хозяйства (Правобережные очистные сооружения ООО «РВК-Воронеж», ООО «Левобережные очистные сооружения»).

В перечень приоритетных загрязняющих атмосферный воздух веществ по данным городского социально-гигиенического мониторинга включены:

- вещества, совокупный вклад которых в валовый выброс составляет около 70% (углерода оксид, азота диоксид, серы диоксид, взвешенные вещества);

- неорганические вещества, вероятно входящие в пылевую фракцию (пыль неорганическая, взвешенные вещества, зола углей с содержанием  $\text{SiO}_2$  от 20 до 70%), на которые имеются аттестованные методы лабораторного контроля, включенные в область аккредитации Испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» (свинец, оксид марганца, оксид железа, оксид хрома VI, меди оксид);

- вещества, обладающие канцерогенным действием (формальдегид, свинец, сажа, хром (VI), 1,3-бутадиен, стирол) на которые имеются аттестованные методы лабораторного контроля, включенные в область аккредитации Испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области».

Кроме того, ряд веществ был обоснованно включен в перечень по другим критериям. В частности, основанием включения фенола (гидроксibenзола) в список контролируемых веществ являлась рекомендация организации мониторинга данного загрязнителя в соответствии с «короткими списками» приоритетных химических веществ в атмосферном воздухе населенных мест, рекомендованных в ЕС и РФ. В региональный список контролируемых веществ также включены 1,3-бутадиен, стирол, акролеин, присутствующие в выбросах крупнейшего производства синтетических каучуков – ОАО «Воронежсинтезкаучук», и озон с учетом озонового загрязнения – проблемы крупных южных мегаполисов с интенсивным автомобильным движением, провоцирующим образование озона в опасных для человека концентрациях в присутствии выхлопов автотранспорта, промышленных выбросов и фотохимических реакций в ясную, безветренную погоду [173].

Самым неблагоприятным районом по суммарному объёму промышленных выбросов является Левобережный район города. Только ТЭЦ-1 (ВОГРЭС) ежегодно выбрасывает в воздушную среду города более 3 тыс. тонн загрязняющих веществ. В выбросах ОАО «Воронежсинтезкаучук», достигающих более 700 тонн/год, содержатся токсичные органические вещества, в числе которых стирол, толуол, олигомеры бутадиена, обладающие канцерогенным эффектом. В целом на долю Левобережного района приходится 36% от общего объёма воздушных выбросов промышленности города.

Вторым наиболее весомым «вкладчиком» в загрязнение воздушной среды города является Коминтерновский промышленный район, доля которого составляет почти четверть объёма промышленных выбросов (24,0%), на третьем месте – Советский район (14,6 %) и Железнодорожный район (13,8 %). На долю Ленинского района приходится 8,5 % выбросов, а Центральный район является минимальным вкладчиком в загрязнение атмосферы, поставляя в воздушный бассейн около 2,9 % выбросов от стационарных источников.

Низкое качество воздушной среды характерно для наиболее напряжённых городских магистралей города и примагистральных участков, в числе которых Московский пр-т, Ленинский пр-т, ул. 9-е Января, ул. Ворошилова и др. Наивысшая степень загрязнённости наблюдается на участках улиц, имеющих значительные уклоны (Петровский спуск по ул. Степана Разина, участки ул. 20-летия Октября на спуске к ВОГРЭСовскому мосту, ул. Грамши), а также на пересечении наиболее «оживлённых» улиц города (пересечение ул. 9-е Января и Машиностроителей, ул. Кольцовской и Плехановской, участок между перекрёстками улиц 20-летия Октября, ул. Кирова и ул. Ворошилова, ул. Кольцовская и др.).

Относительно благополучными по состоянию воздушной среды могут быть признаны три микрорайона: а) Северный жилой район; б) жилая зона в микрорайоне «Березовая роща – Агроуниверситет»; в) юго-западный сектор города в районе улиц Южно-Моравская - О. Дундича - Перхоровича. Эти преимущественно «спальные» микрорайоны лишены промышленных узлов; кроме того они характеризуются хорошими условиями самоочищения: удачно расположение микрорайонов относительно промышленных зон как по рельефу, так и ветровому режиму (вне зоны промышленного воздействия), зелёные насаждения, в которые «встроена» застройка. Запылённость воздуха снижается и над гладью Воронежского водохранилища, которое меняет биоклиматические параметры воздушной среды на локальном уровне и является естественным проводником воздушных масс со стороны северных лесных массивов. В последние годы, однако, качество воздушного бассейна и экологическая ёмкость в целом Северного жилого района снижается на фоне все возрастающей автомоби-

лизации и прогрессирующей застройки вдоль Московского проспекта.

Основными загрязнителями городской атмосферы считаются сернистый ангидрид, на долю которого приходится 24% от общего объема выбросов, оксид углерода и диоксид азота (по 23,5%), пыль неорганическая (16%). Параметры качества воздушного бассейна представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Доля проб атмосферного воздуха в жилой застройке г. Воронеж не соответствующих гигиеническим нормативам (%) [61]

Наименование показателя	2011	2012	2013
Доля проб атмосферного воздуха не соответствующих гигиеническим нормативам (%)	2,0	3,8	1,9
Доля проб атмосферного воздуха, превышающих 5 ПДК (%)	0	0	0,03
Доля проб атмосферного воздуха не соответствующих гигиеническим нормативам в жилой застройке в зоне влияния промышленных предприятий (%)	1,5	1,9	1,6
Доля проб атмосферного воздуха не соответствующих гигиеническим нормативам в жилой застройке в зоне влияния промышленных предприятий, превышающих 5 ПДК (%)	0	0	0,06
Доля проб атмосферного воздуха не соответствующих гигиеническим нормативам в жилой застройке в зоне влияния автомагистралей (%)	2,3	5,7	2,1
Доля проб атмосферного воздуха не соответствующих гигиеническим нормативам в жилой застройке в зоне влияния автомагистралей, превышающих 5 ПДК (%)	0	0	0

Качество воздушной среды остается относительно стабильным, причем превышений более 5 ПДК по отдельным поллютантам практически не возникает, за исключением стирола (по ул. Героев Стратосферы вблизи ОАО «Воронежскинтезкаучук»), что свидетельствует об умеренном загрязнении окружающей среды в целом. В 2013г. регистрировались превышения ПДКс.с. 8-ми приоритетных веществ: азота диоксида, взвешенных веществ, фенола, формальдегида, серы диоксида, углерода оксида, стирола, озона.

Однако, за 3 последних года наблюдается рост доли проб, превышающих ПДК в 2,1-5 раз с 1,6 % в 2011г. до 2,6 % в 2013г. (таблица

3.3). Увеличение удельного веса проб, не отвечающих гигиеническим нормативам в данном диапазоне, регистрируется по азота диоксиду, взвешенным веществам, фенолу [61].

Таблица 3.3

Доля проб атмосферного воздуха г.Воронежа, превышающих от 2 до 5 ПДКс.с. по приоритетным веществам (%)

Наименование загрязняющих веществ	Годы		
	2011	2012	2013
Азот диоксид	4,0	13,0	14,0
Взвешенные вещества	2,0	3,0	5,0
Фенол	3,0	3,0	5,0
Озон	4,0	0	1,0
Серы диоксид	1,0	1,0	0
Углерода оксид	0	1,0	0
Формальдегид	2,0	1,0	0
Меди оксид	5,0	0	0
Всего	1,6	1,9	2,6

По данным санитарно-эпидемиологической службы, ориентировочная численность населения города, подверженного воздействию загрязняющих атмосферный воздух веществ в концентрациях, периодически превышающих ПДК, составляет 330 тыс. человек (32,8 % населения), что иллюстрирует табл. 3.4.

Таблица 3.4

Количество населения, подверженного повышенным уровням загрязнения атмосферного воздуха (1,1-5 ПДК)

Вещество	Годы		
	2011	2012	2013
Азота диоксид	250 000	330 000	290 000
Взвешенные вещества	250 000	205 000	190 000
Углерода оксид	165 000	170 000	140 000
Фенол	85 000	145 000	125 000
Серы диоксид	125 000	80 000	45 000
Озон	80 000	0	40 000
Формальдегид	80 000	45 000	20 000
Стирол	20 000	40 000	20 000
Меди оксид	40 000	0	0

Ранжирование загрязняющих веществ по количеству экспонированного населения показало, что самый высокий ранг занимает азота диоксид, на втором месте находятся взвешенные вещества, на третьем – угле-

рода оксид [61]. Особую потенциальную опасность представляет формальдегид, поскольку это вещество с установленным канцерогенным эффектом, но концентрации которого имеют тенденцию к снижению, что снижает риск аэротехногенного загрязнения для населения города.

Наряду с атмосферным фактором экологическому контролю подвержена и такая депонирующая среда как почва. В ходе изучения состояния почв Воронежа, осуществляемого специалистами Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области и исследований учёных Воронежского госуниверситета, выявлено загрязнение почвогрунтов тяжёлыми металлами (медь, цинк, марганец, кадмий, никель, кобальт, свинец, хром) в количествах, превышающих ПДК, на отдельных, в основном примагистральных участках. В наиболее неудовлетворительном состоянии – земельные участки, примыкающие к улицам с активным движением легкового и грузового транспорта [180].

По данным санитарно-эпидемиологической службы за период 2011-2013гг. удельный вес проб почвы на территории г.Воронежа, в том числе в селитебной зоне, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим и микробиологическим показателям, имеет тенденцию к снижению (табл. 3.5, 3.6) [61].

Таблица 3.5

Доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям (%)

Территориальная единица	Годы		
	2011	2012	2013
Всего в г. Воронеже	13,2	11,4	8,3
В том числе, селитебная зона	14,2	20,7	13,4

Таблица 3.6

Удельный вес проб почвы, не отвечающих требованиям гигиенических нормативов по микробиологическим показателям (%)

Территориальная единица	Годы		
	2011	2012	2013
Всего в г. Воронеже	13,3	11,4	2,9
В том числе, селитебная зона:	13,4	20,7	4,0

Одной из причин химического загрязнения почвы является аккумуляция токсичных веществ в почве селитебных территорий, расположенных вблизи источников промышленных выбросов и транспортных артерий.

Таким образом, несмотря на наличие позитивных тенденций к улучшению качества воздушной среды и состояния почвы, экологические риски сохраняются и имеют территориально дифференцированный характер в пределах города в связи с природно-планировочной организацией и современной промышленно-транспортной инфраструктурой. Ведущим фактором химического загрязнения городской среды является аэротехногенное загрязнение.

### **3.3. Формирование полей аэротехногенного загрязнения при различном метеорологическом состоянии атмосферы**

Приоритетная роль аэрогенного фактора в формировании общественного здоровья отмечена в предшествующих региональных медико-географических исследованиях в Воронежском регионе [37, 110, 178]. В то же время не проводилось детального изучения особенностей сезонной динамики загрязнения воздушного бассейна с учетом влияния функционально-планировочной структуры города и пространственной структуры атмосферы на формирование полей аэрогенного загрязнения. Анализ загрязнения воздушного бассейна города осуществлялся в основном с учетом использования метеорологических параметров у поверхности земли.

Необходимость использования данных вертикальной структуры атмосферы с целью прогнозирования экологической обстановки обоснована в работах А.В. Назаренко [120] и Л.М. Акимова с соавт. [4] на примере города Воронежа. При этом установлено, что при оценке влияния на концентрацию загрязнения наиболее информативными оказались температурно-ветровые характеристики атмосферы: загрязнение атмосферы обычно возрастало с ростом температуры воздуха и снижалось в периоды усиления скорости ветра, что статистически подтверждено достоверной корреляцией, более устойчивой для скорости ветра.

Для выявления тесноты связи индекса ИЗА с состоянием атмосферы нами был применен корреляционный анализ. Первоначально были рассчитаны ежедневные среднесуточные вертикальные градиенты температуры за 2012 год в сроки наблюдений 4.00, 7.00, 13.00, 19.00 часов, на различных уровнях от поверхности земли (1000гПа) до средней тропосферы (АТ – 500гПа). Объем выборки составил 1460 наблюдений. Также проведен анализ наличия задерживающих слоев атмосферы и расчет среднего значения относительной влажности. В этом случае объем выборки средних значений параметров составил 365 наблюдений, для которых достоверный порог значимости коэффициента корреляции ( $r$ ) равен 0,12. Следует отметить, что при расчете вертикального градиента температуры в случае инверсии, знак градиента отрицательный. Результаты корреляционного анализа параметров атмосферы и ИЗА представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7

Корреляция ИЗА с параметрами состояния атмосферы  
на различных уровнях

Параметр	Градиент				Инверсия и изотермия				Влажность				
	Слой атмосферы	1000-925	1000-850	1000-700	1000-500	1000-925	925-850	850-700	700-500	1000-925	1000-850	1000-700	1000-500
Коэффициент корреляции с ИЗА		<b>-0,29</b>	-0,06	0,07	0,05	<b>0,38</b>	<b>-0,16</b>	0,06	0,04	<b>-0,51</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,41</b>

Из таблицы следует, что значимая величина корреляционной связи ИЗА с вертикальным градиентом температуры наблюдается в слое атмосферы от поверхности земли до 700м и составляет  $r = -0,29$ .

Вертикальный градиент температуры  $\gamma$  оценивается в  $^{\circ}\text{C}$  на каждые 100м и косвенно характеризует интенсивность вертикальных движений воздуха, способствующих его перемешиванию и уменьшению индекса ИЗА у поверхности земли. В зависимости от величины вертикального градиента температуры различают три состояния атмосферы: устойчивое ( $\gamma \leq 0,65^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ), относительно-устойчивое состояние ( $0,65 < \gamma \leq 1,0^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ) и абсолютно неустойчивое состояние ( $\gamma > 1,0^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ). Степень устойчивости атмосферы определяет интенсивность вертикальных токов воздуха, причем, чем неустойчивее состояние атмосферы (выше значение  $\gamma$ ), тем интенсивнее вертикальные потоки воздуха. Поэтому знак величины корреляционной связи в данном случае отрицательный. Годовой и суточный ход вертикального градиента температуры представлен на рисунке 3.1.

Из анализа рисунка 3.1 следует, что вертикальный градиент температуры зависит от составляющих теплового и радиационного баланса атмосферы, в первую очередь, от притока солнечной радиации. В ночное время ( $t=00z$ ) на протяжении всего года наблюдается устойчивое состояние атмосферы с незначительными величинами вертикального температурного градиента, близкими к нулю.

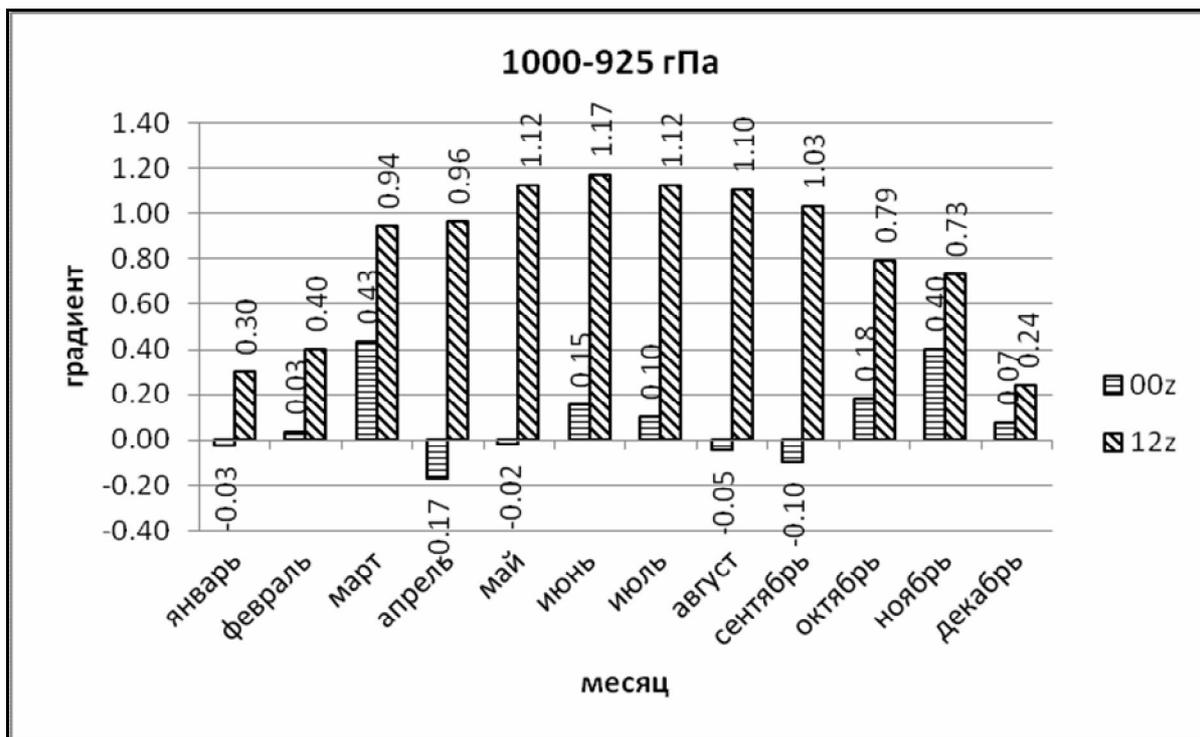
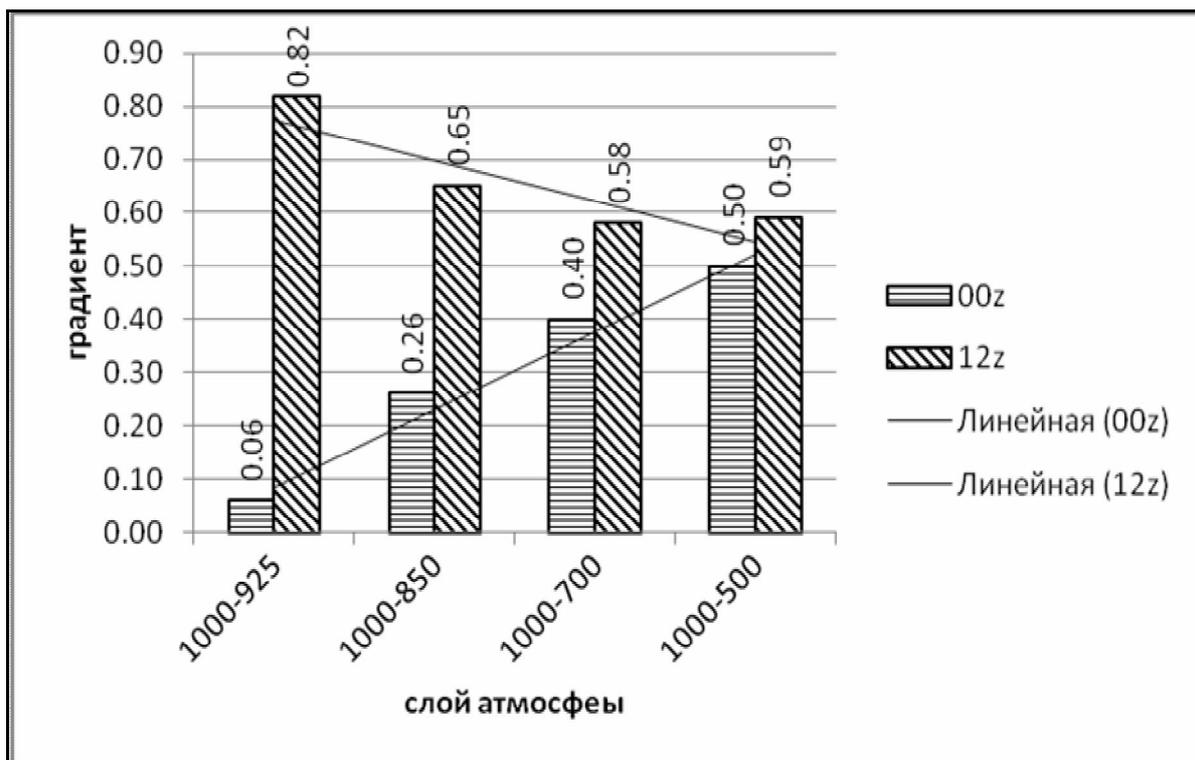


Рис. 3.1. Годовой ход средних месячных значений градиента температуры в ночное и дневное время

В январе, апреле, мае, августе и сентябре среднемесячное значение вертикального температурного градиента имеет отрицательный знак, что свидетельствует о преобладании инверсий в ночное время в эти месяцы. Причем, в ночное время в приземном 700-метровом слое атмосферы не наблюдается каких-либо значимых вертикальных токов, что обусловлено эффективным излучением. Незначительное увеличение среднемесячного значения вертикального температурного градиента наблюдается в марте ( $\gamma = 0,43 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{м}$ ) и в ноябре ( $\gamma = 0,40 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{м}$ ), что объясняется сезонной перестройкой синоптических процессов в атмосфере.

В дневное время среднемесячное значение вертикального температурного градиента от месяца к месяцу значительно увеличивается, особенно в теплый период (с мая по сентябрь) от  $\gamma = 0,24 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{м}$  в декабре до  $\gamma = 1,17 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{м}$  в июне. В этот период над Воронежем наблюдается неустойчивое состояние атмосферы, обусловленное радиационным фактором. Характер изменения вертикального температурного градиента на различных слоях атмосферы в дневное и ночное время суток представлен на рисунке 3.2.

Из анализа данных рисунка 3.2 следует, что характер изменения величины градиента температуры с высотой имеет явно выраженный суточный ход и свои особенности. В ночное время наименьшие значения градиента температуры наблюдаются у поверхности земли до высоты 700 м ( $\gamma = 0,06^\circ\text{C}/100\text{м}$ ).



*Рис. 3.2. Суточные изменения градиента температуры на различных высотах*

С увеличением высоты слоя атмосферы значение величины градиента увеличивается, достигая максимума в средней тропосфере. Такое поведение вертикального температурного градиента обусловлено радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности и прилегающего к ней воздуха. В дневное время приток солнечного тепла к поверхности земли и ее нагрев способствуют увеличению величины вертикального градиента температуры в нижних слоях атмосферы и ослабление его с высотой.

Известно, что при наличии инверсии в приземных слоях атмосферы концентрация загрязняющих веществ выше в 1,7 – 3,6 раза, чем при конвекции [4]. Согласно таблице 3.7 теснота связи между индексом ИЗА и повторяемостью инверсий, составляет  $r=0,38$ , что более чем в 2 раза превышает порог значимости для данного объема выборки. В таблице 3.8 представлена вероятность появления инверсионных слоев на различных высотах в ночное и дневное время суток.

Данные в представленной таблице говорят о том, что в ночное время с вероятностью 62,6 % наличие инверсионных слоев наблюдается в нижнем 700-метровом слое атмосферы, что вызвано большей плотностью здесь холодного воздуха. С увеличением высоты вероятность появления инверсий уменьшается до 12,5 % (высота 5,5 км).

Таблица 3.8

Повторяемость инверсии и изотермии на различных слоях атмосферы  
днем и ночью

Время	Слой атмосферы (гПа)			
	1000-925	925-850	850-700	700-500
00z	62,6	28,8	32,4	12,5
12z	17,9	32,6	33,7	16,1

Относительно высокий процент появления инверсий, как в дневное, так и в ночное время (33,7 % и 32,4 % соответственно) на высотах 1,5 – 3,0 км (850-700гПа) объясняется средней высотой атмосферных фронтов. В дневное время у поверхности земли до высоты 700 метров вероятность появления инверсий составляет 17,9 % и наблюдается в основном в холодное время года, о чем свидетельствуют данные вероятности появления инверсий, представленные на рисунке 3.3.

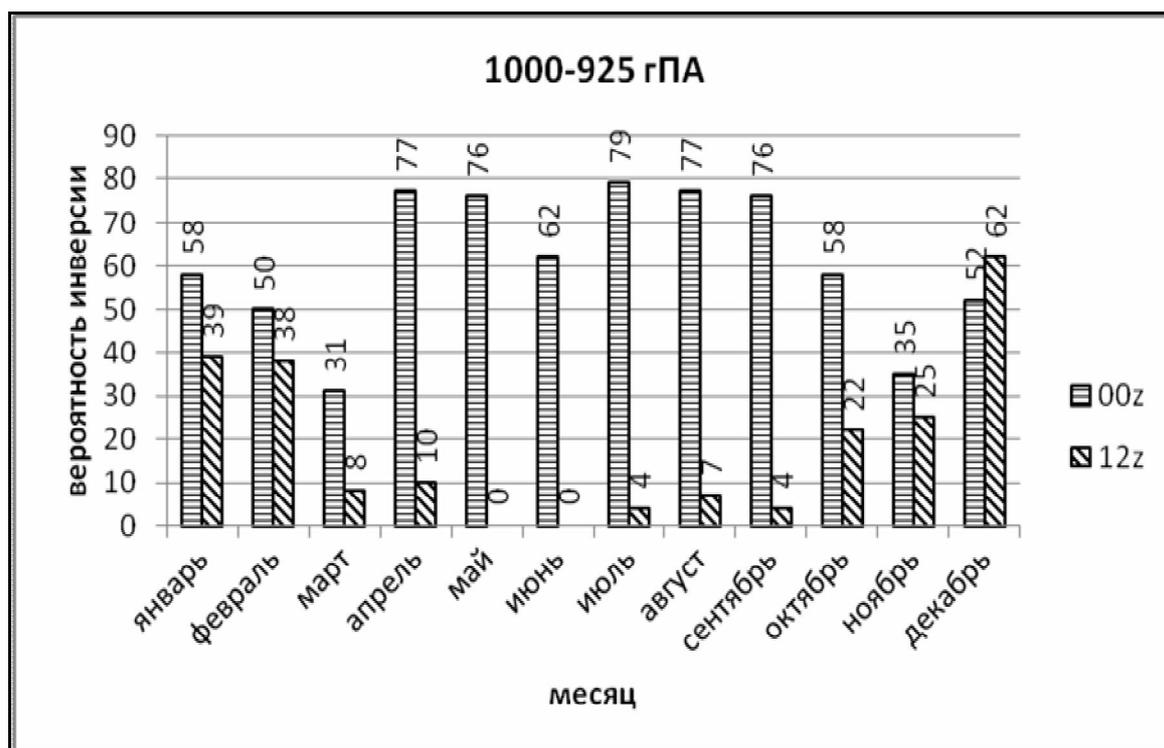


Рис. 3.3. Годовой ход вероятности появления инверсий

Данный рисунок наглядно показывает, что в дневное время суток с марта по сентябрь включительно вероятность появления инверсий в приземном слое атмосферы не превышает 7-10 %, а в мае и июне они не наблюдались совсем. Максимальная вероятность появления инверсий в Воронеже в дневное время наблюдается в декабре и составляет 62 %. Преобладающее (с вероятностью более 70 %) появление инверсий в нижнем

700-метровом слое атмосферы ночью наблюдается в теплый период с апреля по сентябрь. Это объясняется преобладанием антициклонального типа погоды в этот период времени над Воронежем.

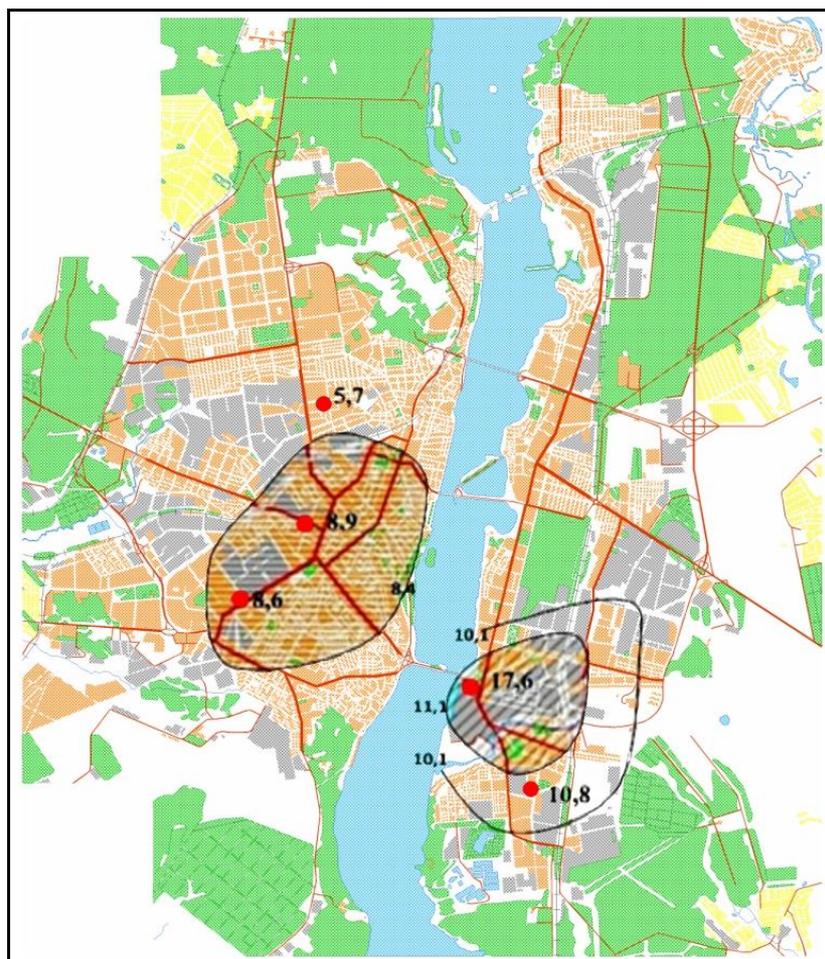
Для изучения особенностей сезонной динамики загрязнения воздушного бассейна с учетом влияния функционально-планировочной структуры города и пространственной структуры атмосферы на формирование полей аэрогенного загрязнения были рассчитаны средние за месяц значения ИЗА в каждом пункте наблюдения, представленные в таблице 3.9.

Таблица 3.9

Среднемесячные значения ИЗА Воронежа

Месяц	ИЗА				
	пост 1	пост 7	пост 8	пост 9	пост 10
январь	8,9	15,4	7,7	<b>5,1</b>	7,6
февраль	10,3	16,1	7,8	5,6	8,3
март	9,0	14,9	6,6	5,0	7,0
апрель	13,1	16,4	9,0	6,3	9,0
май	12,3	17,9	9,4	6,5	9,2
июнь	11,3	19,5	9,3	6,2	9,4
<b>июль</b>	13,6	<b>22,9</b>	10,4	6,3	11,1
август	10,8	19,2	9,2	5,6	9,7
<b>сентябрь</b>	13,0	<b>22,2</b>	10,5	6,4	11,9
октябрь	8,7	15,6	7,7	4,9	7,8
ноябрь	8,4	13,1	7,1	<b>4,8</b>	7,1
декабрь	10,3	17,3	8,3	5,8	8,9
Среднее годовое	10,8	17,6	8,6	5,7	8,9

Анализ данных таблицы 3.9 осуществлялся на основании критериев риска представленных в таблице 2.5. С учетом этого очевидно, что на посту 1 (ул. Ростовская, 44) в течение года степень загрязнения атмосферы на основании анализа индекса ИЗА «вызывала беспокойство». На посту 7 (ул. Лебедева, 2) значения индекса ИЗА во все календарные месяцы года превышали уровень опасности в 1,2-1,5 раза. На посту 8 (ул. Ворошилова, 30) состояние воздушного бассейна находилось на уровне «вызывающий опасение». Наиболее благоприятные условия качества воздуха наблюдались на посту 9 (ул. Л. Рябцевой, 51-Б), где значения индекса ИЗА в октябре – ноябре были в пределах «допустимый», в остальное время находились на уровне «вызывающий беспокойство». Значение ИЗА на посту 10 (ул. 9-е Января, 49) в течение года находятся в пределах «вызывающий опасение».



*Рис. 3.4. Пространственное распределение среднегодовых значений индекса ИЗА вблизи стационарных постов мониторинга г.Воронежа*

На рисунке 3.4 представлено пространственное распределение среднегодовых значений индекса ИЗА вблизи стационарных постов мониторинга атмосферы г.Воронежа.

Из рисунка видно, что состояние загрязнения воздушного бассейна в левобережной части Воронежа, особенно в районе поста 7, вызывает опасение, а значение индекса ИЗА в среднем в 1,3 раза превышает уровень «опасный». Значения индекса в центральной части правобережья Воронежа значительно меньше, чем на левом берегу, но в то же время «вызывают опасение» ( $7 < \text{ИЗА} < 13$ ). Наиболее благоприятное состояние воздушного бассейна наблюдается в северной части города, где значение среднегодового индекса ИЗА = 5,7 «вызывает беспокойство», но при этом незначительно превышает «допустимый» уровень (ИЗА = 4,0).

Особый интерес представляют случаи экстремальных значений ИЗА, наблюдающиеся в различные месяцы года. На рисунке 3.5 представлен годовой ход минимальных и максимальных значений ИЗА в календарных месяцах года на примере поста наблюдения 7.

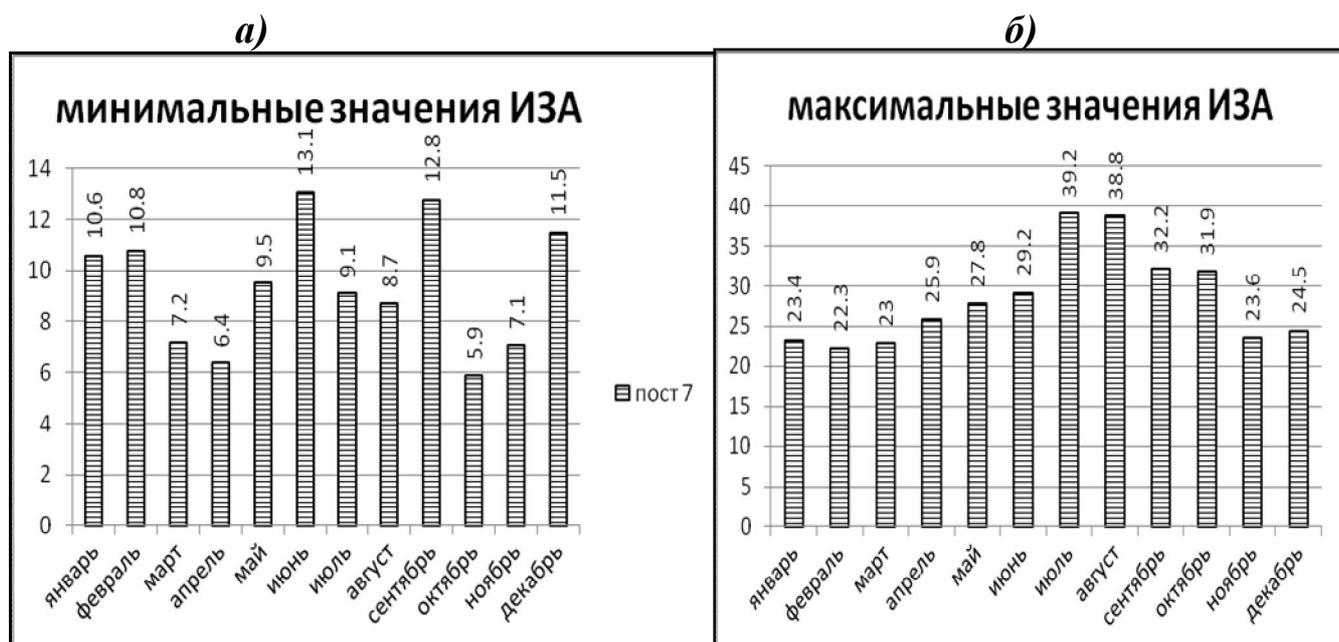


Рис. 3.5. Годовой ход ИЗА  
 а) минимальные ИЗА, б) максимальные ИЗА

Анализ рисунка позволяет сделать вывод о том, что в годовом ходе минимальных значений ИЗА (рис. 3.5а) не наблюдается какой-либо значимой закономерности. Наименьшие значения ИЗА наблюдаются в переходные сезоны года весной (март - апрель) и осенью (октябрь - ноябрь). Следует отметить и тот факт что, хотя значения ИЗА в эти периоды времени и являются наименьшими за весь рассматриваемый период, однако они превышают «предельно допустимый» уровень ИЗА (4,0). В соответствии с таблицей 3.9 в этот период значения ИЗА «вызывают беспокойство» (ИЗА в октябре – 5,9; в апреле – 6,4).

В максимальных значениях ИЗА (рис. 3.5б) наблюдается четко выраженный годовой ход с минимумами в холодное время, в особенности в феврале (ИЗА = 22,3), и монотонным ростом значений индекса ИЗА до 39,2 в июле. Учитывая, что «опасный» уровень ИЗА составляет 14,0, становится очевидным более чем 2-х кратное превышение уровня опасности концентрации загрязнений в летний период.

Для выявления связи ИЗА с вертикальным температурным градиентом в таблице 3.10 представлены минимальные за каждый календарный месяц года значения ИЗА на каждом пункте наблюдения и соответствующие им значения градиента.

Во всех случаях наименьшие значения индекса ИЗА наблюдались при «неустойчивом» состоянии атмосферы, т.е. значения вертикального градиента температуры в приземном 700-метровом слое атмосферы, превышали уровень сухоадиабатического градиента ( $\gamma = 1,0^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ). Данное положение свидетельствует о сильной конвекции, т.е. мощных восходя-

ших движениях воздуха, способствующих рассеянию загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы.

Таблица 3.10

Минимальные месячные значения ИЗА

Месяц	пост 1	пост 7	пост 8	пост 9	пост 10	Градиент, (°С/100м)
	ИЗА	ИЗА	ИЗА	ИЗА	ИЗА	
январь	5,3	10,6	3,4	3,7	3,8	0,92
февраль	6,3	10,8	4,9	4,2	6,2	1,09
март	4,6	7,2	3,7	3,0	3,1	1,30
апрель	6,5	6,4	4,4	3,7	4,0	1,30
май	4,3	9,5	3,7	3,8	4,1	1,41
июнь	4,2	13,1	3,1	2,8	3,0	1,35
июль	4,6	9,1	3,1	3,4	3,5	1,25
август	4,3	8,7	3,9	3,4	4,0	1,52
сентябрь	6,1	12,8	5,0	4,2	5,6	1,40
октябрь	<b>2,8</b>	<b>5,9</b>	<b>2,5</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	1,17
ноябрь	5,1	7,1	3,8	3,1	4,0	1,13
декабрь	4,7	11,5	4,0	3,3	4,2	1,07

Для выявления влияния функционально-планировочной структуры города на формирование полей аэрогенного загрязнения на рисунке 3.6 представлено распределение среднегодового минимального значения ИЗА.

Как видно из рисунка 3.6, в правобережной части города минимальные значения ИЗА не превышают «допустимый» уровень индекса ИЗА = 4,0, в то время как в левобережной части, на посту 7, наблюдается значительно большее значение индекса (ИЗА = 9,4), что соответствует превышению уровня загрязнения атмосферы «вызывающий беспокойство» ( $5 < \text{ИЗА} < 6$ ). Такое распределение минимальных значений индекса ИЗА объясняется не только расположением промышленных объектов, но и особенностями ландшафта. Правобережная возвышенная часть города больше прогревается за счет углов наклона склонов и их западной экспозиции, что способствует усилению конвективных потоков воздуха по отношению к равнинной территории левобережья.

Особый интерес представляет анализ максимальных значений ИЗА в зависимости от устойчивости атмосферы. Анализ устойчивости атмосферы проводился в данном случае на трех различных уровнях атмосферы от поверхности земли до высот: 700, 1500 и 3000 м. Результаты максимальных месячных значений индекса ИЗА и вертикального температурного градиента в этот момент времени представлены в таблице 3.11.



Рис. 3.6. Среднегодовые минимальные значения ИЗА в пунктах наблюдений

Таблица 3.11

Максимальные значения ИЗА

Месяц	Значения ИЗА					Градиент, (°С/100м)		
	пост 1	пост 7	пост 8	пост 9	пост 10	1000-925	1000-850	1000-700
январь	12,5	23,4	10,3	7,8	11,5	<b>-1,17</b>	<b>-0,51</b>	<b>0,14</b>
февраль	15,5	22,3	11,2	8,8	11,0	<b>-1,43</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,15</b>
март	16,3	23,0	10,4	9,8	14,5	<b>-0,03</b>	0,39	0,61
апрель	18,9	25,9	15,2	9,5	13,5	<b>0,00</b>	0,41	0,50
май	20,8	27,8	15,1	10,1	15,4	0,68	0,70	0,66
июнь	19,1	29,2	14,7	<b>13,1</b>	17,6	0,82	0,83	0,65
июль	20,0	38,8	17,0	9,6	19,3	0,72	0,61	0,67
август	<b>20,4</b>	<b>39,2</b>	<b>19,2</b>	9,5	25,2	0,71	0,49	0,48
сентябрь	18,7	32,2	16,4	9,0	<b>34,0</b>	0,39	0,58	0,72
октябрь	17,2	31,9	14,5	7,2	14,8	<b>-0,34</b>	<b>-0,16</b>	0,21
ноябрь	11,8	23,6	10,8	6,2	11,4	0,03	0,20	0,23
декабрь	14,3	24,5	11,4	9,8	12,4	<b>-0,98</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,04</b>

Сопоставление данных по максимальным месячным значениям ИЗА и вертикального температурного градиента позволяет сделать вывод об увеличении индекса ИЗА в периоды мощных приземных инверсий, простирающихся до высоты 3,0 км. Величина отрицательных значений вертикального градиента температуры изменялась с высотой от  $\gamma = -1,43^{\circ}\text{C}/100\text{м}$  в слое атмосферы до 700 метров с уменьшением до  $\gamma = -0,15^{\circ}\text{C}/100\text{м}$  на 3,0 км. В теплый период, максимальные значения индекса ИЗА возникали при устойчивой стратификации атмосферы и уменьшении фактической величины вертикального градиента температуры с высотой от  $\gamma = 0,71^{\circ}\text{C}/100\text{м}$  до  $\gamma = 0,48^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ .



*Рис. 3.7. Автомобильная «пробка» на улице 9 Января (2014г.)*

Таким образом, вырисовывается определенная картина распределения поллютантов в пределах городской черты Воронежа. Максимальные показатели индекса загрязнения атмосферы отмечаются в пределах левобережного промышленно-производственного комплекса, что объясняется, как большой концентрацией расположенных в данном районе промышленных объектов, так и особенностями ландшафта (пониженная выровненная поверхность, с абсолютными отметками высот, не превышающими 130 метров, не способствующая усилению конвективных потоков воздуха). Также следует особо отметить территории, прилегающие к крупным транспортным автомагистралям как в левобережной, так и в правобережной частях города. Автомобильные «пробки» (рис. 3.7) усиливают загрязнение атмосферы в прилегающих микрорайонах.

Во всех частях города ситуация значительно усугубляется в теплое время года, когда наблюдаются максимальные значения индекса ИЗА вследствие устойчивой стратификации атмосферы (определяемой значениями вертикального градиента температуры), препятствующей восходящим движениям воздуха, которые, в свою очередь, способствуют рассеянию загрязняющих веществ. И напротив, минимальные значения индекса ИЗА наблюдаются при «неустойчивом» состоянии атмосферы, т.е. когда значения вертикального градиента температуры в приземном слое превышают  $1,0^{\circ}\text{C}$  на 100м, что приводит к мощному вертикальному движению воздуха.

### **3.4. Оценка вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование геохимического фона городской среды**

Как отмечено в работе Н.С. Касимова с соавт. [172], экологические блоки любого промышленного города, между которыми формируются потоки загрязняющих веществ, условно подразделяются на три группы: 1) источники техногенного загрязнения (промышленный комплекс, автотранспорт, жилищно-коммунальная инфраструктура); 2) транзитные среды, обеспечивающие транспортировку и частичную трансформацию загрязняющих веществ (воздушный бассейн, атмосферные выпадения (снег, дождь); 3) депонирующие среды, в которых осуществляется накопление и геохимическая трансформация загрязняющих веществ. Причем, депонирующие среды могут быть как абиотические (почвы, донные отложения), так и биотические (растения, население города).

Эколого-геохимические методы мониторинга, на которые ориентированы ведомственные природоохранные службы, позволяют получить исходную информацию для выявления приоритетных факторов, формирующих геохимический фон городской среды, и оценить экологические риски для населения. Анализ промышленно-транспортной инфраструктуры города Воронежа позволил оценить реальный вклад выбросов ЗВ от стационарных источников и потенциальный выброс ЗВ от автотранспорта в формирование геохимического фона городской среды. Расчетные критерии промышленно-транспортной нагрузки на городскую среду показаны в таблице 3.12.

Анализ статистических и картографических материалов показал, что устойчивой достоверной корреляции между критериями эмиссионной и автотранспортной нагрузки на городскую среду не наблюдается. Скорее, прослеживается обратная закономерность: так, выбросы от стационарных источников в среднем в 2-2,5 раза интенсивнее в левобережном индустри-

альном секторе города (рис. 3.8), а интенсивность движения автотранспорта – в пределах старозастроенного общественно-делового центра правобережья (рис. 3.9).

Таблица 3.12

Показатели промышленно-транспортной нагрузки на городскую среду по районам обслуживания детских поликлиник

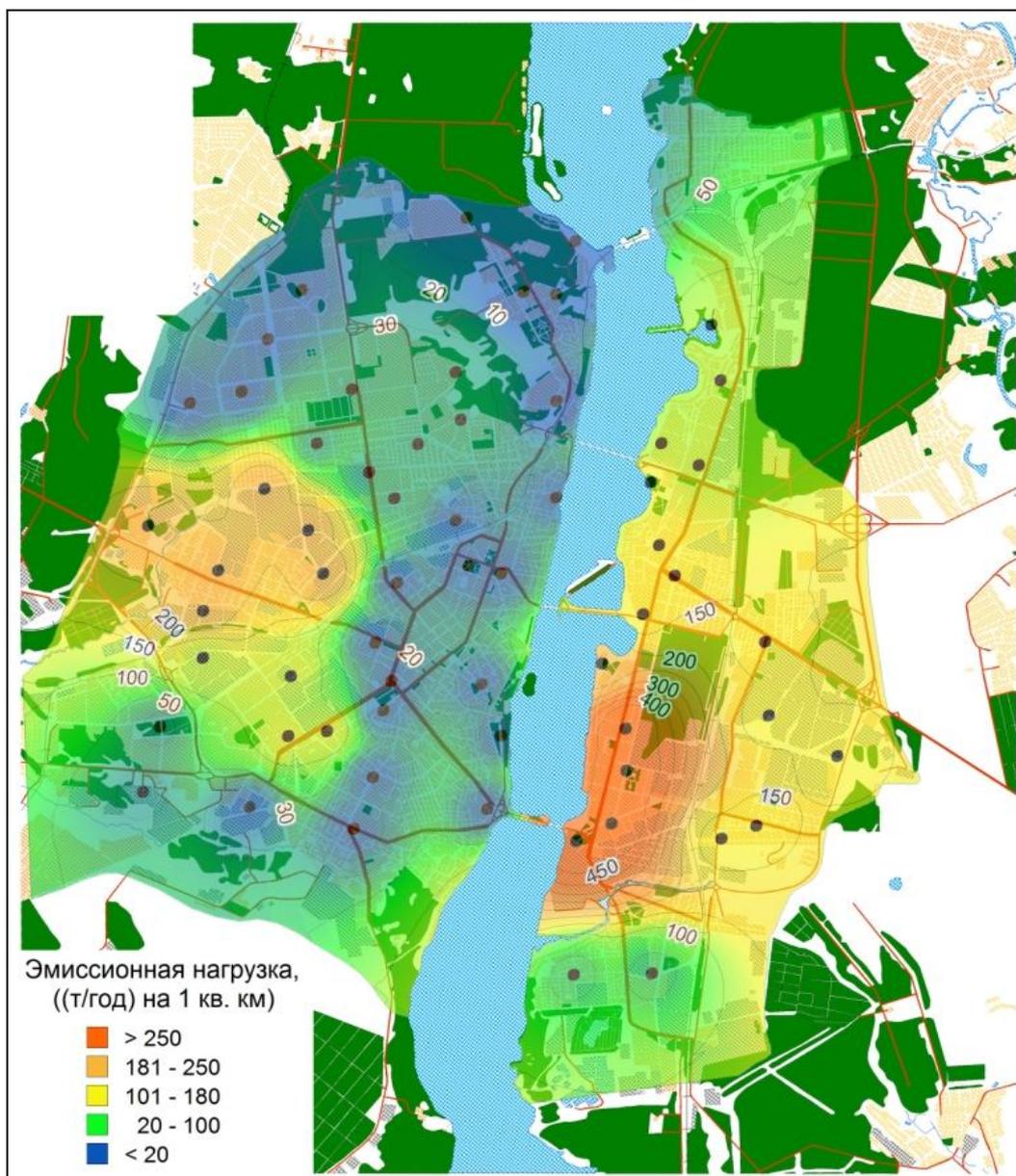
По- лик- ли- ники	Коэффициенты эмиссионной нагрузки промышленных выбросов ЗВ* ( $P_{1кл}$ , $P_{2кл}$ , $P_{CR}$ - кг/год на 1 км <sup>2</sup> ) ( $P_{сумм}$ , $P_{3кл}$ , $P_{4кл}$ , $P_{прм}$ - т/год на 1 км <sup>2</sup> )							Коэффициенты ав- тотранспортной на- грузки (автомобилей в час на 1 км <sup>2</sup> )*				$I_{\Sigma}$ **
	$P_{сумм}$	$P_{1кл}$	$P_{2кл}$	$P_{3кл}$	$P_{4кл}$	$P_{CR}$	$P_{прм}$	$T_{лгк}$	$T_{грз}$	$T_{авт}$	$T_{атн}$	
1	32,9	0,62	90,1	6,59	17,0	956,1	1,15	1316	216	129	1662	-0,83
2	12,9	0,15	176,4	4,27	7,4	241,5	0,33	2521	403	273	3197	0,56
3	13,5	1,05	131,2	6,25	8,8	3182,9	0,58	1763	274	192	2228	0,95
4	27,9	0,01	0,02	5,12	5,9	0,62	0,55	799	103	99	1001	-2,26
5	111,4	0,03	382,2	9,11	24,2	1096,5	3,98	1159	131	105	1395	-0,60
6	45,8	0,35	1409,7	3,29	30,9	2631,2	1,18	474	63	57	595	-1,27
7	141,0	1,16	3038,7	3,55	85,8	5463,2	3,26	1302	214	127	1643	1,88
8	230,0	7,28	430,8	6,10	90,7	2435,5	6,39	1321	156	114	1592	0,76
9	491,4	111,0	56806,1	7,66	173,2	5178,7	20,88	989	120	116	1226	4,25
10	120,7	2,45	440,1	2,69	75,2	1153,3	2,05	2098	269	221	2588	0,58
11	11,2	0,004	0,18	6,99	4,0	41,1	0,34	1496	294	154	1943	-1,10
1 – СХИ	5,6	0,003	0,001	3,29	2,9	0,003	0,10	308	36	15	359	-3,13

\*) полные наименования показателей см. в разделе 2.3.1;

\*\*)  $I_{\Sigma}$  - нормированный индекс интегральной промышленно-транспортной нагрузки (сумма нормированных значений  $P_{прм}$ ,  $P_{CR}$ ,  $T_{атн}$ ).

Наиболее напряженная ситуация сложилась на территории левобережного сектора на участке 9 детской поликлиники между Чернавским и Вогрэсовским мостами, а наиболее благополучный – северный микрорайон Агроуниверситета (рис. 3.10).

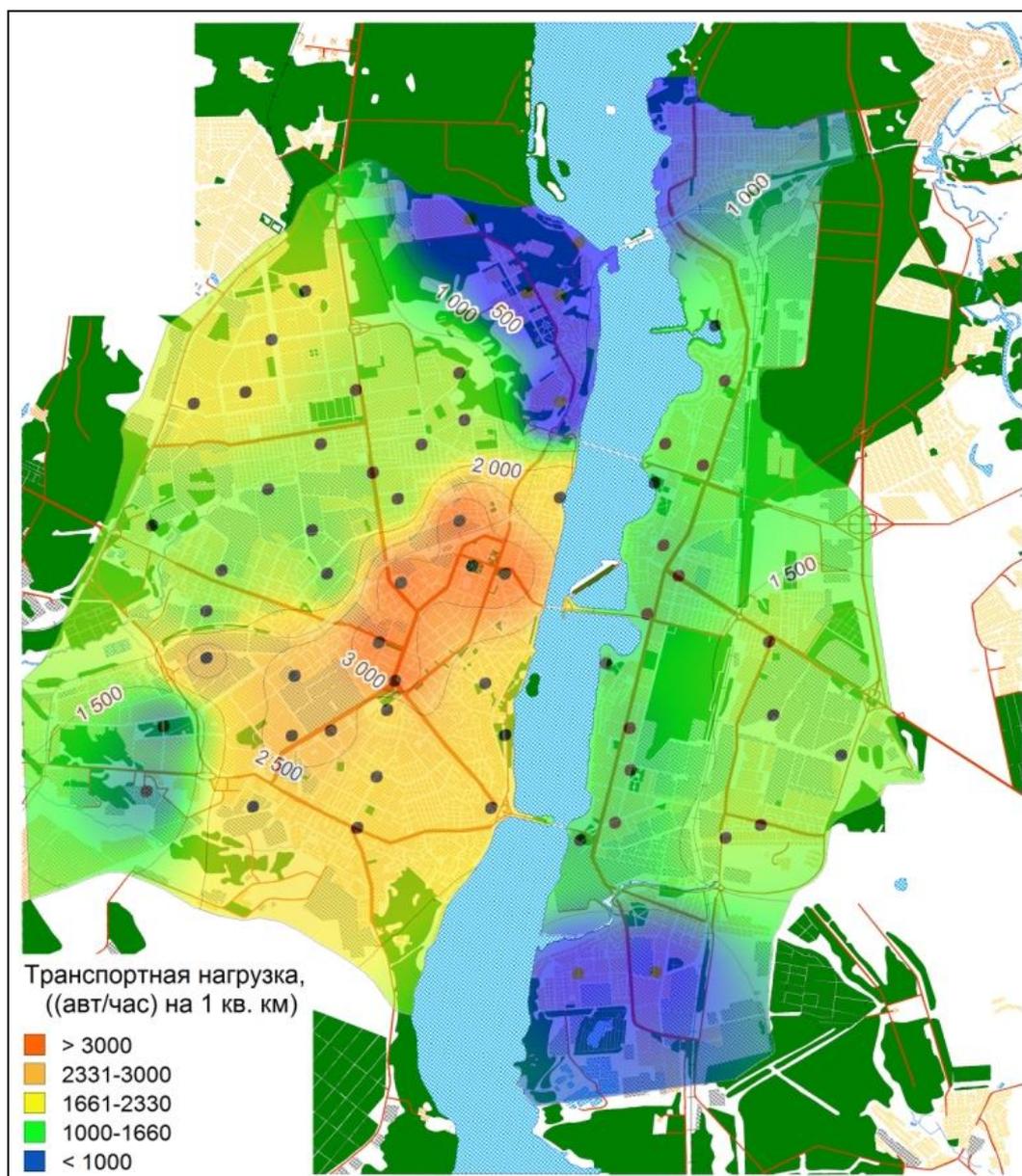
Анализ корреляционных связей в системе «источники - загрязнения - транзитные среды - депонирующие абиотические среды» показал в целом вполне логичную картину: в общем массиве корреляций преобладают положительные коэффициенты (в основном в 55-84 % случаев по большинству критериев), причем наиболее устойчивые связи отмечаются по наиболее массивным выбросам веществ 3 и 4 классов опасности, канцерогенам, а также интенсивности общей промышленно-транспортной нагрузки, определяемой во многом легковым автотранспортом и удельным вкладом канцерогенов, присутствующих в выбросах от стационарных источников загрязнения городской среды (таблица 3.13).



*Рис. 3.8. Показатель суммарной эмиссионной нагрузки выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников (т/год на 1 км<sup>2</sup>)*

Отмечена особенно высокая достоверная корреляция ( $r = +0,63 \div + 0,68$ ) критериев автотранспортной нагрузки и величины рН, концентраций иона  $\text{NH}_4^+$  в снеге, бенз(а)пирена в почве как подтверждения автотранспортной обусловленности этих геохимических критериев состояния городской среды.

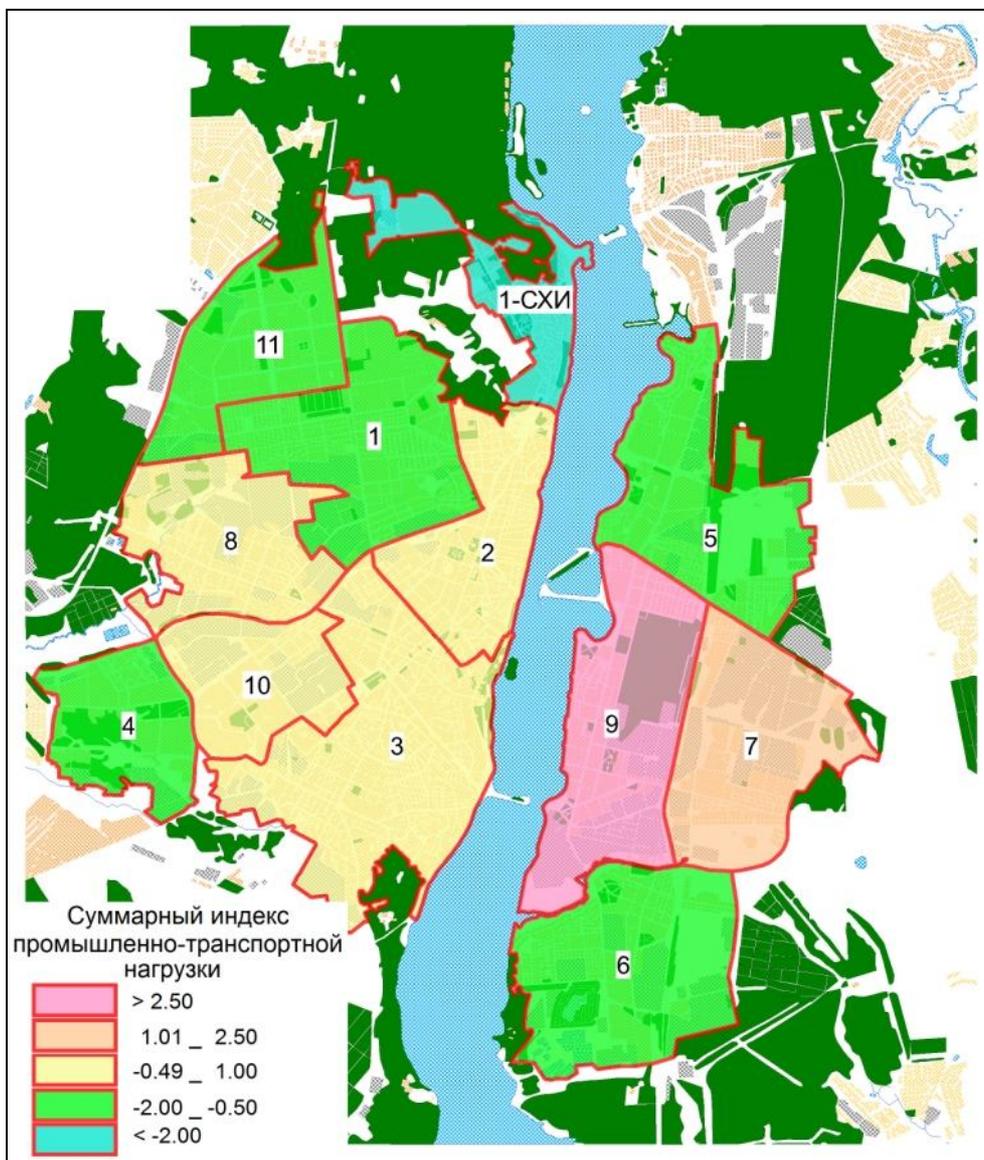
Особенно высока информативность показателя удельной нагрузки канцерогенов, составляющих около 2 % в общегородском выбросе ЗВ, но обладающих высоким индикаторным эффектом: наблюдаются существенные корреляции в пределах от +0,45 до +0,75 по многим критериям качества атмосферы, снега, почвы и, как следствие, - суммарным канцерогенным и неканцерогенным рискам здоровью населения (таблица 3.13).



*Рис. 3.9. Суммарная автотранспортная нагрузка (интенсивность движения автотранспортных средств – автомобилей в час на 1 км<sup>2</sup>)*

Наиболее информативен показатель суммарной промышленно-транспортной нагрузки ( $I_{\Sigma}$ ) - 84,2 % положительных устойчивых корреляций с критериями загрязнения воздушного бассейна, снега, почвы, причем связи усиливаются ( $r > +0,50$ ) по концентрациям сажи в атмосфере, ионов  $\text{NO}_2^-$  в снеге, кадмия в почве, а также суммарному канцерогенному риску от присутствия в атмосфере формальдегида, сажи и стирола. Эти факты отражают преимущественную роль в формировании техногенного загрязнения городской среды выбросов ЗВ с канцерогенным эффектом (предприятия нефтехимической промышленности – ОАО «Воронежсинтезкаучук» и др.) и автотранспорта, привносящего в городскую среду азо-

тистые соединения, бенз(а)пирен; поступления большого количества пыли, приводящего к техногенной трансформации химического состава снега - подщелачиванию и увеличению минерализации, содержания  $Cl^-$ ,  $NH_4^+$  - ионов за счет растворения техногенных карбонатов пыли и выхлопов автотранспорта (см. достоверные и существенные корреляции в таблице 3.13).



*Рис. 3.10. Суммарная промышленно-транспортная нагрузка по районам обслуживания детских поликлиник*

Повышенные концентрации бен(а)пирена в почве, обладающего выраженным канцерогенным эффектом, - видимо, результат повышенной автотранспортной загруженности исторического центра города в пределах Центрального и Ленинского районов (рис. 3.11) – на территориях 2 и 3 детских поликлиник, не отличающихся высоким промышленным прессингом на городскую среду.

Таблица 3.13

Обобщенные показатели стабильности корреляционных связей между параметрами воздействия промышленно-транспортной нагрузки, индексами загрязнения атмосферы, снега, почвы и риска здоровью населения

Критерии воздействия ( $\Pi_i$ )		Критерии «отклика»	
критерии промышленно-транспортной нагрузки *	удельный вес (%) положительных корреляций («степень воздействия»)	экогеохимические критерии и индексы риска здоровью населения, имеющие существенный «отклик»	коэффициенты корреляции с $\Pi_i$ **
$\Pi_{1кл}$	21,1	-	-
$\Pi_{2кл}$	18,4	-	-
$\Pi_{3кл}$	52,6	атмосфера (стирол)	0,44
$\Pi_{4кл}$	63,2	атмосфера (сажа)	0,47
		почва (Pb)	0,56
		почва (Cd)	0,70
		почва (pH)	0,41
		почва (СПЗ)	0,41
		атмосфера (суммарный канцерогенный риск - CI)	0,50
		почва (Pb <sup>2+</sup> )	0,43
		почва (Cd <sup>2+</sup> )	0,53
$\Pi_{CR} / I_{\Sigma}$	65,8 / 84,2	атмосфера (оксид серы IV )	0,47 / 0,33
		атмосфера (формальдегид)	0,48 / 0,41
		атмосфера (оксид марганца IV)	0,47 / 0,31
		атмосфера (сажа)	0,40 / 0,51
		атмосфера (ИЗА)	0,46 / 0,35
		атмосфера (Катм)	0,48 / 0,38
		снег (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,35 / 0,55
		снег (Pb <sup>2+</sup> )	0,61 / 0,32
		снег (Cu <sup>2+</sup> )	0,60 / 0,30
		почва (Mn <sup>2+</sup> )	0,63 / 0,46
		почва (Pb <sup>2+</sup> )	0,42 / 0,44
		почва (Cd <sup>2+</sup> )	0,77 / 0,65
		почва (pH)	0,61 / 0,45
		почва (СПЗ)	0,55 / 0,49
		атмосфера (суммарный канцерогенный риск - CI)	0,57 / 0,64
атмосфера (суммарный неканцерогенный риск - NI)	0,50 / 0,37		

Продолжение таблицы 3.13

Критерии воздействия (Pi)		Критерии «отклика»	
критерии промышленно-транспортной нагрузки*	удельный вес (%) положительных корреляций («степень воздействия»)	экогеохимические критерии и индексы риска здоровью населения, имеющие существенный «отклик»	коэффициенты корреляции с Pi**
П <sub>прм</sub>	50,0	снег (Mg <sup>2+</sup> )	0,54
Т <sub>лгк</sub> / Т <sub>атн</sub>	60,5 / 60,5	атмосфера (сажа)	0,46 / 0,43
		снег (рН)	0,68 / 0,68
Т <sub>лгк</sub> / Т <sub>атн</sub>	60,5 / 60,5	снег (минерализация)	0,54 / 0,54
		снег (Cl <sup>-</sup> )	0,51 / 0,51
		снег (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,66 / 0,66
		снег (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,48 / 0,48
		почва (Zn <sup>2+</sup> )	0,42 / 0,40
		почва (бенз(а)пирен)	0,62 / 0,63
		атмосфера (суммарный канцерогенный риск - Cl)	0,51 / 0,50
Т <sub>грз</sub> / Т <sub>авт</sub>	55,3 / 55,3	атмосфера (сажа)	0,28 / 0,40
		атмосфера (формальдегид)	0,42 / 0,34
		снег (рН)	0,65 / /0,65
		снег (минерализация)	0,52 / 0,51
		снег (Cl <sup>-</sup> )	0,51 / 0,46
		снег (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,60 / /0,68
		снег (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,46 / 0,41
		почва (бенз(а)пирен)	0,61 / /0,68
		атмосфера (суммарный канцерогенный риск - Cl)	0,41 / 0,49

\*) См. примечание к табл. 3.12;

\*\*\*) Статистически достоверны коэффициенты корреляции > 0,56.

Проведенное ранжирование ответного «отклика» геохимических индикаторов на промышленно-транспортное воздействие показало более сильный «отклик» критериев качества атмосферы и почвы, в меньшей степени – снега, а к приоритетным геохимическим индикаторам следует отнести (таблица 3.14): сажа и формальдегид в атмосфере, азотистые соединения в снеге, СПЗ тяжелыми металлами в почве (не менее чем в 75 % случаев – устойчивые положительные корреляции).

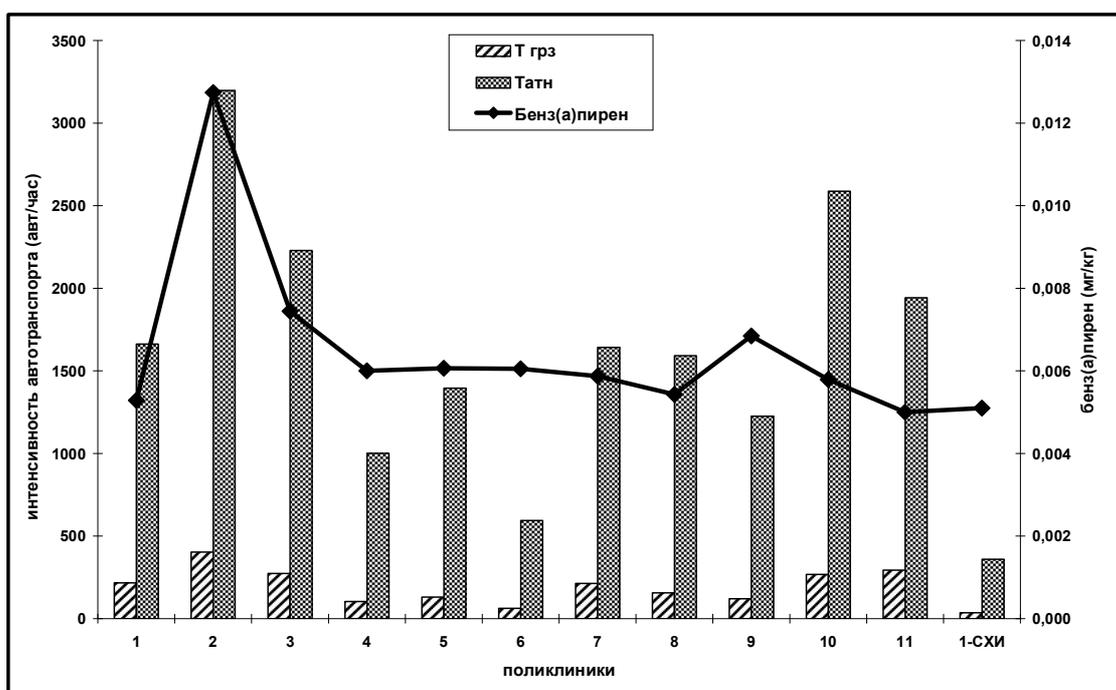


Рис. 3.11. Интенсивность автотранспортной нагрузки (Тгрз-грузовые автомобили; Татн - суммарная нагрузка: автомобилей в час /1 км<sup>2</sup>) и концентрации бенз(а)пирена по районам обслуживания детских поликлиник

Таблица 3.14

Ранжирование геохимических индикаторов экологического состояния городской среды (критериев «отклика») на вероятное воздействие промышленно-транспортного комплекса города Воронежа

Информативность	Удельный вес (%) положительных корреляций*	Транзитные среды и геохимические параметры рисков здоровью		Депонирующая среда
		атмосфера	снег	почва
высокая	75-100	сажа, формальдегид, суммарный канцер. риск (СІ)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cd <sup>2+</sup> , СПЗ
средняя	50-74,9	оксид серы IV, оксид азота IV, фенол, пыль, оксид марганца IV, оксид железа III, акролеин, стирол, суммарный неканцерогенный риск (НІ)	pH, взвешенные вещества, минерализация	pH, Cu <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup>
низкая	25-49,9	оксид углерода II, ИЗА, К <sub>атм</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Pb <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup>	бенз(а)-пирен
незначительная	8-24,9	-	общая жесткость, Zn <sup>2+</sup>	-

\*) значения  $r > 0,10$ .

### 3.5. Статистическая оценка сопряженных связей в системе «атмосфера - почва» в условиях городской среды

Учитывая высокий «отклик» критериев аэрогенного и почвенного загрязнения городской среды, проанализированы взаимные корреляции между ними для оценки обусловленности почвенного загрязнения аэротехногенной нагрузкой. Результаты корреляционного анализа по трем уровням (различному набору операционных территориальных единиц – 7 функциональным зонам, включая фон, 12 поликлиникам и 65 наиболее репрезентативным точкам мониторинга) отражены в таблице 3.15.

Установлено в целом достаточно хорошее соответствие («сходимость») между различными геохимическими показателями: около 87 % корреляций положительного знака, а около 42 % - достоверны, что свидетельствует об определенной обусловленности почвенного загрязнения степенью загрязнения атмосферы. Среди наиболее информативных критериев загрязнения атмосферы следует отметить оксид углерода II, оксид азота IV и комплексные показатели загрязнения атмосферы (ИЗА и  $K_{атм}$ ), а среди критериев загрязнения почвы – кадмий, кислотность почвы (рН) и суммарный показатель загрязнения тяжелыми металлами – СПЗ (все корреляции в 100% случаев положительные, а в 44-88 % случаев достоверны). Причем достоверная положительная корреляция между главными интегральными показателями загрязнения атмосферы и почвы ( $K_{атм}$  и СПЗ) достигает существенных значений, усиливаясь по мере генерализации данных: от +0,59 (для 65 точек) до +0,90 (для функционально-планировочных зон). Для большинства показателей по мере генерализации данных корреляционные связи усиливаются, что подтверждает их логическую обусловленность и свидетельствует о том, что по мере снижения качества воздуха почва также теряет «чистоту», хотя этот факт подтверждается не прямым сопоставлением аналогичных ингредиентов, а методами индикационных аналогий и интерполяции, т.к. тяжелые металлы – универсальные индикаторы загрязнения городской среды.

На рисунках 3.12, 3.14, 3.15 показана картографическая интерполяции наиболее информативных критериев загрязнения каждой среды: атмосферы ( $K_{атм}$ ), снега (минерализация), почвы (СПЗ тяжелыми металлами).

Весьма показательна индикаторная роль кислотности почвы (рН), которая возрастает в промышленно-транспортных зонах относительно жилых, рекреационных зон и фона.

Существенной корреляции между рН снега и рН почвы не наблюдается (она близка к нулю). Однако, следует учитывать различные механизмы проявления кислотности в транзитной и депонирующей средах. Обыч-

но понижение рН снега связано с увеличением содержания кислотных окислов (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) в городских выбросах в атмосферу.

Таблица 3.15

Корреляционные связи между показателями атмосферного и почвенного загрязнения городской среды

Показатели загрязнения почвы	Кол-во ОТЕ (n)	Коэффициенты корреляции* /показатели загрязнения атмосферы/									Показатели «отклика» (%)**	
		оксид углерода II	оксид серы IV	оксид азота IV	формальдегид	пыль (взвешенные в-ва)	сажа (углерод)	фенол	ИЗА (7)	Катм (7)	Σ	Д
Медь	65	0,30	X	0,13	X	0,30	-	-	0,22	0,20	52	8
	12	X	-0,20	X	X	-0,12	0,44	X	X	X		
	7	0,65	X	0,39	0,22	0,49	X	0,22	0,38	0,35		
Цинк	65	0,25	0,11	0,19	X	0,26	-	-	0,22	0,21	88	20
	12	0,15	-0,18	0,23	0,13	X	0,32	X	0,17	0,18		
	7	0,91	0,58	0,81	0,62	0,76	0,11	0,63	0,75	0,73		
Марганец	65	0,37	0,63	0,38	0,58	0,49	-	-	0,55	0,58	84	80
	12	0,63	0,73	0,65	0,59	0,82	0,14	0,45	0,83	0,80		
	7	0,64	0,93	0,88	0,89	0,76	0,17	0,89	0,84	0,85		
Свинец	65	0,23	0,18	0,31	0,32	0,18	-	-	0,28	0,29	96	28
	12	0,18	0,40	0,19	0,34	0,13	0,67	0,57	0,41	0,47		
	7	0,74	0,66	0,83	0,72	0,73	-0,36	0,58	0,69	0,69		
Кадмий	65	0,34	0,33	0,37	0,37	0,36	-	-	0,41	0,42	100	44
	12	0,25	0,60	0,35	0,60	0,20	0,53	0,62	0,53	0,59		
	7	0,22	0,25	0,31	0,44	0,45	0,19	0,41	0,38	0,39		
Бенз(а)-пирен	65	X	0,23	0,33	0,19	X	-	-	0,19	0,20	60	4
	12	0,19	-0,23	X	X	X	0,29	X	X	X		
	7	0,30	0,51	0,62	0,48	0,38	-0,54	0,39	0,40	0,41		
рН почва	65	0,35	0,35	0,38	0,35	0,41	-	-	0,44	0,45	100	52
	12	0,30	0,14	0,21	0,45	0,19	0,68	0,32	0,40	0,42		
	7	0,72	0,58	0,60	0,70	0,80	0,75	0,76	0,78	0,74		
СПЗ (5 металлов)	65	0,41	0,61	0,41	0,56	0,53	-	-	0,57	0,59	100	88
	12	0,60	0,55	0,66	0,58	0,73	0,30	0,45	0,79	0,77		
	7	0,75	0,93	0,94	0,91	0,83	0,16	0,91	0,89	0,90		
Индикаторы воздействия (%)**	Σ	91,7	79,2	91,7	83,3	83,3	81,3	81,3	91,7	91,7	86,5	
	Д	45,8	37,5	50,0	41,6	50,0	25,0	25,0	45,8	45,8	41,5	

\*) статистически достоверны коэффициенты корреляции >0,73 (n=7); >0,56 (n=12); >0,23 (n=65);

\*\*\*) Σ - средний удельный вес (в %) положительных корреляций (r ≥ 0,10) по всем ОТЕ; Д - % достоверных от всех положительных значимых корреляций. Знак «X» означает отсутствие значимой корреляции, прочерк («-») означает отсутствие исходных данных.

Это подтверждается преобладанием в снежных пробах NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> -ионов, а также данными анализа атмосферного воздуха г.Воронежа

в исследуемые зимние периоды, когда наблюдались превышения ПДК<sub>с.с.</sub> в атмосфере города по NO<sub>2</sub> в 1,5-2,0 раза и по пыли – в 2-3 раза.

Реакция среды (рН) и величина минерализации снеговых вод характеризуют интенсивность техногенного прессинга на городскую среду, а состав талых вод указывает на характер ее загрязнения. Кислотность снега обычно ниже фоновой кислотности почвы, особенно чернозема (зональной почвы Воронежского региона).

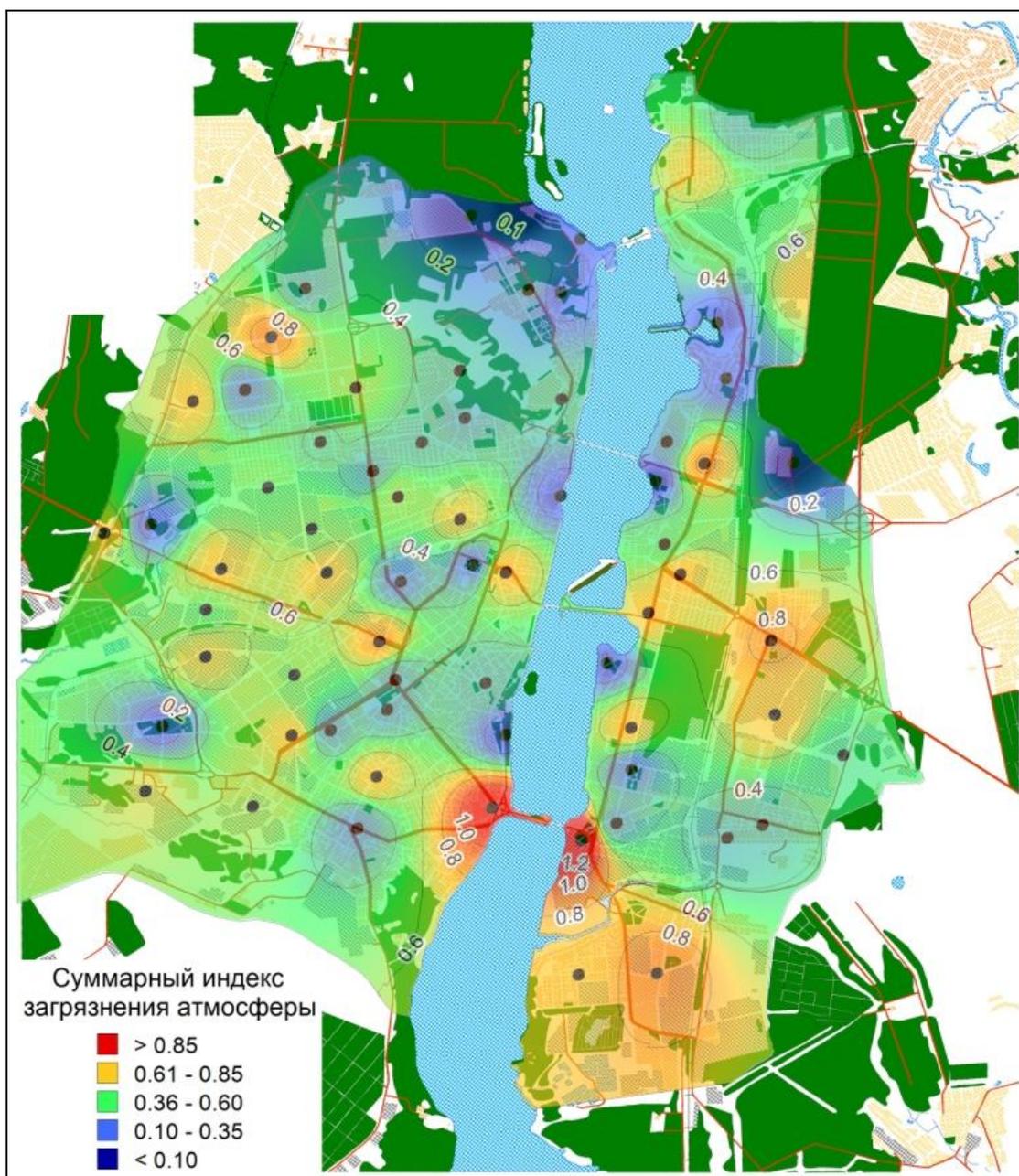


Рис. 3.12. Комплексный показатель антропогенного загрязнения атмосферы ( $K_{атм}$ )

Известно, что в почву ЗВ могут попадать различными путями: из атмосферы в виде грубодисперсных фракций аэрозолей в составе выбросов

промышленных предприятий, а также с дождевыми осадками и снегом. С атмосферными осадками могут выпадать сульфаты, нитраты, азотная, серная кислоты и прочие вещества, в результате чего происходит подкисление почвы. Кроме того повсеместно отмечается подщелачивание почв вокруг металлургических предприятий, при применении химических реагентов (зимой активно используется в качестве антигололедного покрытия хлорид натрия, летом – асфальтобитумные смеси, которые подщелачивают почву города), при попадании на почву карбонатных строительных отходов [173]. В г.Воронеже этому способствуют также давняя освоенность территории города, супесчано-песчаные грунты левобережья. Лишь в рекреационных зонах города, в парках изредка отмечаются слабокислые почвы.

На почву оседают грубодисперсные фракции аэрозолей. Загрязняющие вещества могут быть внесены в почву также при работе промышленных и транспортных объектов и поступлении от них сажи, пыли, вызывающих существенное подщелачивание почв, что и наблюдается в условиях города Воронежа.

В качестве наглядного примера на рисунке 3.13 показана зависимость динамики кислотности почвы (рН) от загрязненности атмосферы сажей (парциальный индекс загрязнения). Регрессионная модель полиномиального типа 3-ей степени вполне адекватно иллюстрирует установленную зависимость.

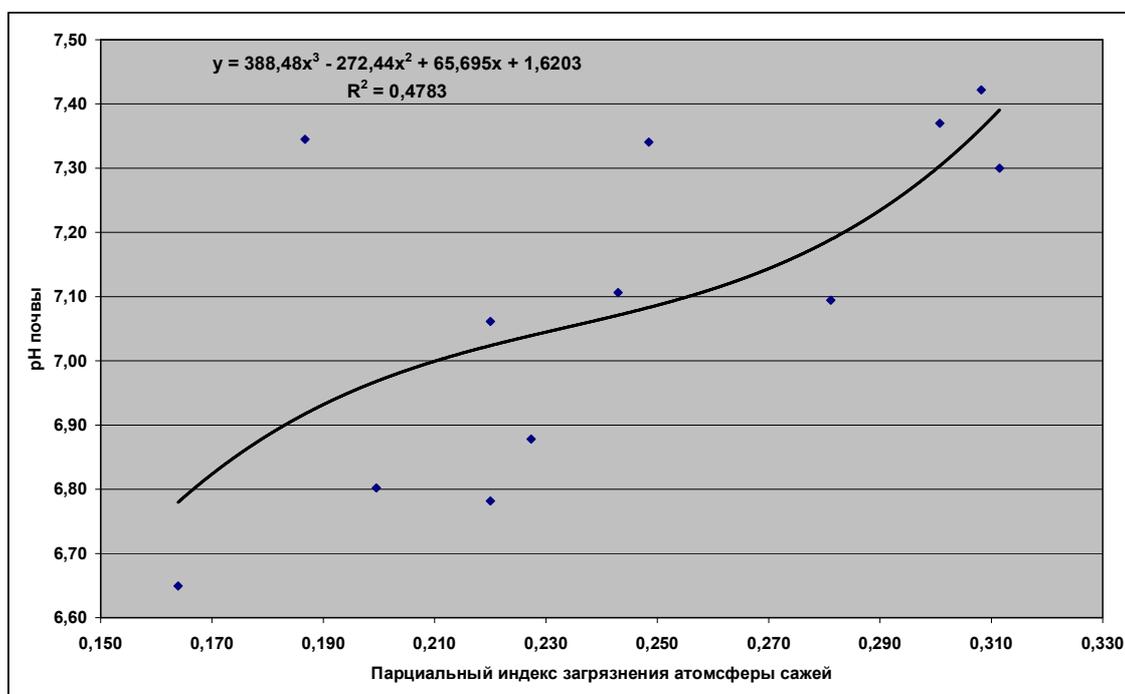


Рис. 3.13. Регрессионная модель зависимости кислотности почвы (рН) от загрязненности атмосферы сажей (парциальный индекс загрязнения)

Хорошими индикаторными свойствами в выявлении зон техногенного загрязнения городской среды обладает минерализация снега, более высокая в промышленном и общественно-деловом правобережье города (рис. 3.14).

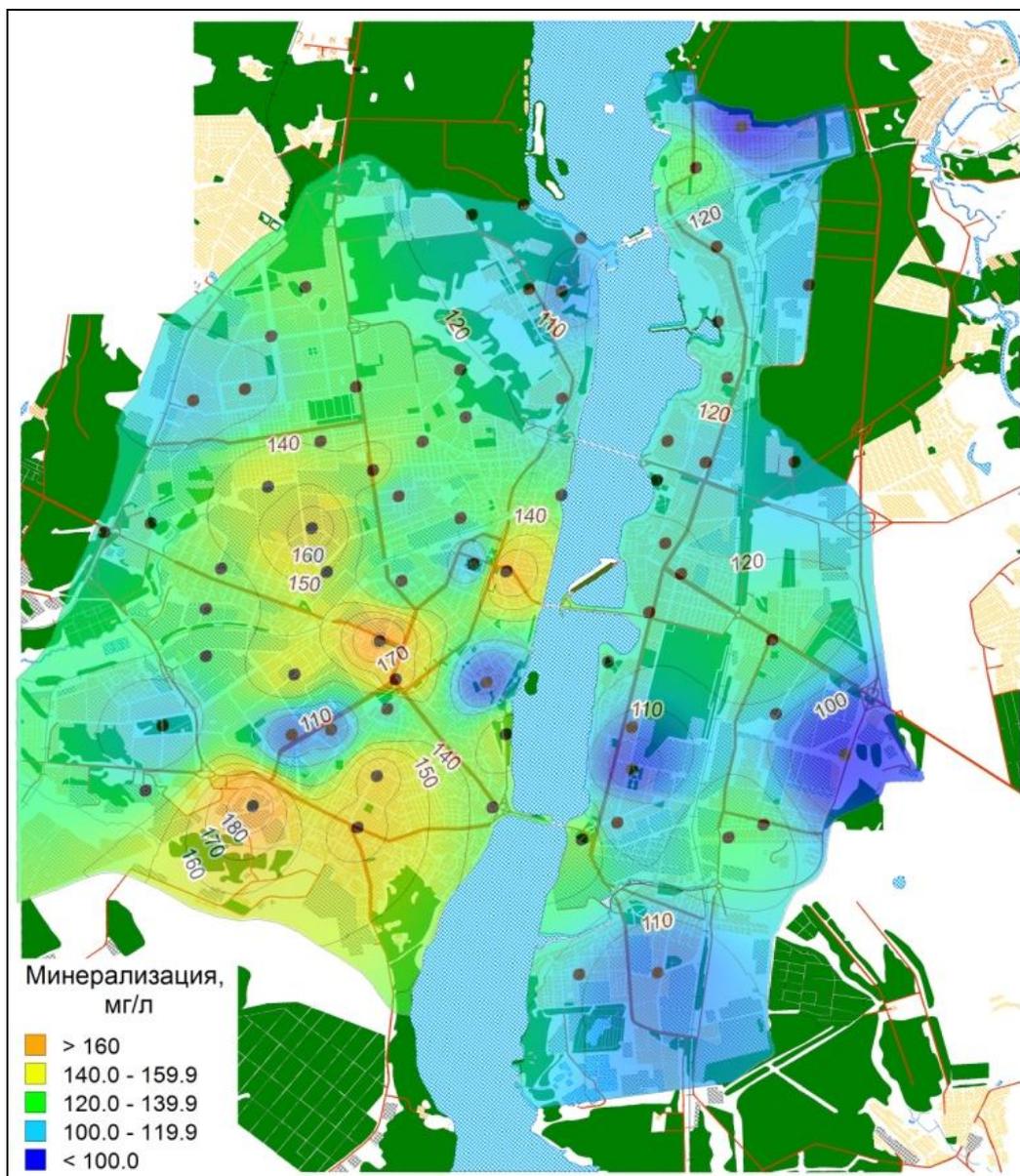
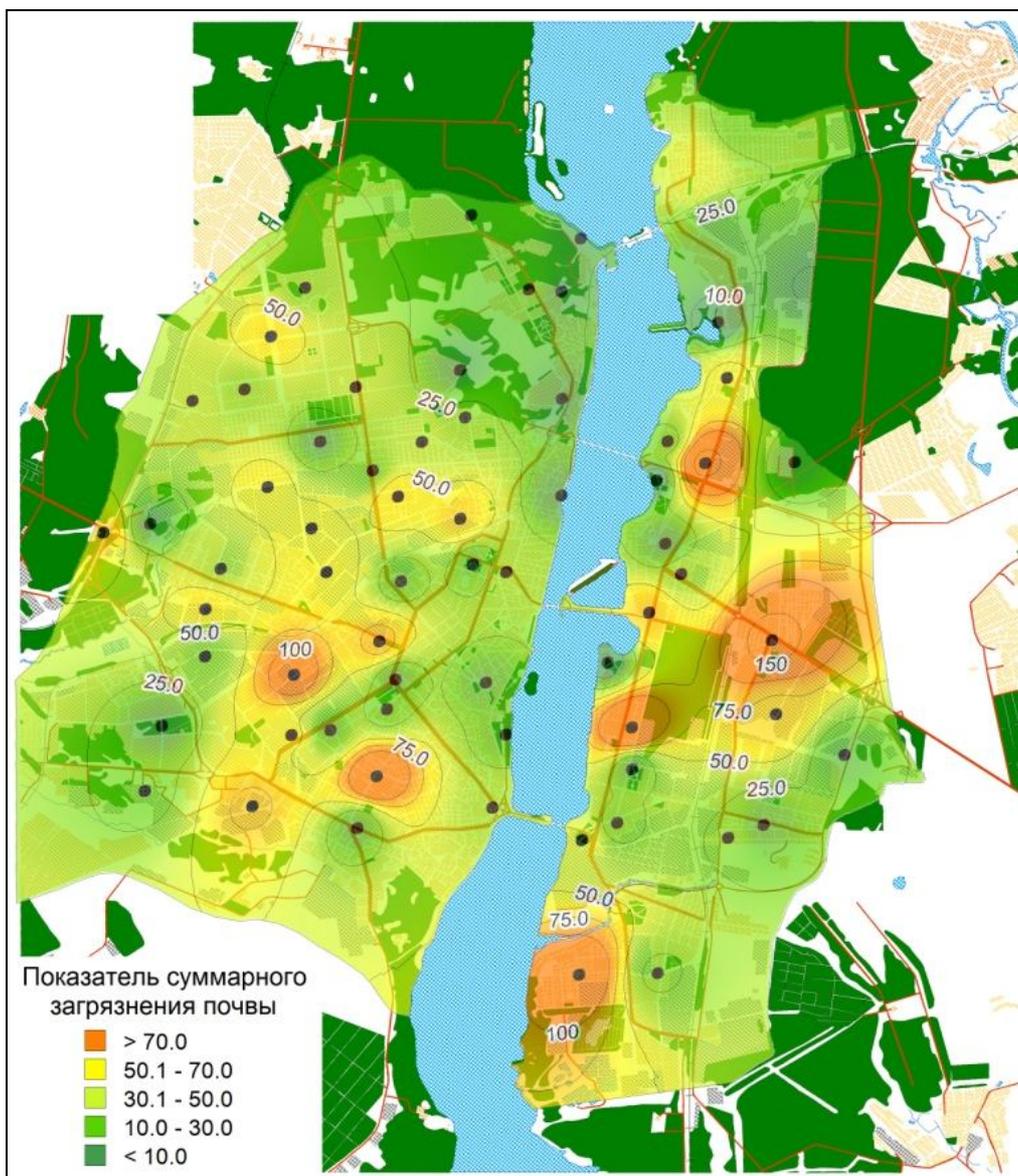


Рис. 3.14. Общая минерализация снежного покрова (мг/л)

Таким образом, в городе Воронеже эмиссия загрязняющих веществ от промышленных и автотранспортных вкладчиков служит важнейшим фактором, формирующим техногенное загрязнение атмосферы, снежного покрова и почвы, причем потоки ЗВ обусловлены переходами по триаде «атмосфера-снег-почва»; наиболее загрязнены промышленная и транспортная зоны, а между интегральными показателями загрязнения атмо-

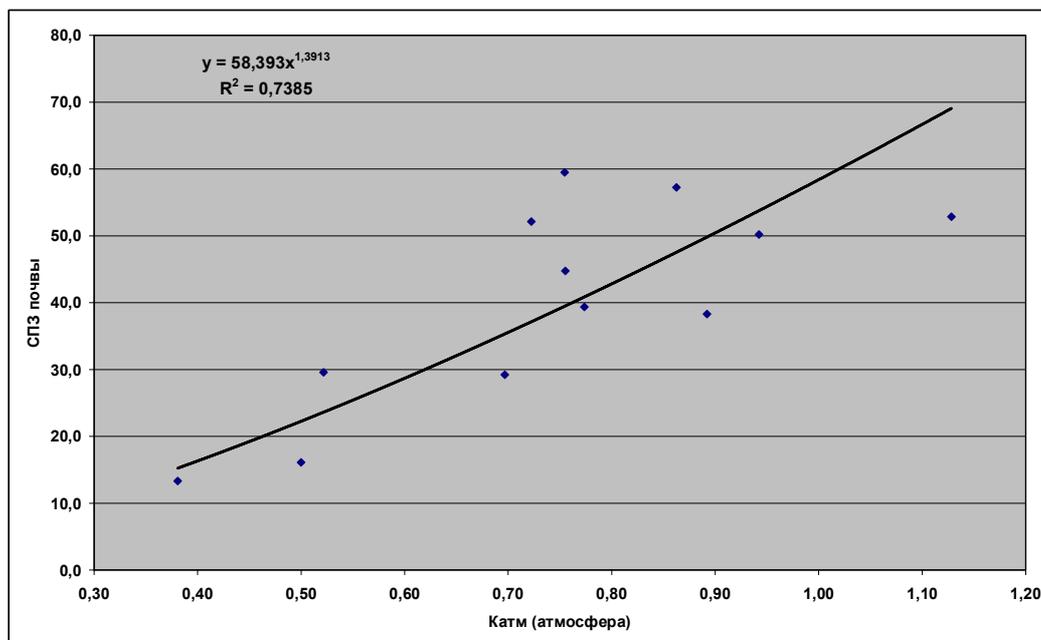
сферы и почвы существует достоверная положительная корреляция (регрессионная модель на рис. 3.16).



*Рис. 3.15. Суммарный показатель загрязнения почвы тяжелыми металлами (СПЗ)*

В целом, подводя итоги исследования по изучению закономерностей формирования зон техногенного загрязнения городской среды, следует отметить, что техногенное загрязнение города формируется за счет природно-экологического фактора, в частности, сезонности и стратификации атмосферы, а также особенностей функционально-планировочной инфраструктуры и промышленно-транспортного комплекса. При этом, максимальные показатели индекса загрязнения атмосферы отмечаются в пределах левобережного промышленно-производственного комплекса, что связано с промышленными объектами и особенностями ландшафтно-

экологических условий (пониженная выровненная поверхность, не способствующая усилению конвективных потоков воздуха). Во всех микрорайонах города ситуация значительно усугубляется в теплое время года, когда наблюдаются максимальные значения индекса ИЗА вследствие устойчивой стратификации атмосферы (инверсия), а минимальные значения индекса ИЗА – в холодное время года и при «неустойчивом» состоянии атмосферы (конвекция).



*Рис. 3.16. Регрессионная модель зависимости показателя суммарного загрязнения почвы тяжелыми металлами (СПЗ) от комплексного показателя антропогенного загрязнения атмосферы ( $K_{атм}$ )*

Проведенное ранжирование ответного «отклика» геохимических индикаторов на промышленно-транспортное воздействие показало более сильный «отклик» критериев качества атмосферы и почвы, в меньшей степени – снега, а к приоритетным геохимическим индикаторам следует отнести сажу и формальдегид в атмосфере, азотистые соединения в снеге, СПЗ тяжелыми металлами в почве. Наиболее загрязнены промышленная и транспортная зоны, а между интегральными показателями загрязнения атмосферы и почвы существует достоверная положительная корреляция, свидетельствующая о существенной обусловленности загрязнения почвы аэрогенным поступлением загрязняющих веществ.

## ГЛАВА 4. БИОТИЧЕСКИЕ И МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

### 4.1. Биоиндикация состояния городской среды

Среди подходов к оценке экологического состояния городской среды одним из наиболее доступных и перспективных направлений является биоиндикация загрязнений, основанная на изучении различных биологических, физиологических, анатомических и других отклонений в развитии организмов, возникающих под действием внешних факторов [127]. Перспективность биоиндикационных методов исследования заключается в том, что использование в качестве индикаторов состояния окружающей среды живых организмов позволяет дать комплексную оценку качества среды, а также выявить пути поступления и закономерности накопления в экологических системах различных загрязняющих веществ [161].

В соответствии с мнением В.М. Захарова [70, 71], под качеством среды понимается её состояние, необходимое для обеспечения здоровья человека и других видов живых существ. Для оценки этого качества необходимо определить степень нарушения стабильности развития наиболее массовых видов. Одним из самых простых и доступных способов подобной оценки является определение величины флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков. Для оценки экологического состояния городской среды предпочтительно использовать древесные растения, что неоднократно указывалось в различных научных трудах по данной тематике [146, 151, 166]. Величина флуктуирующей асимметрии для древесных растений выражается в виде интегрального показателя стабильности развития, рассчитываемого на основе асимметрии правой и левой половинок листовой пластинки растения.

Город Воронеж расположен чуть севернее границы между зонами лесостепи и степи. Такое его положение определяет характер растительности городского округа. Среди древесных пород в уличных насаждениях города 60-70 % приходится на тополя [52], среди них тополь пирамидальный, белый, чёрный, лавролистный и дельтовидный. Кроме того, массово представлены: берёза повислая, липа мелко- и крупнолистная, ива (плакучая, белая, козья), вяз гладкий и перистоветвистый, клён (американский, серебристый и остролистный). В элементах озеленения отдельных скверов и парков встречаются каштан конский, орех маньчжурский, сосна обыкновенная, пихта сибирская, рябина обыкновенная [52].

Наиболее массовыми видами древесных растений, использованными нами в качестве видов-индикаторов для оценки качества окружающей

среды города Воронеж, являются берёза повислая (*Betula pendula Roth.*) и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis Borkh.*). Проведенный анализ отобранных проб листьев в соответствии с принятыми методиками (см. главу 2) позволил рассчитать интегральный показатель стабильности развития с последующей биоиндикационной оценкой каждой из 26 репрезентативных точек на карте города в соответствии с таблицей 2.7.

На основании полученных данных при помощи геоинформационно-аналитического комплекса, созданного в программной среде ГИС MapInfo Professional, была составлена карта стабильности развития видов, дающая наглядное представление об уровне загрязнения городской среды Воронежа (рис. 4.1 и 4.2).

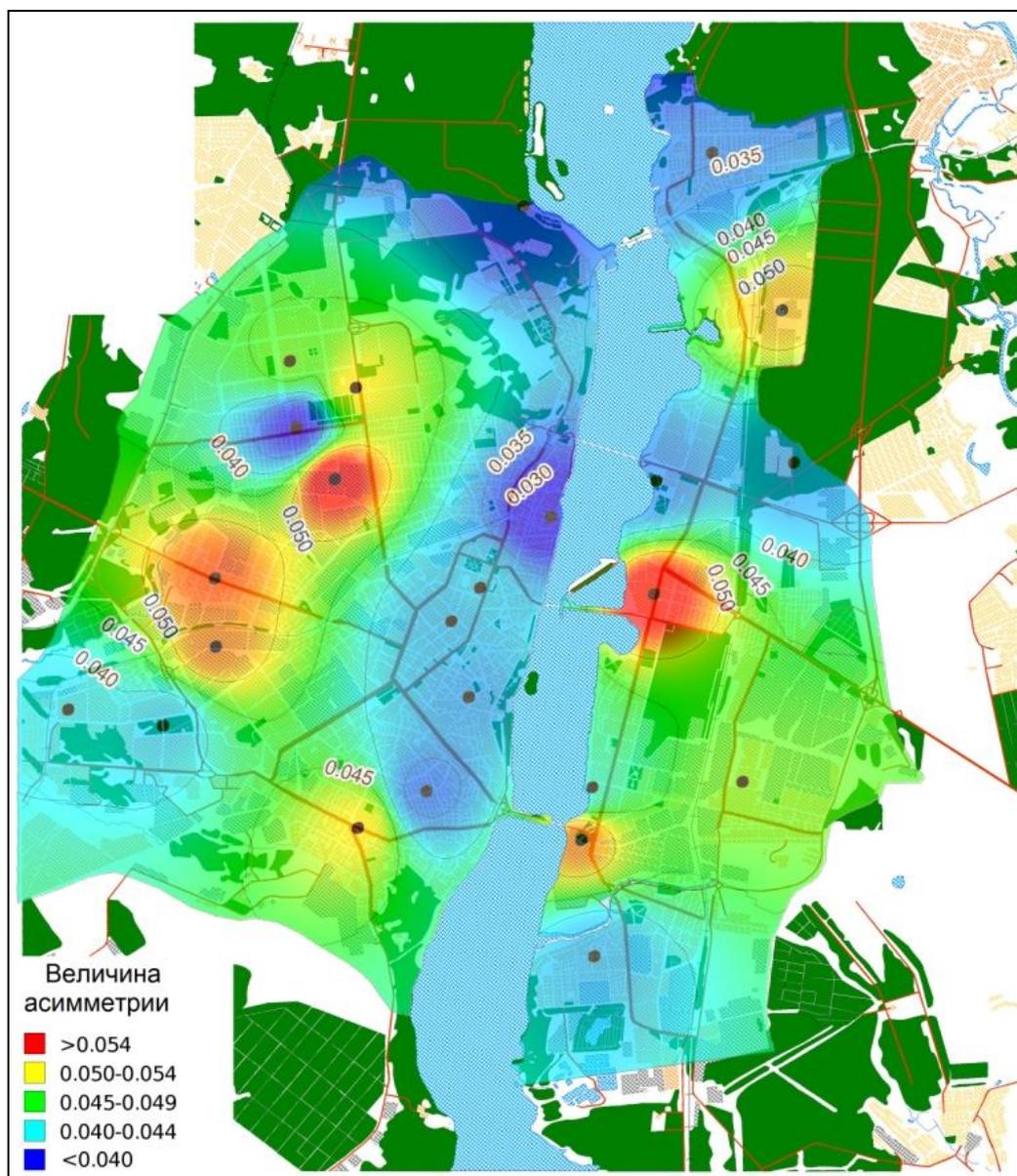


Рис. 4.1. Показатель флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula Roth.*)

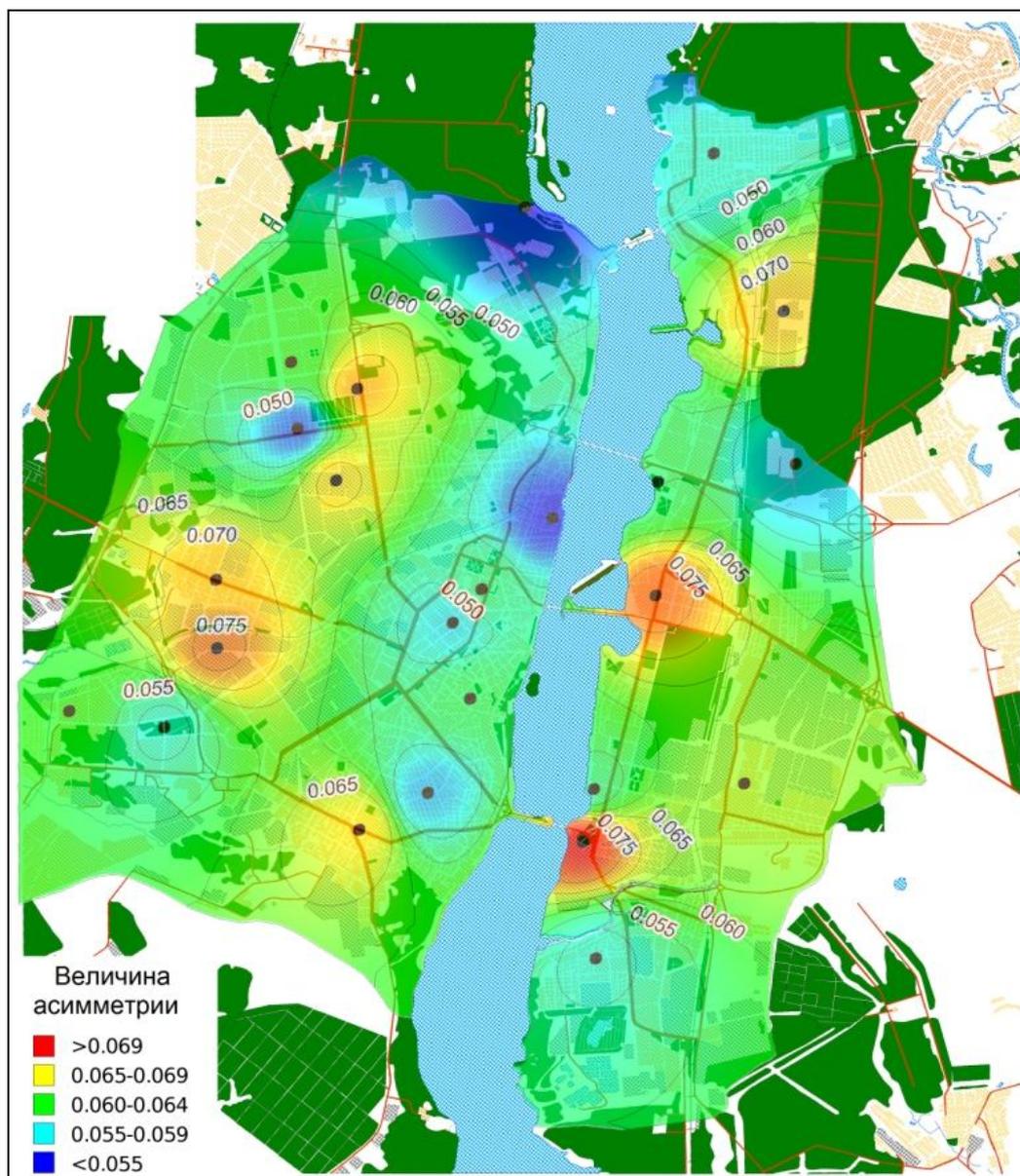


Рис. 4.2. Показатель флуктуирующей асимметрии листьев тополя пирамидального (*Populus pyramidalis* Borkh.)

В целом картины очень схожи (коэффициент корреляция показателей стабильности развития березы повислой и тополя пирамидального составляет +0,96).

Различие показателей стабильности видов достоверно (расчетный критерий Стьюдента составил:  $t = 4,59 / t$  критический = 2,01/). Вариация значений невелика (коэффициент вариации составил: для березы  $V = 21,9$  %, для тополя  $V = 25,4$  %, что свидетельствует об однородности и репрезентативности отбора проб листьев [150].

Ответный «отклик» на воздействие факторов техногенного загрязнения показан в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Корреляционные связи показателей стабильности развития с факторами техногенного загрязнения городской среды

Факторы техногенного загрязнения		Коэффициенты корреляции*	
Группа факторов	показатели	береза повислая	тополь пирамидальный
Промышленно-транспортная нагрузка	$P_{\text{сумм}}$ **	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>
	$P_{4\text{кл}}$	<b>0,76</b>	<b>0,74</b>
	$P_{\text{CR}}$	<b>0,62</b>	<b>0,62</b>
	$T_{\text{атн}}$	0,16	0,21
	$I_{\Sigma}$	<b>0,70</b>	<b>0,72</b>
Атмосфера	оксид углерода II	0,31	0,31
	оксид азота IV	<b>0,44</b>	<b>0,44</b>
	формальдегид	0,34	0,30
	пыль	<b>0,42</b>	<b>0,42</b>
	$K_{\text{атм}}$	<b>0,44</b>	<b>0,42</b>
Снежный покров	pH	0,37	0,33
	взвешенные вещества	<b>0,57</b>	<b>0,57</b>
	минерализация общая	0,21	0,20
	$\text{NO}_3^-$	<b>0,43</b>	<b>0,47</b>
Почва	свинец	0,35	0,30
	кадмий	<b>0,46</b>	<b>0,46</b>
	СПЗ	<b>0,42</b>	0,39
Информативность (%)***		83,7	82,7

\*) статистически достоверны коэффициенты корреляции  $> 0,39$ .

\*\*\*) полное описание индексов промышленно-транспортной нагрузки см. в разделе 2.3.1.

\*\*\*) удельный вес положительных корреляций с факторами потенциального риска.

Информация по факторам загрязнения получена на основании анализа карт загрязнения городской среды.

Очевидна, во-первых, однотипность реакций древесных растений, хотя несколько выше информативность параметров березы повислой.

По абсолютному большинству анализируемых факторов техногенного воздействия отмечена положительная корреляция: с ростом уровня воздействия или загрязнения окружающей среды возрастает частота отклонений морфологических параметров листовых пластинок от условной нормы. Наиболее сильное воздействие (сильная достоверная корреляция) оказывают параметры промышленной (эмиссионной) нагрузки выбросов ЗВ от стационарных источников, в том числе выбросы самых массовых ЗВ 4 класса опасности и канцерогенов. В то же время показатели автотранспортной нагрузки малоинформативны, корреляционная связь прослеживается в форме слабой, недостоверной, хотя и положительной тенденции. Однако, связь с азотистыми соединениями возрастает до достоверной

при анализе влияния концентраций загрязняющих веществ как в атмосфере, так и в снеге. Видимо, неблагоприятное воздействие испытывают только древесные растения, непосредственно произрастающие в зоне влияния автодорог, где концентрации окислов азота максимальны, а при анализе средних площадных показателей автотранспорт как фактор риска снижает информативность. Неблагоприятный эффект, по-видимому, вызывает повышенная запыленность, присутствие взвешенных веществ ( $r =$  около  $+0,42 \div +0,57$ ). Наблюдается вполне достоверная реакция и на суммарное загрязнение атмосферы и почвы, хотя она не столь существенна по корреляционным взаимосвязям вследствие, видимо, многофакторности воздействия на древесные растения условий среды обитания.

Зоны, в которых выявлены неблагоприятные условия, что соответствует IV-V баллам, отмечаются вблизи промышленных предприятий и крупных транспортных магистралей. Сопоставление представленных карт с сетью автомобильных дорог и схемой расположения крупных промышленных предприятий на территории г.Воронежа позволяет выявить основные источники неблагоприятного антропогенного воздействия на окружающую среду. В левобережной части города к ним следует отнести крупнейшую транспортную артерию – Ленинский проспект, протянувшуюся в меридиональном направлении (в особенности участок кругового движения на пересечении с улицей Остужева), а также такие предприятия как ОАО «Воронежсинтезкаучук», ТЭЦ-1 ОАО «Квадра» и ОАО ХК «Мебель Черноземья». В правобережной части наиболее неблагоприятная ситуация отмечается на ул. Матросова (участок кругового движения на пересечении с ул. Краснознаменная), 9-е Января, Московском проспекте (на всем протяжении автодорог, с выделением отдельных экстремальных значений вблизи крупных перекрестков). Среди стационарных источников загрязнения следует выделить ОАО «Электросигнал», ОАО «Завод по выпуску тяжелых механических прессов», ЗАО «Воронежский промышленный железнодорожный транспорт».

Наиболее благополучные показатели качества среды (I - II балла) отмечаются в зоне рекреации (левобережные районы – вблизи больницы «Электроника» и парк «Орленок»; правобережные районы – вблизи санатория им. М. Горького и парк «Танаис») и в жилой зоне (в частности, в пределах подзоны одноэтажной жилой застройки). Большой же части территории города соответствует средний уровень отклонений от условной нормы (III балла), характеризующий умеренную степень техногенного загрязнения городской среды. К таким микрорайонам относятся и кварталы с современной многоэтажной застройкой.

Различия показателя стабильности видов по функционально-планировочным зонам показаны на рисунке 4.3, где очевидны максимальные показатели для транспортной и промышленной зон, которые по инди-

кационной шкале соответствуют сильно загрязненным районам, а для тополя - крайне неблагоприятным условиям /сильное угнетение тополя/, в то время как в других зонах - условная норма или слабое влияние неблагоприятных факторов.

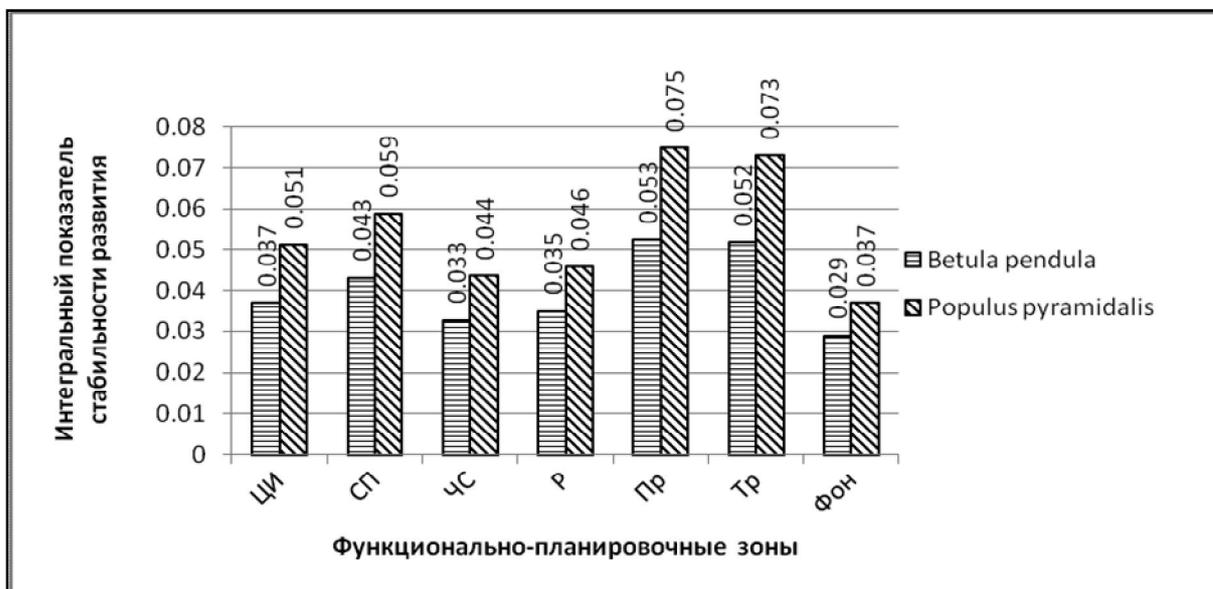


Рис. 4.3 Интегральный показатель стабильности развития березы повислой (*Betula pendula*) и тополя пирамидального (*Populus pyramidalis*)

Проводя сравнение предоставленной Воронежским ЦГМС информации с рассчитанными данными по оценке качества окружающей среды, нам удалось выявить взаимосвязь между загрязнением атмосферного воздуха и показателями стабильности развития видов. Максимальная концентрация в воздушной среде всех наблюдаемых поллютантов отмечается в районе поста № 7 (ул. Лебедева, 2), расположенного на границе промышленной и жилой зон вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук». Здесь же находится точка № 2 отбора листьев березы повислой и тополя пирамидального, в которой были отмечены наибольшие показатели флуктуирующей асимметрии по обоим видам-биоиндикаторам. В районах остальных четырех постов концентрации загрязнителей примерно равны. Этот факт позволяет предположить, что посты расположены в сходных по качеству среды районах. Данное предположение полностью подтверждается при сопоставлении схемы расположения постов с картой стабильности развития видов: 3 из 4 постов расположены в зоне среднего уровня отклонений от условной нормы (III балла), а один пост - на границе этой зоны с зоной слабого влияния неблагоприятных факторов (II балла).

В целом величина интегрального показателя стабильности развития видов древесных растений достоверно выше в левобережной части города,

что объясняется, с одной стороны, концентрацией здесь многих объектов промышленно-производственного комплекса, а, с другой стороны, - особенностями низменного рельефа местности (левобережной надпойменной террасы), не способствующими самоочищению атмосферы. В условиях преобладающего западного ветропереноса левобережье становится «приемником» отходящих выбросов возвышенного правобережья территории города, что ранее отмечено в литературе [37] и согласуется с результатами наших исследований.

Таким образом, применение методов биоиндикации состояния городской среды по показателю флуктуирующей асимметрии показало, что в городе Воронеж наибольший антропогенный прессинг испытывают микрорайоны, расположенные в промышленной и транспортной функциональных зонах. Наиболее благоприятными для комфортного жизнеобеспечения можно считать зоны рекреации и «частного жилого сектора».

Следует отметить, что применение биоиндикационных исследований является надежным инструментом для комплексной оценки качества городской среды. Конечно, следует учитывать, что причиной возникновения флуктуирующей асимметрии в определенной степени является генетическая обусловленность помимо антропогенной нагрузки [70]. Однако, проведенный выборочно-статистический анализ биоиндикационных признаков позволяет сделать вполне достоверный вывод о том, что данные о качестве среды, полученные на основе расчета интегрального показателя стабильности развития видов древесных растений, полностью согласуются с имеющейся информацией о концентрации различных поллютантов в атмосферном воздухе, а также со схемой расположения основных промышленно-транспортных источников загрязнения городской среды.

#### **4.2. Оценка экологического риска для здоровья населения**

Состояние здоровья населения – один из важнейших индикаторных показателей экологической безопасности городской среды, который отражает в определенной степени весь спектр неблагоприятных экологических воздействий на население. Дети, с одной стороны, особенно чувствительны к неблагоприятным экологическим воздействиям, но, с другой стороны, реагируют на факторы острого и сильного медико-биологического воздействия, а хронические отдаленные эффекты могут появиться у них значительно позднее, т.е. их адаптационный ресурс высок и может компенсировать, «отсрочить» до некоторого периода умеренные неблагоприятные хронические воздействия. Здоровье детей обычно отражает актуальную текущую ситуацию, но потому особенно значимо в любых медико-географических исследованиях.

Как видно из таблицы 4.2, где представлены показатели заболевае-

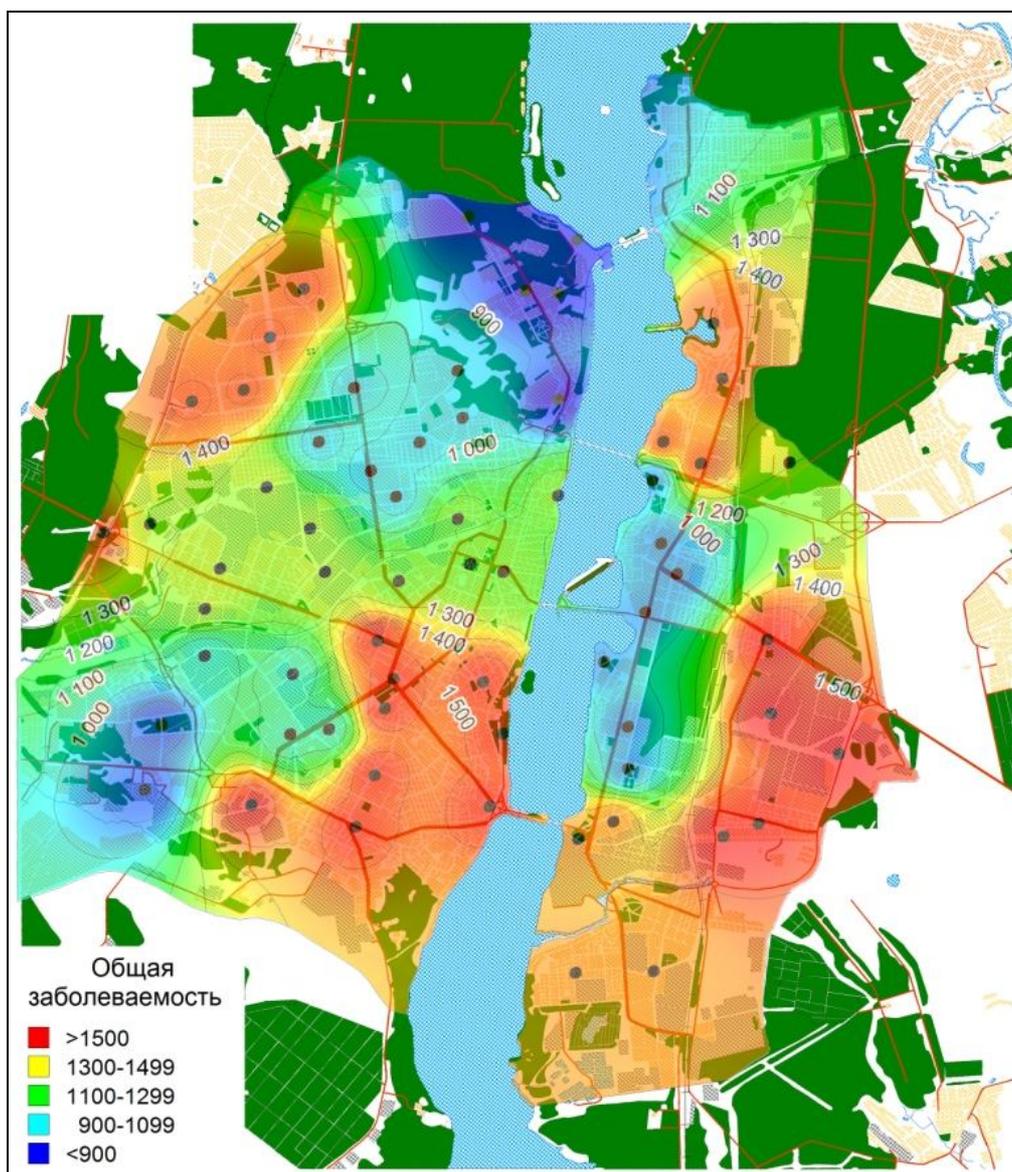
мости самыми распространенными болезнями (около 80 % всех случаев заболеваний), в целом в городе сложился вполне удовлетворительный уровень состояния здоровья детского населения.

Таблица 4.2

Среднегодовые показатели заболеваемости детского населения г.Воронежа (2009-2013 гг.) в сравнении с Российской Федерацией (2011 г.)

Поликлиники и показатели		Основные классы болезней (среднегодовое число случаев на 1000 детей)						
		общая заболеваемость	новооб-разования	болезни эндокринной системы	болезни нервной системы и органов-чувств	болезни органов дыхания	болезни мочеполовой системы	врожденные аномалии
П О Л И К Л И Н И К И	1	977,6	2,5	26,4	128,2	598,7	29,1	14,7
	2	1227,5	1,8	15,4	158,9	783,1	16,8	15,9
	3	1535,0	6,2	20,5	230,4	871,4	48,1	22,2
	4	868,5	0,4	16,5	173,4	475,4	12,1	3,9
	5	1491,0	4,6	19,9	212,2	907,7	21,2	20,1
	6	1441,6	2,9	17,8	133,2	965,2	34,7	24,4
	7	1546,1	5,6	42,3	206,5	877,3	25,2	10,6
	8	1295,2	0,3	16,8	192,2	833,4	17,1	21,1
	9	926,3	3,8	8,5	156,0	524,0	18,6	20,4
	10	1050,2	4,2	16,4	269,1	494,8	16,4	11,8
	11	1506,4	4,0	30,5	251,1	830,3	40,9	11,9
	1-СХИ	821,1	1,0	7,8	123,6	552,4	9,0	5,7
Среднегородской		1223,9	3,1	<b>19,9</b>	<b>186,2</b>	726,1	24,1	<b>15,2</b>
РФ		<b>1903,8</b>	<b>4,6</b>	17,0	156,3	<b>1203,4</b>	<b>31,9</b>	12,0
Среднегородской /РФ		0,64	0,67	<b>1,17</b>	<b>1,19</b>	0,60	0,76	<b>1,27</b>

По большинству классов болезней и по городу в целом показатели заболеваемости ниже общероссийских за исключением трех классов болезней: эндокринных (проблема детского сахарного диабета и болезней щитовидной железы), нервной системы и органов чувств (особенно неблагоприятны тенденции ухудшения здоровья школьников по данной патологии), а также уровню врожденных аномалий, что внушает особое опасение, т.к. это проблема ухудшения генофонда. Наиболее неблагоприятна территория 7 детской поликлиники в промышленном левобережье города (рис. 4.4).



*Рис. 4.4. Общая заболеваемость детского населения (среднегодовое число случаев на 1000 детей за 2009-2013 гг.)*

Локальные очаги неблагополучия прослеживаются и в двух секторах правобережья: в районе смешанной застройки селитебно-промышленно-транспортной зоны Центрального и Ленинского районов южной части города и в Северном жилом районе, который многие годы оставался вполне благополучным по уровню общественного здоровья, однако в последние 5 лет характеризуется постепенным ухудшением здоровья детей на фоне уплотнения застройки, снижения озеленения и резко возросшей автомобилизации.

Количественная оценка воздействия критериев промышленно-транспортного прессинга и экогеохимических показателей качества атмосферы, снега и почвы в целом показала вполне закономерную картину: преобладают положительные корреляции (около 60 % случаев), подтверждающие увеличение частоты заболеваний в районах, более техногенно нагруженных (таблица 4.3).

Таблица 4.3

Обобщение корреляционных связей в системе  
«техногенное воздействие - заболеваемость детского населения»

Критерии воздействия ( $\Pi_i$ )			Показатели заболеваемости («отклика»)	
группы критериев	показатели	% корреляций **	классы болезней	коэфф. корреляции с $\Pi_i$ ***
Критерии промышленно-транспортной нагрузки	коэффициент эмиссии канцерогенов ( $\Pi_{CR}$ )*	52,9	новообразования	0,52
			кожи	0,55
			врожден. аномалии	0,45
	$T_{лгк}$ *	94,1	крови	0,40
			нервной системы	0,54
			травмы и отравления	0,89
	$T_{грз}$ *	82,4	нервной системы	0,48
			травмы и отравления	0,82
	$T_{авт}$ *	88,2	нервной системы	0,51
травмы и отравления			0,82	
Атмосфера	оксид серы IV	100,0	общая заболеваемость	0,74
			эндокринные	0,63
			органов дыхания	0,67
			мочеполовой системы	0,56
	оксид азота IV	64,7	общая заболеваемость	0,56
			органов дыхания	0,59
			врожден. аномалии	0,78
	формальдегид	82,4	общая заболеваемость	0,70
			новообразования	0,42
			мочеполовой системы	0,63
	акролеин	82,4	общая заболеваемость	0,56
			новообразования	0,71
кожи			0,71	
$K_{атм}$	82,4	органов дыхания	0,73	
		врожден. аномалии	0,69	
Снежный покров	общая минерализация	82,4	общая заболеваемость	0,34
			мочеполовой системы	0,47
			врожден. аномалии	0,53
	$NO_3^-$	76,5	общая заболеваемость	0,34
			мочеполовой системы	0,40
			врожден. аномалии	0,65
	$Pb^{2+}$	47,1	новообразования	0,41
эндокринные			0,74	
кожи			0,87	
Почва	$Pb^{2+}$ (подвижная форма)	58,8	системы кровообращения	0,33
			врожден. аномалии	0,33
	СПЗ	82,4	общая заболеваемость	0,73
			новообразования	0,62
			врожден. аномалии	0,63

\*) подробные описания критериев - см. раздел 2.3.1.

\*\*) Удельный вес (%) положительных корреляций («степень воздействия»).

\*\*\*) Статистически достоверны коэффициенты корреляции  $>0,56$ .

В число приоритетных факторов риска здоровью по общему удельному весу положительных значимых корреляций вошли коэффициент эмиссионной нагрузки выбросов канцерогенных веществ от стационарных источников ( $P_{CR}$ ), но особенно – индексы автотранспортной загруженности, прежде всего, легковыми автомобилями, а также грузовыми транспортными средствами и автобусами. В таких районах у детей, как правило, выше частота появления болезней крови (анемий, вызванных техногенным загрязнением атмосферы, описанных в работах Ю.Е. Саен, Б.А. Ревич с соавт. [147] в промышленных городах Сибири), нервной системы и органов чувств, повышен травматизм. Большинство корреляций имеют заметное проявление и достоверны (на уровне  $r = +0,54 \div +0,82$ ).

Среди параметров загрязнения воздушного бассейна наибольшее воздействие связано с присутствием в атмосфере диоксида серы, который возрастает в концентрациях в холодный период года на фоне работы отопительных систем, предприятий теплоэнергетики, сезонного роста общей заболеваемости и болезней органов дыхания, а также акролеина, формальдегида, имеющего канцерогенный эффект, и суммарного загрязнения воздуха. При этом спектр наиболее реагирующих патологий однотипный (см. табл. 4.3): по мере увеличения загрязнения воздуха наблюдается прирост новообразований, респираторных болезней, заболеваний мочеполовой сферы и врожденных аномалий.

Среди индикаторных параметров химического загрязнения снежного покрова следует отметить те, которые отражают общее промышленно-транспортное загрязнение: общая минерализация, азотистые соединения (ионы  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ),  $Cl^-$ , а также наличие свинца в талом снеге. Спектр устойчиво «реагирующих заболеваний» сохраняется (врожденные аномалии, мочеполовые болезни), причем к ним добавляется комплекс эндокринных и кожных заболеваний (с  $Pb^{2+}$ ),  $r = +0,74$  и  $+0,87$  соответственно.

В меньшей степени свинец проявляет токсическое значение в почве, а наиболее информативен показатель СПЗ тяжелых металлов в почве.

Таким образом, информативность исследуемого комплекса критериев техногенного воздействия и загрязнения городской среды достаточно высока. В то же время критерии состояния здоровья и биоиндикационные критерии флуктуирующей асимметрии березы повислой, тополя пирамидального не имеют существенной взаимной корреляции, слабая тенденция достигает  $r = +0,10$ ,  $+0,11$  и несколько усиливается по новообразованиям ( $r = +0,17$ ), эндокринным болезням ( $r = +0,24$ ), патологии нервной системы и органов чувств ( $r = +0,28$ ), особенно – по врожденным аномалиям ( $r = +0,36$ ), которая возрастает при анализе интерполированных значений по картам здоровья и показателям стабильности развития, становясь досто-

верной по общей заболеваемости ( $r = +0,37$ ), эндокринной патологии ( $r = +0,46$ ) и врожденным аномалиям ( $r = +0,40$ ).

Это подтверждает определенную однотипность биотических реакций на неблагоприятное техногенное воздействие, причем, особое внимание следует обратить на то, что патологические реакции у детей проявляются в форме отклонений в развитии (ухудшение генофонда, появление врожденных аномалий, хромосомных нарушений) чаще в тех районах города, где и у древесных растений отмечаются более существенные морфологические отклонения в развитии листовых пластинок.

Однако факторы промышленно-транспортного прессинга имеют различные следствия: так, дети патологически реагируют, прежде всего, на автотранспортный прессинг и выбросы канцерогенов, ЗВ предприятий теплоэнергетики в холодный период года, а растения – на валовые выбросы ЗВ от стационарных источников (вещества 3-4 классов опасности, менее токсичные, но создающие запыленность воздуха, подщелачивающие городские почвы и, видимо, ухудшающие условия существования древесных видов растений). Интегральный показатель промышленно-транспортной нагрузки в целом более информативен для древесных растений, чем детей, здоровье которых определяется гораздо более разнообразными экологическими и социально-бытовыми условиями. Автотранспортный прессинг последних лет, однако, более неблагоприятен для населения (прогрессирует заболеваемость детей в ранее благополучных микрорайонах повышенной автомобилизации), чем для городской биоты, что подтверждают биоиндикационные и статистические медико-экологические исследования.

Проведена проверка соответствия потенциальной заболеваемости детей в результате расчета индексов канцерогенного и неканцерогенного рисков от загрязнения атмосферы и реальной заболеваемости (таблица 4.4.).

Полученные положительные корреляции преимущественно средней степени свидетельствуют о частичном соответствии модельных расчетов и реальной ситуации по заболеваемости, что требует обязательного учета в ходе организации экологического мониторинга городской среды. Преобладают тенденции корреляционной связи около  $r = +0,35$ ,  $+0,45$ , а наиболее существенны совпадения (степень доверия – 50 % и более,  $r$  достигают  $+0,67 \div +0,78$ ) отмечаются по канцерогенным рискам от присутствия формальдегида в воздухе, стирола и врожденных аномалий вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук», оксиду серы и суммарным неканцерогенным рискам, соответствующим динамике общей заболеваемости и патологии органов дыхания.

Таблица 4.4

Корреляционные связи индексов потенциального аэротехногенного риска здоровью и заболеваемости детского населения по районам обслуживания детских поликлиник города Воронежа

Индексы риска	Показатели (загрязняющие вещества)	Коэффициенты корреляции по классам болезней*				
		общая заболеваемость	новообразования	болезни органов дыхания	болезни мочеполовой системы	врожденные аномалии
Канцерогенный риск (CR)	формальдегид	0,70	0,43	0,58	0,62	0,44
	стирол	0,36	0,37	0,44	0,25	0,67
	суммарный риск (CI)	0,40	0,26	0,29	X	0,26
Неканцерогенный риск (NQ)	оксид углерода II	0,54	0,19	0,65	0,38	0,73
	оксид серы IV	0,74	0,33	0,67	0,56	0,35
	оксид азота IV	0,56	0,38	0,59	0,60	0,78
	пыль	0,64	0,34	0,71	0,30	0,67
	суммарный риск (NI)	0,78	0,41	0,76	0,55	0,69

*\*) Статистически достоверны коэффициенты корреляции > 0,56; знак «X» означает отсутствие значимой корреляции.*

Ранжирование классов болезней по ответному «отклику» на воздействие факторов риска в число приоритетных, наиболее информативных критериев здоровья позволило включить врожденные аномалии, новообразования (ранг 1, более 70 % значимых положительных корреляций с факторами риска), а также болезни эндокринной, мочеполовой, дыхательной систем и травматизм (ранг 2, от 60 до 70 % значимых корреляций). К ним приближаются болезни нервной и пищеварительной систем (ранг 3). Наименее информативны инфекции и относительно редкие у детей сердечно-сосудистые, костно-мышечные заболевания, не имеющие существенной экологической обусловленности в городе (таблица 4.5). Внушает опасение тот факт, что в число приоритетных вошли именно те классы болезней, которые в Воронежском регионе превышают общероссийский уровень.

По факторам наиболее сильного воздействия построены регрессионные модели для прогноза заболеваемости в случае прогрессирующего ухудшения качества воздушной среды и всего комплекса индикаторных промышленно-транспортных критериев риска, формирующих качество городской среды.

Таблица 4.5

Ранжирование классов болезней по уровню ответного отклика на воздействие промышленно-транспортных и геохимических факторов риска

Основные классы болезней	Удельный вес (%) положительных корреляций («степень отклика»)	Ранг значимости
<b>Общая заболеваемость</b>	<b>69,5</b>	-
<b>Врожденные аномалии</b>	<b>74,5</b>	<b>1</b>
<b>Новообразования</b>	<b>70,3</b>	
Болезни эндокринной системы	68,1	2
Болезни мочеполовой системы	65,5	
Травмы и отравления	64,0	
Болезни органов дыхания	62,1	
Болезни органов пищеварения	59,3	3
Болезни нервной системы и органов чувств	56,8	
Болезни кожи	44,7	4
Болезни крови	42,5	
Болезни перинатального периода	41,7	
Болезни костно-мышечной системы	41,0	
Инфекционные болезни	37,9	
Болезни системы кровообращения	34,3	5

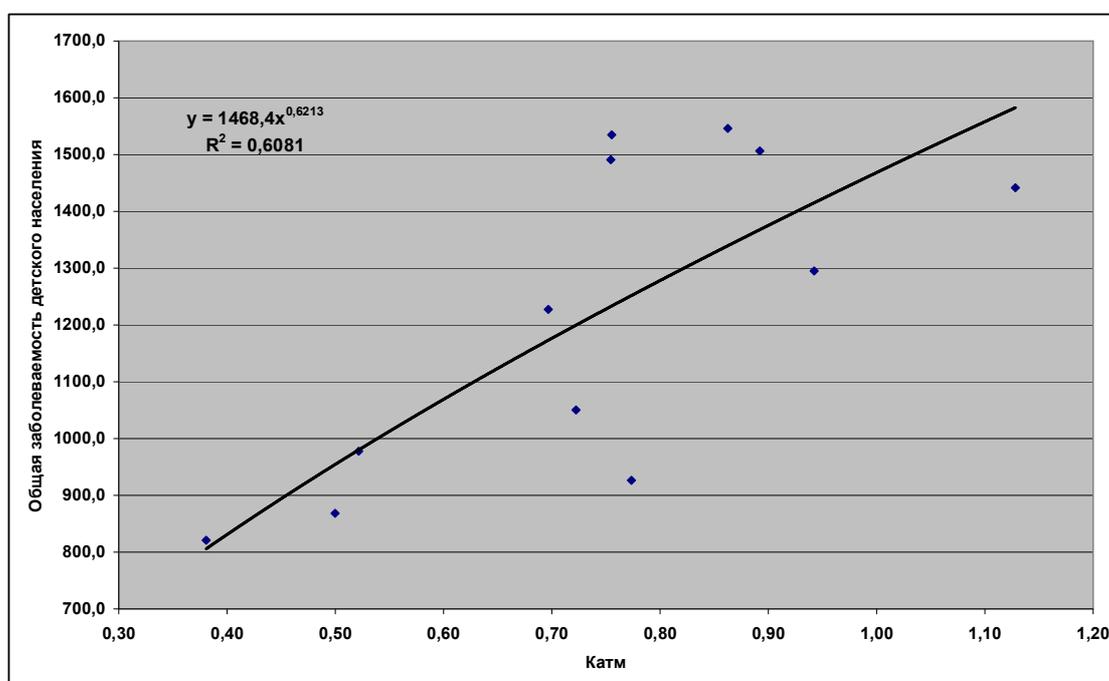


Рис. 4.5. Регрессионная модель зависимости общей заболеваемости детского населения от комплексного показателя антропогенного загрязнения атмосферы ( $K_{атм}$ )

На рисунке 4.5. показана однофакторная степенная модель для общей заболеваемости, а на рисунке 4.6 – структурная многофакторная модель, иллюстрирующая совокупное влияние приоритетных факторов техногенного загрязнения на общую заболеваемость детского населения. Адекватность и достоверность модели подтверждается логикой попарных и множественных корреляций, а также согласованностью модельных расчетов с данными фактической заболеваемости детей в техногенно нагруженных микрорайонах города.

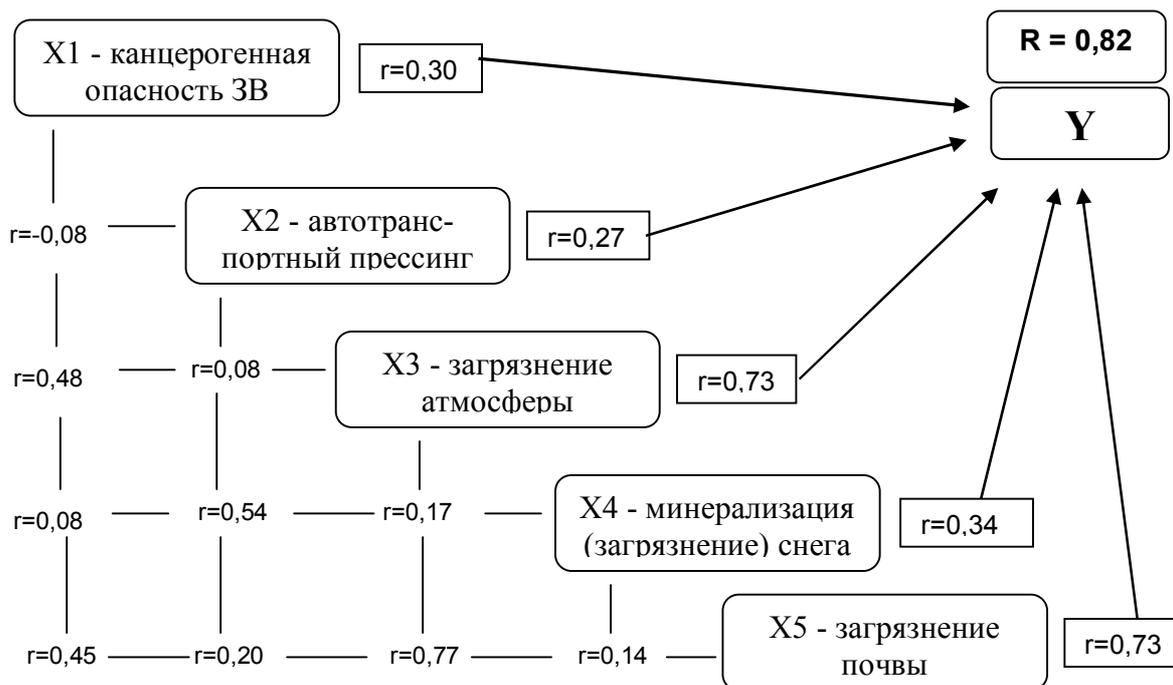


Рис. 4.6. Система корреляционных связей ( $r$ ) между переменными и модель множественной линейной регрессии, характеризующая зависимость общей детской заболеваемости ( $Y$ ) от факторов техногенного загрязнения городской среды

$X1...X5$  - факторы риска;  $R$  - коэффициент множественной корреляции;

$$Y = - 88,34 - 25,18(X1) + 0,0037(X2) + 545,59(X3) + 4,70 (X4) + 8,93 (X5)$$

где:

$X1$  - ( $\Pi_{CR}$ )-коэффициент эмиссионной нагрузки выбросов канцерогенов ( $m/год$  на  $1 км^2$ );

$X2$  - ( $T_{атм}$ )- общая интенсивность движения автотранспорта ( $авт/час$  на  $1 км^2$ );

$X3$  - комплексный показатель загрязнения атмосферы ( $K_{атм}$ );

$X4$  - показатель общей минерализации снежного покрова ( $мг/л$ );

$X5$  - суммарный показатель загрязнения почвы тяжелыми металлами (СПЗ).

Таким образом, полученные результаты подтверждают обусловленность наиболее опасных заболеваний населения (новообразований, врож-

денных аномалий, эндокринной и мочеполовой сферы) уровнем техногенного прессинга на городскую среду. Видимо, эти патологии можно рассматривать как экологически обусловленные в городе, а главным фактором риска следует рассматривать все возрастающую автомобильную нагрузку на среду обитания, формирующую повышенное загрязнение как атмосферного воздуха, так и других транзитных и депонирующих сред – снега, почвы, влияющих на биоту и население города. Полученные результаты – основа интегральной экологической оценки городской среды.

### **4.3. Интегральная оценка и геоинформационное картографирование экологического состояния городской среды**

Комплексная экологическая оценка состояния городской среды выполнена нами в трех основных направлениях, отражающих степень генерализации исходных и аналитических экогеоданных, а именно:

- по функционально-планировочным зонам (6);
- по территориям обслуживания детских поликлиник города (12);
- по формально-территориальному принципу анализа состояния городской среды (по 46 наиболее репрезентативным точкам, где проводился отбор и анализ проб атмосферы, снега, почвы, листьев растений, рассчитаны критерии промышленно-транспортной нагрузки на единицу площади и стандартизированные показатели заболеваемости детского населения по результатам геоинформационного картографирования и формальной интерполяции количественных показателей).

#### ***Экологическая оценка функционально-планировочных зон***

Типичные экологические параметры функционально-планировочных зон и фоновой территории отражены в таблице 4.6. В целом опасного загрязнения среды не наблюдается, однако, промышленная и транспортная зоны характеризуются повышенным загрязнением практически всех природных сред и явным увеличением показателя флуктуирующей асимметрии березы повислой. Причем, промышленная зона лидирует по суммарному загрязнению воздуха, а транспортная - по суммарному загрязнению почвы и снежного покрова.

Причиной снижения концентраций свинца в почве промышленной зоны может являться преимущественно углеводородный состав выбросов ЗВ предприятиями города, что не способствует накоплению этого токсиканта в среде обитания.

Для промышленной функциональной зоны характерны периодические превышения ПДК<sub>м.р.</sub> по содержанию оксида углерода II, оксида азота IV, формальдегида, взвешенных веществ, фенола от 1,2 до 5,3 раз.

Таблица 4.6.

Основные критерии экологического состояния  
функционально-планировочных зон г.Воронежа

Функцио- нально- планировоч- ные зоны	Атмосфера (вещества - мг/м <sup>3</sup> )				Снег			Почва		Био- та*
	ок- сид серы IV	фор- маль- дегид	фе- нол	K <sub>атм</sub>	pH	мине- рализа- ция, (мг/л)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (мг/л)	Сви- нец (мг/кг, подв.)	СПЗ	Бе- реза по- ви- слая
Жилая (СП)	0,071	0,037	0,072	0,48	6,03	123,9	8,10	2,26	29,8	0,043
Жилая (ЦИ)	0,050	0,069	0,101	0,66	6,27	109,5	8,69	2,99	23,4	0,037
Жилая (ЧС)	0,081	0,083	0,071	0,55	5,72	112,9	3,25	2,71	18,0	0,033
Промышлен- ная (Пр)	0,138	0,179	0,251	1,05	6,11	135,0	9,73	2,45	52,9	0,053
Транспортная (Тр)	0,144	0,181	0,202	0,97	6,55	143,5	17,30	3,92	66,0	0,052
Селитебно- рекреационная (Р)	0,036	0,014	0,032	0,31	5,74	116,0	5,80	2,02	12,2	0,035
Фон	0,028	0,007	0,029	0,26	5,39	104,5	1,56	2,00	16,1	0,029

\*) показатель стабильности развития.

Оценка канцерогенного риска для здоровья населения, проведенная по результатам лабораторных исследований качества атмосферного воздуха, показала, что неприемлемые уровни индивидуального канцерогенного риска (более  $1 \cdot 10^{-4}$ ) отмечаются по воздействию оксида хрома (VI) и 1,3-бутадиена в основном в Левобережном секторе города вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук», где до сих пор жилая зона частично внедряется в санитарно-защитную зону предприятия, обуславливая повышенную канцерогенную опасность для населения.

В целом в промышленной функциональной зоне отмечаются наибольшие значения суммарного индивидуального канцерогенного риска для детского населения (до  $4,38 \cdot 10^{-4}$ ) (таблица 4.7) [32].

При оценке хронического ингаляционного воздействия установлено, что коэффициенты опасности, характеризующие неканцерогенный риск, превышали приемлемый уровень ( $HQ > 1$ ) по 4 веществам: оксиду серы IV, оксиду азота IV, формальдегиду, взвешенным веществам. Наиболее значительный неканцерогенный риск обусловлен присутствием в атмосферном воздухе формальдегида (таблица 4.8).

Таблица 4.7

## Индивидуальный канцерогенный риск (CR)

Функцио- нально- планировоч- ная зона	Индивидуальный канцерогенный риск (CR)						
	фор- маль- дегид	свинец	сажа (угле- род)	оксид хрома VI	1,3- бутади- ен	стирол	$\Sigma$ CR (CI)*
Промышленная	$5,01 \cdot 10^{-6}$	$5,50 \cdot 10^{-8}$	$8,93 \cdot 10^{-6}$	$1,18 \cdot 10^{-4}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$4,38 \cdot 10^{-4}$
Транспортная	$5,05 \cdot 10^{-6}$	$5,86 \cdot 10^{-8}$	$4,97 \cdot 10^{-6}$	$8,28 \cdot 10^{-5}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-8}$	$3,82 \cdot 10^{-4}$
Жилая (СП)	$1,48 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$	$6,51 \cdot 10^{-6}$	$7,35 \cdot 10^{-5}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$3,88 \cdot 10^{-4}$
Жилая (ЦИ)	$2,39 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$	$6,55 \cdot 10^{-6}$	$9,07 \cdot 10^{-5}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^{-8}$	$4,06 \cdot 10^{-4}$
Жилая (ЧС)	$2,76 \cdot 10^{-6}$	$5,13 \cdot 10^{-8}$	$6,05 \cdot 10^{-6}$	$8,82 \cdot 10^{-5}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$4,03 \cdot 10^{-4}$
Селитебно- рекреационная	$7,08 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$	$5,96 \cdot 10^{-6}$	$7,35 \cdot 10^{-5}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$3,69 \cdot 10^{-4}$
Фон	$4,28 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$	$5,96 \cdot 10^{-6}$	$7,35 \cdot 10^{-5}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$3,86 \cdot 10^{-4}$

\*) суммарный индивидуальный канцерогенный риск.

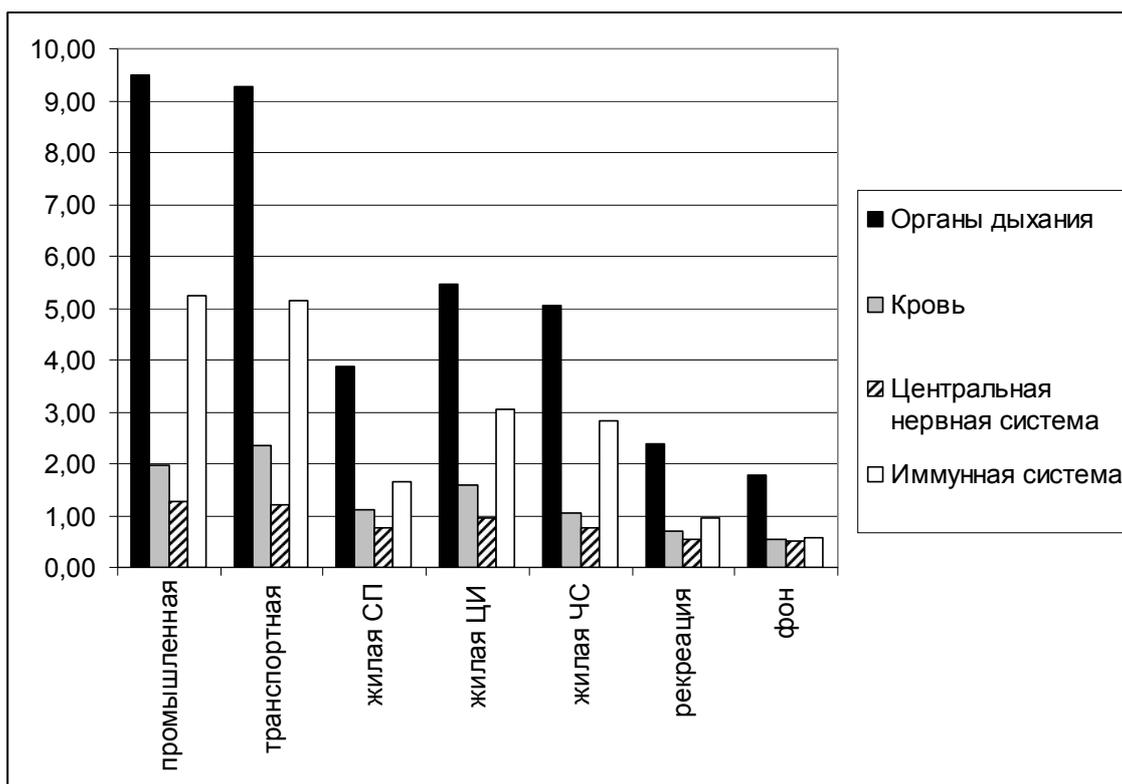
Таблица 4.8

## Неканцерогенный риск (коэффициенты опасности при оценке хронического ингаляционного воздействия, HQ)

Вещество*	Функционально-планировочные зоны*						
	про- мыш- лен- ная	транс- порт- ная	жилая (СП)	жилая (ЦИ)	жилая (ЧС)	рек- реа- цион- ная	фон
Оксид углерода	0,49	0,48	0,35	0,47	0,35	0,23	0,20
<b>Оксид серы IV</b>	<b>1,38</b>	<b>1,44</b>	0,71	0,50	0,81	0,36	0,28
<b>Оксид азота IV</b>	<b>1,26</b>	<b>1,62</b>	0,57	0,90	0,50	0,29	0,14
<b>Формальдегид</b>	<b>3,11</b>	<b>3,14</b>	0,92	<b>1,49</b>	<b>1,71</b>	0,44	0,27
<b>Пыль (взвешенные вещества)</b>	<b>2,13</b>	<b>2,00</b>	0,73	<b>1,55</b>	<b>1,12</b>	0,50	0,31
Свинец	0,22	0,24	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20
Сажа (углерод)	0,99	0,55	0,72	0,72	0,67	0,66	0,66
Фенол	0,58	0,49	0,22	0,29	0,22	0,12	0,11
Оксид железа III	0,04	0,02	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00
Озон	0,87	0,35	0,22	0,33	0,29	0,24	0,22
Стирол	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00

\*) жирным шрифтом выделены наиболее опасные ситуации.

При оценке однонаправленного воздействия веществ установлено, что неприемлемый уровень неканцерогенного риска ( $HI > 1$ ) характерен для потенциального развития патологий органов дыхания, кроветворной системы, центральной нервной и иммунной систем (рис. 4.7).



*Рис. 4.7. Неканцерогенный риск, обусловленный однонаправленным воздействием загрязняющих веществ на критические органы и системы организма человека (индекс опасности - HQ)*

Превышения приемлемого уровня неканцерогенного риска ( $HI > 1$ ) выявлены по следующим органам и системам: а) в промышленной зоне – по болезням органов дыхания ( $HI$  – до 9,50), неблагоприятному воздействию на иммунную систему ( $HI$  – до 5,24), болезням центральной нервной системы ( $HI$  – до 1,29); б) в транспортной зоне – по болезням крови ( $HI$  – до 2,34).

В целом по суммам коэффициентов опасности ( $\Sigma HQ$ ), характеризующих неканцерогенный риск при хроническом ингаляционном воздействии загрязняющих веществ, неблагоприятие наиболее выражено в промышленной и транспортной функционально-планировочных зонах, риски здоровью в которых выше фонового уровня в 4,6 и 4,3 раза соответственно (рис. 4.8).

Применение кластерного анализа позволило более достоверно классифицировать функционально-планировочные зоны по сходству характера загрязнения среды и ответным реакциям древесных растений (рис. 4.9 и таблица 4.9).

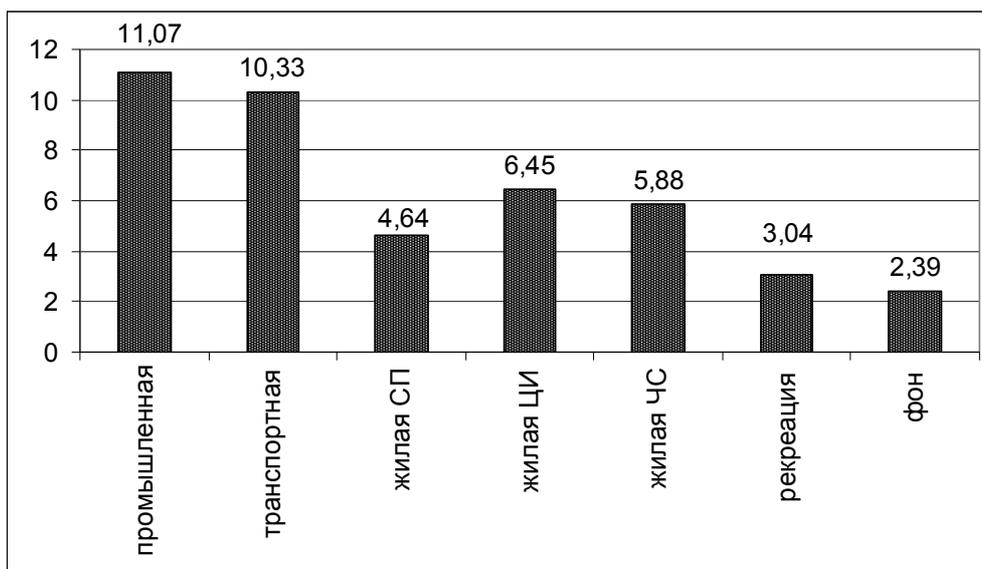


Рис. 4.8. Сумма коэффициентов опасности ( $\Sigma HQ$ ), характеризующих неканцерогенный риск при хроническом ингаляционном воздействии

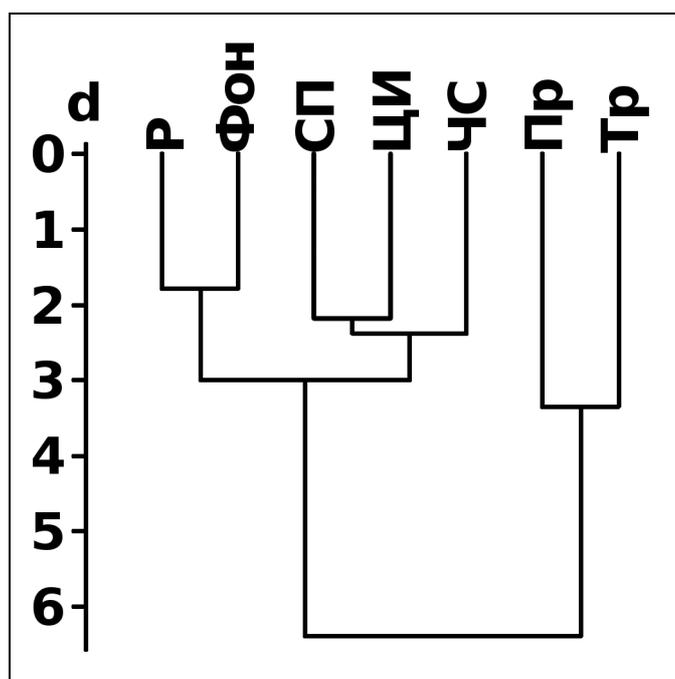


Рис. 4.9. Кластерная дендрограмма сходства функционально-планировочных зон по экологическим критериям (названия зон см. в табл. 4.6);  $d$  - дистанционный коэффициент, характеризующий среднее внутрикластерное расстояние

Выделяются отчетливо три кластерные группы: а) промышленная и транспортная зоны совместно (наиболее техногенно загрязненные); б) селитебная, объединяющая все подзоны независимо от этажности и историко-композиционного построения (территории умеренного загрязнения); в)

селитебно-рекреационная и фон (наиболее экологически безопасные, комфортные).

Таблица 4.9.

Результаты кластерной классификации функционально-планировочных зон (разделяющая «дивизивная стратегия»)

Однородные группы /кластеры/	Номера объектов	Наименования функционально-планировочных зон
<b>Вариант А - 2 кластера (среднее внутрикластерное расстояние =1,76)</b>		
1	1, 2, 3, 6*, 7	селитебные (ЦИ, СП, ЧС), селитебно-рекреационная*, фон
2	4*, 5	промышленная*, транспортная
<b>Вариант Б - 3 кластера (среднее внутрикластерное расстояние =1,29)</b>		
1	1, 2, 3, 6*, 7	селитебные (ЦИ, СП, ЧС), селитебно-рекреационная, фон
2	4*	промышленная*
3	5*	транспортная*

\*) наиболее типичный член группы.

Для вариантов классификации А и Б сохраняется общность объектов 1 группы, в то время как различие промышленной (4 объект) и транспортной (5 объект) зон больше, поскольку их загрязнение формируется различными источниками (стационарными и передвижными), однако, по совокупности уровней загрязнения атмосферы и почвы эти зоны сближаются. В перспективном градостроении нужно, видимо, стремиться к рассредоточению и более четкому обособлению рекреационных и селитебных зон от промышленных и транспортных, которые плотно сконцентрированы и перемежаются, создавая локальные очаги экологического неблагополучия для биоты и населения города.

#### **Экологическая оценка территорий обслуживания детских поликлиник**

Интегральная оценка экологического состояния поликлинических районов города проведена по системе выявленных нами ранее индикаторных показателей техногенного загрязнения, общей заболеваемости детей (см. рисунок 4.6), а также с использованием данных по показателям стабильности развития древесных растений (березы повислой и тополя пирамидального). Применили два статистических метода для сравнения: а) метод взвешенных баллов и б) кластерный анализ.

Статистический метод взвешенных баллов удобен для объединения множества экологических признаков, типизации территории, когда целесообразно выделить один ведущий фактор (в нашем случае – заболеваемость населения). Тогда с помощью коэффициентов взвешивания, осно-

ванных на корреляционных взаимоотношениях других признаков (факторов риска) с ведущим фактором, определяются добавочные поправки на «значимость» признаков. В итоге рассчитывается интегральный оценочный балл («гипотетический фактор») путем вычисления средневзвешенного балла, характеризующего интенсивность проявления исследуемого процесса (например, степень медико-экологической напряженности территории по совокупности частных показателей экологического состояния и здоровья населения). Результаты расчетных процедур показаны в таблице 4.10, а территориальная типизация – на рисунке 4.10.

Таблица 4.10

Типизация территории города Воронежа по интегральному риску экологически обусловленных заболеваний населения (статистический метод взвешенных баллов)

Поликлинические районы	Критерии медико-экологической напряженности*							Индекс риска***
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y	
1	0,96	1662	0,52	131,6	29,6	0,053	977,6	<b>3,66</b>
2	0,24	3197	0,70	136,1	29,2	0,041	1227,5	<b>5,06</b>
3	3,18	2228	0,76	152,5	44,8	0,048	1535,0	<b>8,33</b>
4	0,001	1001	0,50	113,0	16,1	0,046	868,5	<b>1,27</b>
5	1,10	1395	0,75	118,4	59,5	0,049	1491,0	<b>5,87</b>
6	2,63	595	1,13	118,9	52,8	0,043	1441,6	<b>5,23</b>
7	5,46	1643	0,86	116,2	57,2	0,056	1546,1	<b>8,33</b>
8	2,44	1592	0,94	142,0	50,2	0,063	1295,2	<b>7,42</b>
9	5,18	1226	0,77	117,9	39,4	0,059	926,3	<b>4,26</b>
10	1,15	2588	0,72	120,1	52,1	0,054	1050,2	<b>6,21</b>
11	0,04	1943	0,89	121,4	38,3	0,044	1506,4	<b>8,20</b>
1-СХИ	0,000003	359	0,38	113,6	13,3	0,033	821,1	<b>0,60</b>

**расчетные параметры весовой значимости переменных\*\***

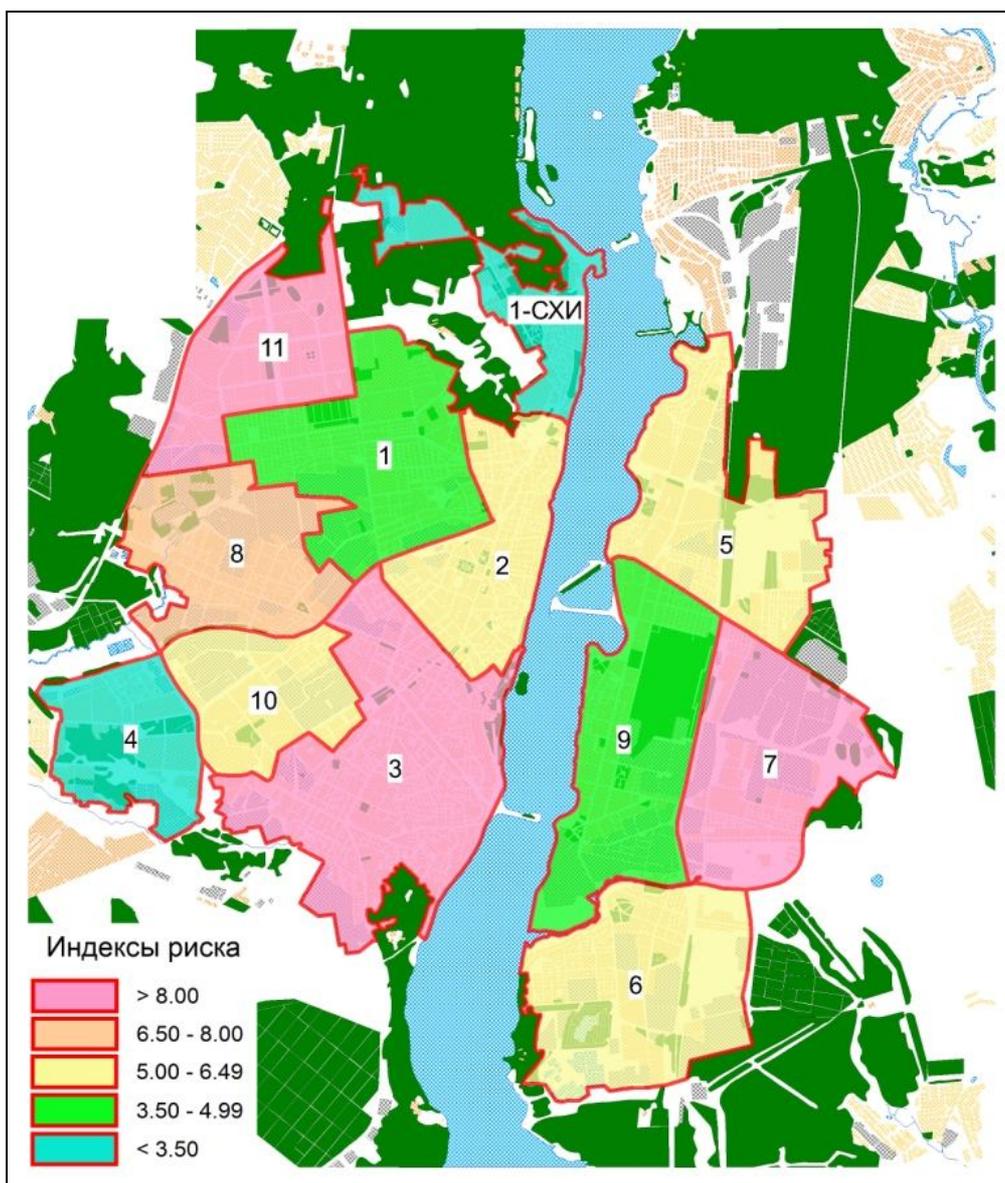
Коэффициенты корреляции ( r )	0,30	0,27	0,73	0,34	0,73	0,10	1,00	<b>R=0,89</b>
Статистические веса ( P )	0,41	0,37	1,00	0,46	1,00	0,14	1,36	

\*) X1...X5 – наименования см. в подписи к рисунку 4.6; X6 – средний показатель стабильности развития видов (березы повислой и тополя пирамидального); Y – ведущий критерий (общая заболеваемость детского населения).

\*\*) r – корреляция с ведущим фактором; P – отношение расчетного коэффициента корреляции к максимальному по факторам риска (0,73); R – коэффициент множественной корреляции между Y и (X1...X6).

\*\*\*) Индекс медико-экологического риска, рассчитываемый по формуле (где X1...X6, Y – выражены ранговыми значениями по каждой переменной: 1 – минимальное число, 12 – максимальное число):

$$\text{Индекс риска} = 0,143 \cdot (0,41 \cdot X1 + 0,37 \cdot X2 + X3 + 0,46 \cdot X4 + X5 + 0,14 \cdot X6 + 1,36 \cdot Y)$$



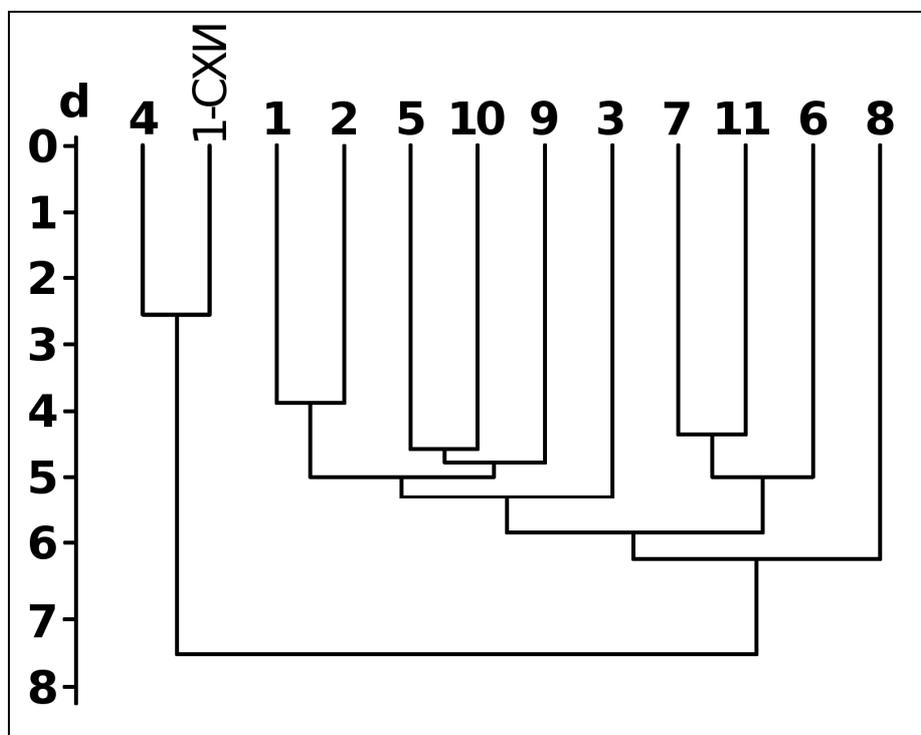
*Рис. 4.10. Интегральная оценка экологического состояния территории города Воронежа (по 12 поликлиническим районам)*

В результате применения данного метода определен ранг медико-экологической напряженности для каждого поликлинического района. Наиболее высокая медико-экологическая напряженность отмечена на правом берегу – на территории 3 поликлиники, а на левобережье – в промышленно-транспортном районе 7 детской поликлиники.

По большинству медико-экологических критериев наиболее безопасны с экологической точки зрения два окраинных «спальных» микрорайона – в районе Агроуниверситета (1-СХИ) и юго-западной окраины (4 детская поликлиника). В отличие от ситуации примерно 10-ти летней давности, описанной для г.Воронежа в работах Н.П. Мамчика, С.А. Куролапа, О.В. Клепикова с соавт. [101, 178] происходит ухудшение качества городской среды в Северном районе города, который интенсивно застраивается.

Особенно неблагоприятна тенденция роста заболеваемости детей в этом районе вполне благополучном районе города. Причем состояние биоты в этом районе близко к норме, что свидетельствует о возможном участии в формировании общественного здоровья не только экологических, но и социально-обусловленных, например, стрессовых факторов риска. Однако, эта гипотеза требует специальных исследований за пределами данной работы.

*Кластерный анализ* – метод многомерной классификации, основанный на равенстве всех анализируемых признаков, – позволил классифицировать поликлинические районы по сходству проявления как факторов техногенного загрязнения, так и биотических, медико-экологических критериев. Результаты классификации показаны на дендрограмме сходства (рис. 4.11.) и на примере выделенных однородных кластерных групп районов (таблица 4.11).



*Рис. 4.11. Кластерная дендрограмма сходства поликлинических районов по медико-экологическим критериям (X1...X6, Y - см. табл. 4.10); d - дистанционный коэффициент, характеризующий среднее внутрикластерное расстояние*

Примененный метод позволил выделить 4 группы районов, различающихся по сочетаниям диагностических признаков: условно-чистую зону, территорию типичной городской инфраструктуры смешанного типа по функционально-планировочной организации (умеренного риска) и две зоны техногенно загрязненные, но различающиеся по сочетанию факторов

промышленно-транспортного загрязнения и ответным реакциям биоты и населения (повышенного риска). Качественные и количественные различия этих зон отражены в таблицах 4.11 и 4.12.

Таблица 4.11

Результаты кластерной классификации поликлинических районов  
(разделяющая «дивизивная стратегия»)

Кластеры	Номера объектов (поликлиник)	Обобщенная характеристика кластерной группы
<i>(среднее внутрикластерное расстояние =2,90)</i>		
1	4*, 1-СХИ	условно-чистая зона (наиболее экологически безопасная для городской биоты и населения) – зона низкого риска
2	1, 2*, 5, 9, 10	территория типичной городской инфраструктуры с преобладанием жилой застройки в территориальном балансе; умеренно техногенно загрязненная; с пониженной заболеваемостью детей и слабыми биотическим реакциями древесных растений – зона умеренного риска
3	8*	промышленно-транспортная загрязненная зона с максимальной техногенной нагрузкой на воздушный бассейн и почву; наиболее неблагоприятная для обитания древесных растений, но незначительно повышенной заболеваемостью детей (компенсированное состояние) – зона повышенного риска
4	3, 6, 7, 11*	техногенно загрязненная зона с повышенной канцерогенной опасностью и высокой заболеваемостью детей при слабых биотических реакциях древесных растений (зона риска, вызывающего опасение для населения) – зона повышенного риска

\*) наиболее типичный член группы.

Таблица 4.12

Средние значения факторов риска и критериев состояния биоты, заболеваемости детей по однородным группам поликлинических районов\*

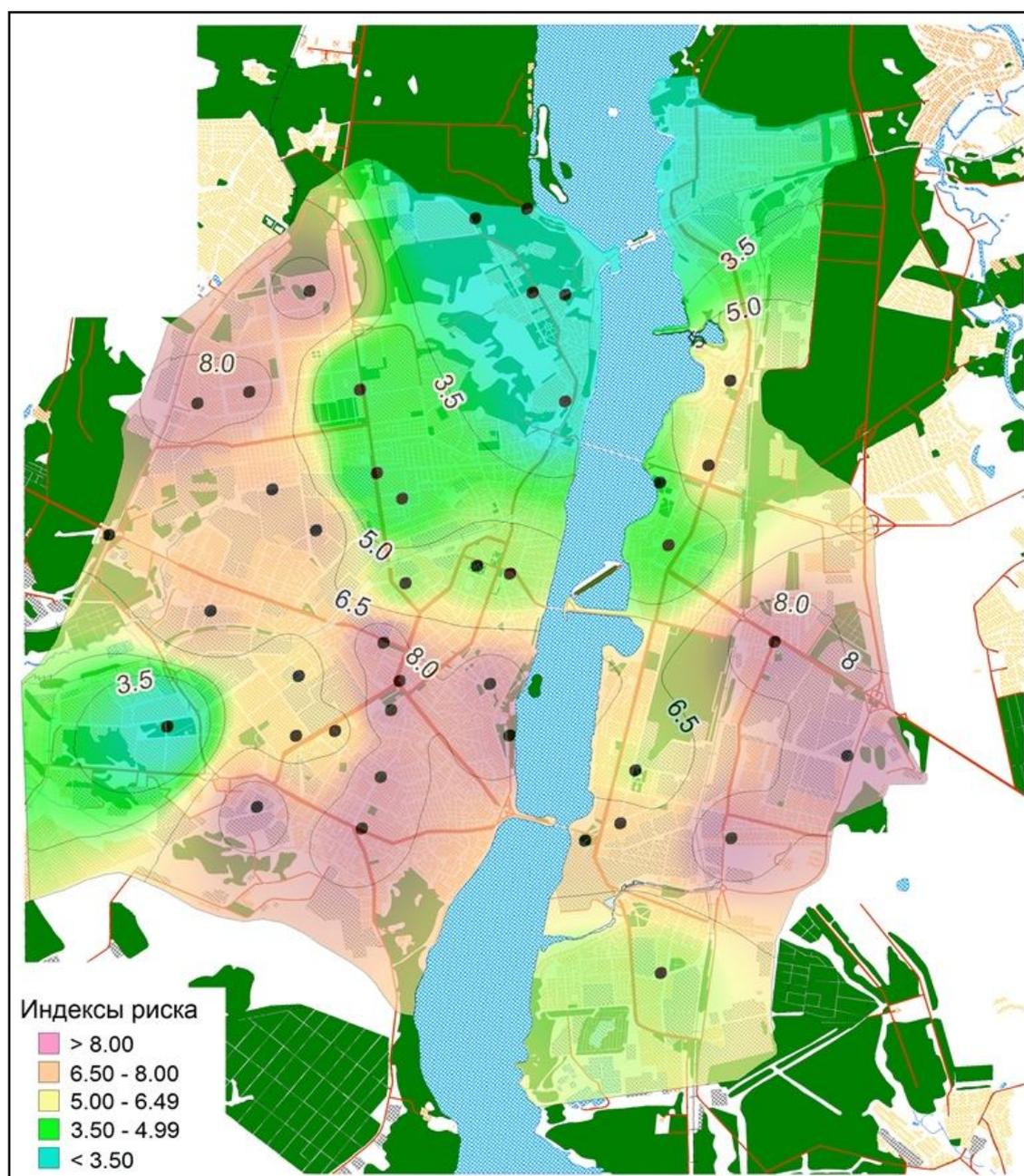
Кластеры	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y	Индекс риска
1	0,0003	680	0,44	113,3	14,7	0,040	844,8	<b>0,94</b>
2	1,73	2013	0,69	124,8	41,9	0,051	1134,5	<b>5,01</b>
3	2,44	1592	0,94	142,0	50,2	0,063	1295,2	<b>7,42</b>
4	2,83	1602	0,91	127,3	48,3	0,048	1507,3	<b>7,52</b>

\*) наименования признаков соответствуют таблице 4.10.

Несмотря на отдельные различия в системе типизации районов, в целом оба метода подтвердили вполне закономерную обусловленность уровня общественного здоровья и биотических реакций растений характером техногенного загрязнения городской среды.

### *Интегральная экологическая оценка территории города*

Завершающим элементом интегральной оценки стало создание карты, отражающей градиентные различия индексов экологического риска с обработкой данных по 46 наиболее репрезентативным пунктам мониторинга. Построенная карта (рис. 4.12) иллюстрирует территориальные различия, достигающие примерно 3-х кратного уровня по различиям индексов риска в благополучных окраинных «спальных» микрорайонах и территории общественного центра, а также промышленно-транспортных зон города.



*Рис. 4.12. Интегральная оценка экологического состояния территории города Воронежа (метод IDW - интерполяции)*

Метод IDW - интерполяции вполне адекватно характеризует общую экологическую обстановку территории города. Градиент повышения экологического риска прослеживается по направлению «Авторынок в Северном жилом районе правобережья - ул. 9-е Января - ул. 20 лет Октября, ул. Ворошилова, ул. Грамши - к Вогрэвоскому мосту и далее (левобережье) - от Вогрэвовского моста - по ул. Циолковского и ул. Героев Стратосферы в микрорайон ВАИ». Минимальные экологические риски характерны для северного (микрорайон Агроуниверситета) и юго-западных окраинных секторов города.

Применение факторного анализа в форме метода главных компонент по 16 приоритетным признакам, классифицированным на параметры техногенного воздействия и критерии «отклика» (древесных растений и населения) позволило установить следующие закономерности внутренних связей между исследуемыми признаками (таблица 4.13).

Таблица 4.13

Результаты факторного анализа: факторные нагрузки и дисперсия (%)

Признаки*	Наименования признаков		Факторы (главные компоненты)**				
			1	2	3	4	5
X1	атмосфера	оксид серы IV	0,21	<b>0,84</b>	0,07	0,16	-0,08
X2		формальдегид	0,05	<b>0,87</b>	0,06	-0,10	<b>0,36</b>
X3		оксид азота IV	-0,04	<b>0,51</b>	0,12	<b>-0,54</b>	<b>0,50</b>
X4		Катм	0,02	<b>0,76</b>	0,05	<b>-0,34</b>	<b>0,44</b>
X5	снег	pH	-0,01	-0,08	<b>-0,81</b>	-0,24	-0,23
X6		минерализация	0,12	-0,13	<b>-0,67</b>	0,15	0,12
X7		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,01	0,03	<b>-0,85</b>	-0,09	0,02
X8	почва	Pb <sup>2+</sup>	0,06	0,20	0,06	0,16	<b>0,70</b>
X9		СПЗ	0,14	<b>0,86</b>	0,03	-0,09	0,02
Y10	биота	тополь-асимметрия	0,22	0,04	-0,13	<b>-0,34</b>	<b>0,62</b>
Y11	здоровье детского населения	общая заболеваем	<b>0,83</b>	0,18	-0,03	-0,27	0,19
Y12		новообразования	<b>0,87</b>	0,05	-0,07	-0,15	-0,02
Y13		эндокринные болезни	<b>0,68</b>	0,12	0,10	0,25	<b>0,49</b>
Y14		нервные болезни	<b>0,79</b>	0,15	-0,20	0,16	0,00
Y15		мочеполовые болезни	<b>0,76</b>	0,00	0,11	<b>-0,49</b>	0,09
Y16		врожденные аномалии	0,21	0,01	-0,17	<b>-0,90</b>	-0,06
Дисперсия (%)			20,6	19,9	12,3	12,0	11,3

\*) признаки, индексируемые «X» - критерии техногенного воздействия;

«Y» - индикаторы ответного отклика (биотические реакции и здоровье детей).

\*\*) **жирным шрифтом** выделены факторные нагрузки, обладающие наибольшей информативностью в каждом гипотетическом факторе (признаки, формирующие и определяющие специфические черты соответствующей главной компоненты).

Дисперсия каждого фактора означает информативность соответствующей главной компоненты (в таблице 4.13 они расположены в порядке снижения информативности).

Всего в исследуемом комплексе признаков выделяется 5 факторов (главных компонент). Первый, наиболее информативный фактор характеризует общность критериев заболеваемости детей (за исключением врожденных аномалий) как основной системообразующий фактор в нашем исследовании. Второй фактор отражает аэрогенное загрязнение городской среды, которое существенно влияет на суммарное загрязнение почвы. Третий фактор выделяется по специфичности загрязнения снежного покрова, которое проявляется сезонно и не вполне согласуется с общим загрязнением атмосферы и почвы. Четвертый фактор отражает закономерность неблагоприятного влияния окислов азота и суммарного загрязнения воздушного бассейна (видимо, вследствие автотранспортной загруженности) на появление у детей врожденных аномалий развития и увеличение частоты болезней мочеполовой системы, а также в меньшей степени – неблагоприятных реакций со стороны древесных растений. Пятый наименее информативный, но интересный в содержательном отношении фактор показывает обусловленность неблагоприятных реакций древесных растений и рост эндокринной патологии в микрорайонах повышенного загрязнения почвы свинцом, азотистых соединений и формальдегида в атмосфере, что, скорее всего, является последствием интенсивного автотранспортного воздействия.

Выявленные закономерности отражают специфику техногенного загрязнения среды обитания города Воронежа и могут рассматриваться как основа углубления исследований в области изучения биотических реакций растений и населения на вредные экологические воздействия.

## **ГЛАВА 5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГОРОДСКОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОРОНЕЖА)**

Осуществленная интегральная экологическая оценка состояния городской среды - одно из важнейших условий обеспечения экологической безопасности (ЭБ) населения города Воронежа. Создание городской системы ЭБ базируется на перспективных эколого-аналитических исследованиях, продолженных нами в 2014-2015 гг.

### **5.1. Современная эколого-гигиеническая ситуация территории города**

В 2014 году, так же, как и в предыдущие годы, осуществлялся мониторинг состояния окружающей среды территории города Воронежа.

В целом, эколого-гигиенический фон территории города в 2014 г. оставался стабильным и незначительно отличался от данных 2009-2013 гг., использованных при проведении интегральной оценки экологического состояния городской среды.

Систематические наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха на территории Воронежа с отбором среднесуточных проб в 2014 году проводились ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» на 5 маршрутных постах в тех же мониторинговых точках контроля, что и в предыдущие годы.

По данным регионального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга (СГМ) в 2014 г. регистрировались превышения ПДК<sub>с.с.</sub> 4-х веществ из 16 систематически контролируемых: азота диоксида, фенола, серы диоксида, стирола. Наиболее часто регистрировались превышения нормативов для воздуха населенных мест по содержанию диоксида азота (в 26,0% проб - от 1,1 до 2,0 ПДК<sub>с.с.</sub>; в 1,0% проб - от 2,1 до 5 ПДК<sub>с.с.</sub>) и фенола (в 13,0% проб - от 1,1 до 2,0 ПДК<sub>с.с.</sub>, в 6,0% проб - от 2,1 до 5 ПДК<sub>с.с.</sub>). Превышение нормативов по содержанию диоксида серы отмечено в 1,0% проб, стирола – в 2,5% проб.

Мониторинговые точки контроля, в которых отмечались превышения ПДК<sub>с.с.</sub> загрязняющих веществ в 2014 г., представлены на рисунке 5.1. Анализ данных в разрезе мониторинговых точек контроля свидетельствует, что наиболее неблагоприятная ситуация в 2014 г. отмечалась в районе расположения маршрутных постов по ул. 20 лет Октября, 94 и ул. Героев Стратосферы, 8, на которых регистрировалось превышение гигиенических нормативов в 8,6% и 8,4% проб соответственно (таблица 5.1).

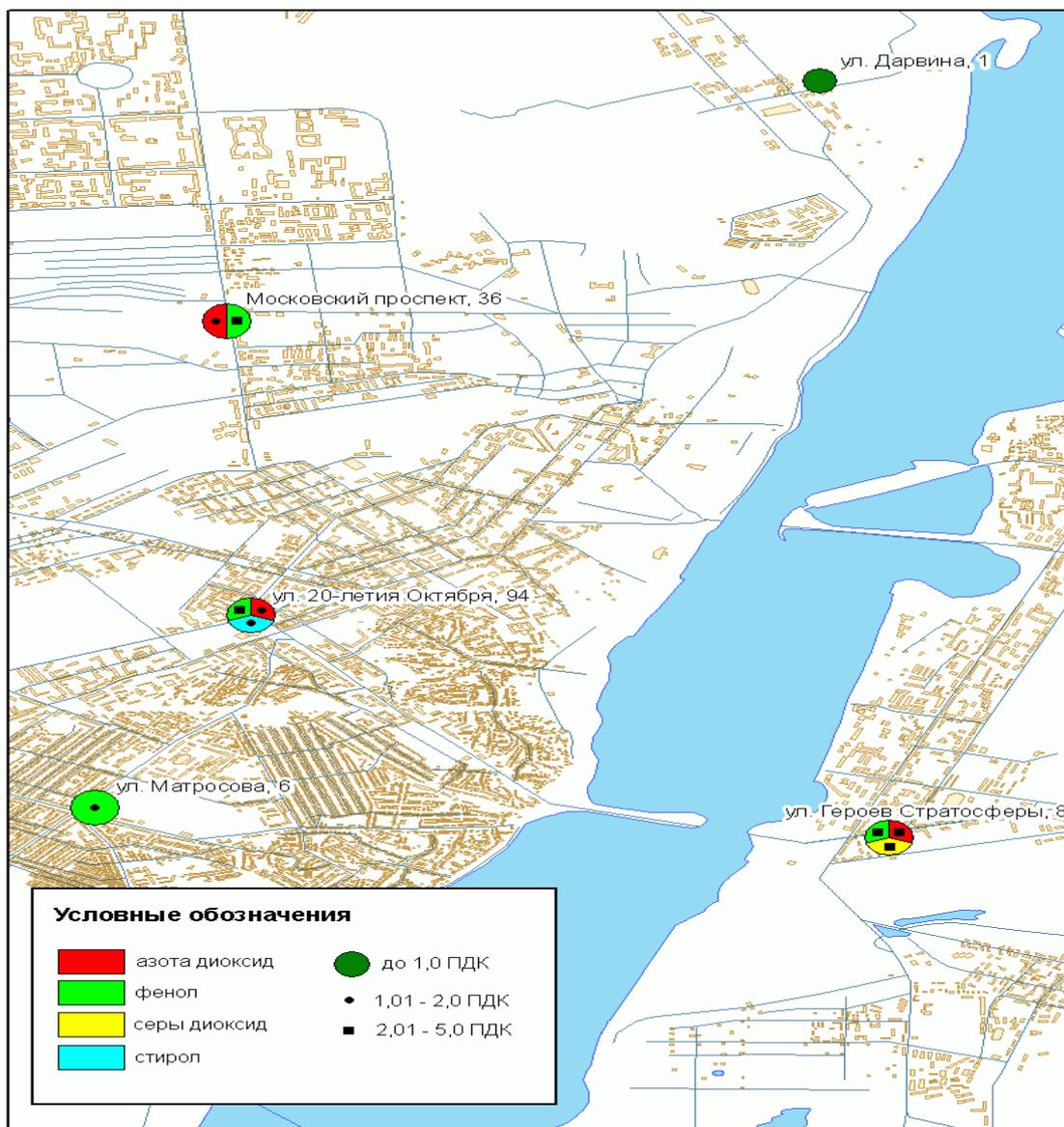


Рис. 5.1. Мониторинговые точки контроля с превышением нормативов содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (по данным СГМ за 2014 год)

Таблица 5.1

Доля проб атмосферного воздуха, превышающих ПДК в мониторинговых точках контроля г.Воронежа (%)

Маршрутный пост наблюдения	2012	2013	2014	Динамика к 2012 г.
ул. Героев Стратосферы, 8	4,0	10,2	8,4	↑
ул. Матросова, 6	4,9	2,7	0,4	↓
Московский пр., 36	12,7	15,8	7,3	↓
ул. Дарвина, 1	4,9	0,6	0	↓
ул. 20 лет Октября, 94	14,1	7,0	8,6	↓

Кроме мониторинговых точек контроля, разовый отбор проб воздуха выявил превышения гигиенических нормативов (ПДК<sub>м.р.</sub>):

- по содержанию азота диоксида от 1,3 до 2,6 раз и оксида углерода от 1,06 до 3,0 раз - по ул. Донбасская, 2; ул. Димитрова, 56а; ул. Героев Стратосферы, 2; ул. Омская, 3; ул. Холмистая, 18;

- по содержанию взвешенных веществ - на Ленинском проспекте, 2 (в 1,42 раза) и на ул. Черняховского (в 1,56 раза);

- по содержанию формальдегида (в 1,28 раза) – на ул. Минская, 67-б;

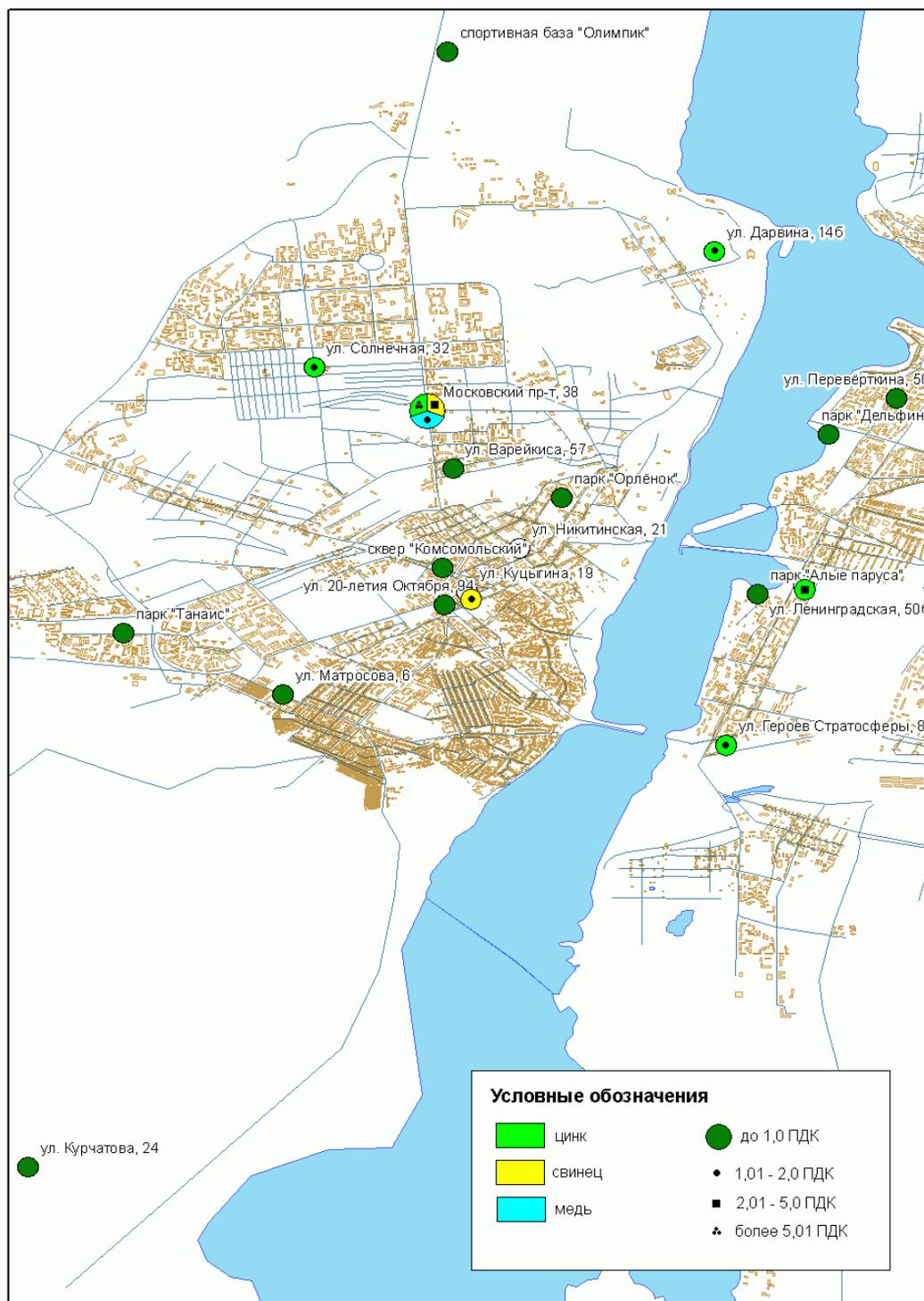
- по содержанию фенола (в 3,0 раза) – на ул. Церковная, 8а.

На протяжении последних лет и в 2014 г. в рамках ведения социально-гигиенического мониторинга санитарно-эпидемиологическая безопасность почвы г. Воронежа оценивается в 18 мониторинговых точках контроля, расположенных на территориях детских образовательных учреждений; селитебной территории населённых мест и на территории рекреационных зон, где ежегодно определяются приоритетные загрязняющие вещества: бенз(а)пирен, кадмий, марганец, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец, фтор, цинк, микробиологические и паразитологические показатели.

За период 2012–2014 гг. почва в мониторинговых точках контроля не соответствовала гигиеническим нормативам по содержанию свинца, цинка, меди, наличию бактерий группы кишечной палочки (БГКП), яиц гельминтов (токсокары). Исходя из значений индекса БГКП в 2014 г., как и в 2013 г., почва на территории города Воронежа отнесена к категории «чрезвычайно опасной».

За период 2012 - 2014 гг. удельный вес проб почвы на территории города, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, снизился с 11,4% до 6,2%, в том числе в селитебной зоне с 20,7% до 8,6 %. В 2014 г. в мониторинговых точках контроля отмечены превышения ПДК загрязняющих веществ в почве населённых мест по содержанию цинка, свинца и меди (рис. 5.2).

Одной из причин химического загрязнения почвы является аккумуляция токсичных веществ в почве селитебных территорий, расположенных вблизи источников промышленных выбросов и транспортных артерий. К техногенному загрязнению почвы приводит отсутствие полигона для захоронения промышленных отходов предприятий города, в связи с чем отходы, не подлежащие захоронению, накапливаются на площадках промышленных предприятий, что представляет большую опасность для состояния окружающей среды и здоровья населения, т.к. вероятна миграция токсикантов с ветром и атмосферными осадками на территорию жилой застройки.



*Рис. 5.2. Мониторинговые точки контроля с превышением нормативов содержания загрязняющих веществ в почве (по данным СГМ за 2014 год)*

В 2014 году 6,0% исследованных проб почвы содержали тяжелый металл (свинец). Как известно, этот труднобиоразлагаемый токсикант накопился в почве в 90-е годы, когда для автотранспорта применялся этилированный бензин, что привело к тому, что превышения ПДК его содержания в почве продолжают сохраняться до настоящего времени.

Высокий показатель несоответствия гигиеническим нормативам проб почвы по санитарно-химическим показателям в значительной мере обусловлен ежегодно возрастающим дефицитом парковочных мест в микрорайонах жилой застройки: парковка личного автотранспорта граждан осуществляется во дворах жилых домов, в том числе на тротуарах, газонах и детских площадках, что приводит к ликвидации зелёных насаждений и загрязнению почвы.

По микробиологическим показателям удельный вес проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам, снизился с 11,4% (2012 г.) до 1,6% (2014 г.); в том числе в селитебной зоне - с 20,7% до 5,2%; а по паразитологическим показателям - с 3,5% до 0,9%, но частота несоответствия показателей санитарным нормам продолжает вызывать опасения.

Мониторинговые точки контроля с превышением нормативов микробиологических показателей и загрязнением гельминтами по результатам анализов в 2014 г. представлены на рисунке 5.3.

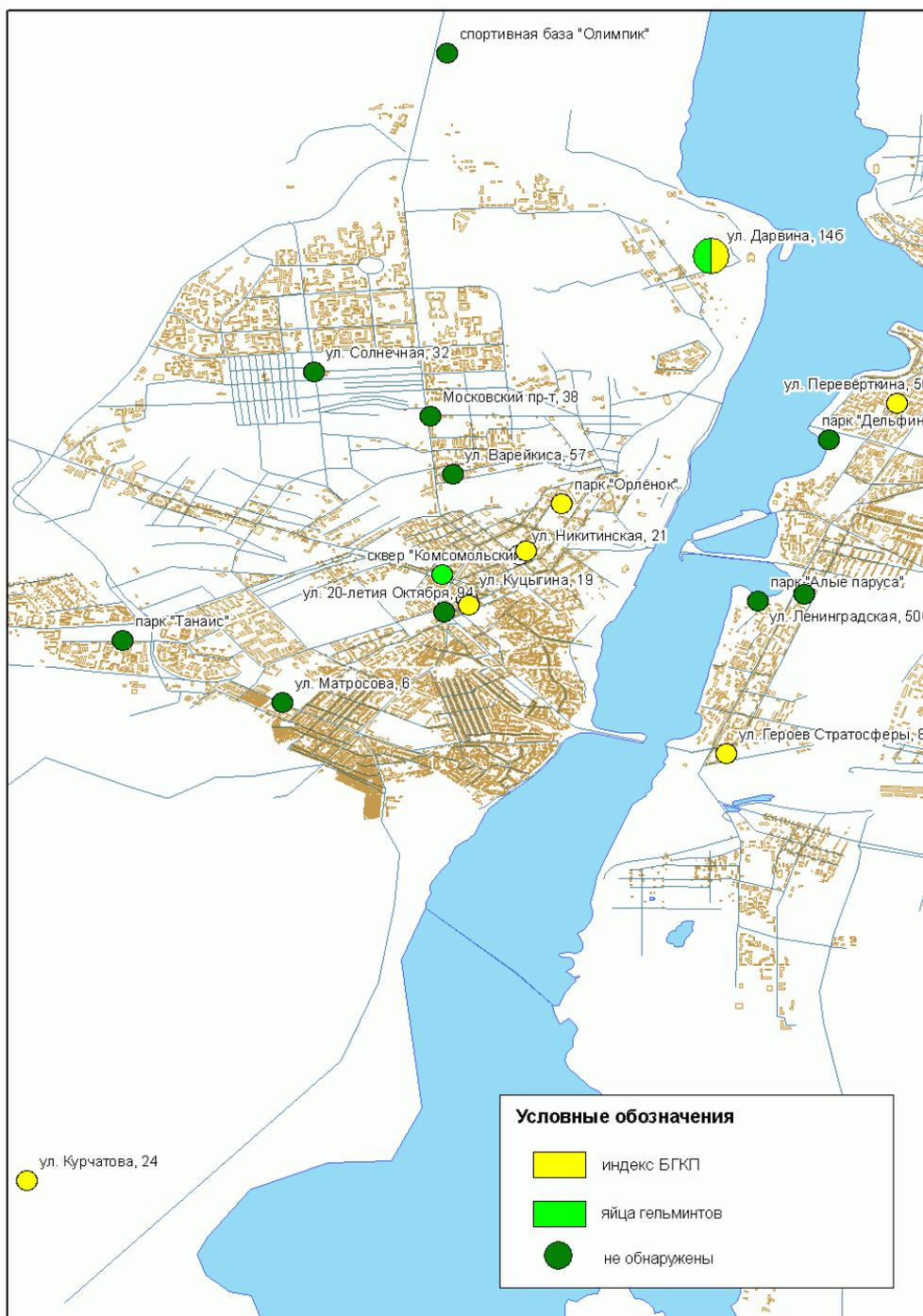
Микробиологическому и паразитологическому загрязнению почвы способствуют неудовлетворительная организация санитарной очистки населенных мест, отсутствие площадок для выгула собак.

Отдельного внимания заслуживает рассмотрение показателей безопасности почвы на территории детских учреждений и детских площадок. В 2014 г. из исследованных на территории детских учреждений и детских площадок 20 проб по санитарно-химическим показателям не соответствовали гигиеническим нормативам – 1 (5%). Вместе с тем, увеличилось количество проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям. Из исследованных по паразитологическим показателям на территории детских учреждений и детских площадок 188 проб почвы, не соответствовало гигиеническим нормативам 0,5% (таблица 5.2).

Таблица 5.2

Доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам на территории детских учреждений и детских площадок

Наименование показателя	Годы		
	2012	2013	2014
Доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам на территории детских учреждений и детских площадок по санитарно-химическим показателям	3 из 20	5 из 22	1 из 20
Доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам на территории детских учреждений и детских площадок по микробиологическим показателям	1 из 20	5 из 24	4 из 20
Доля проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам на территории детских учреждений и детских площадок по паразитологическим показателям	1 из 26	0 из 62	0,5%



*Рис. 5.3. Мониторинговые точки контроля с превышением нормативов микробиологических показателей и загрязнением гельминтами (по данным СГМ за 2014 год)*

В 2014 г. с целью снижения загрязнения почвы в мониторинговых точках контроля селитебных территорий и детских образовательных учреждений, представляющих опасность для здоровья населения, проведены мероприятия по замене грунта, вынужденной дезинфекции и дезинвазии почвы.

В интегральную оценку экологического состояния городской среды не были включены показатели качества питьевой воды. Это возможно аргументировать рядом особенностей, имеющих место в условиях города Воронежа: 1) источником водоснабжения города являются подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса, достаточно надежно природно-защищенные от воздействия наземных техногенных источников, рассматриваемых при интегральной оценке экологического состояния городской среды; 2) водоразводящая сеть централизованного водоснабжения закольцована и четкого доминирования водоподдачи от того или иного источника (водоподъемной станции) определить не представляется возможным; 3) на водоподъемных станциях города производится водоподготовка (очистка и обеззараживание воды) с производственным и вневедомственным контролем качества воды; в этой связи качество воды в разводящей водопроводной сети отличается от источника; 4) на протяжении последнего десятилетия выявлялись превышения нормативов содержания в питьевой воде железа и марганца – веществ, нормируемых по органолептическому признаку вредности, присутствие которых в большей степени связано с природным составом подземной воды, но за счет совершенствования процессов водоподготовки в последнее время их концентрации имеют тенденцию к снижению.

Вместе с тем, рассмотрение показателей всех составляющих звеньев системы водообеспечения населения (источник – водоподготовка - водоразводящая сеть - потребитель) является составляющей экологической оценки состояния городской среды и, поэтому, далее приведен краткий анализ показателей системы хозяйственно-питьевого водоснабжения города и качества питьевой воды в последнее время (по состоянию на 2014 г.).

В городском округе г. Воронеж централизованным хозяйственно-питьевым водоснабжением охвачено 98% населения. Источником водоснабжения города являются подземные воды, подаваемые в водопроводную сеть города водозаборными скважинами. Суммарная мощность городских водозаборов составляет 522 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. Подача воды в систему водоснабжения города производится 8-ю водозаборами (271 артезианская скважина) ООО «РВК-Воронеж», а также водозаборами микрорайонов Масловка (3 скважины) ООО «ЛЮС»; Шилово (5 скважин) МУП «ЖКХ Шилово», Подгорное (3 скважины) ООО «Водоканал-Подгорное-1». В городском округе г. Воронеж отсутствуют водоисточники, не соответствующие санитарно-эпидемиологическим требованиям. Для предотвращения загрязнения водоисточников все водозаборы города имеют зоны санитарной охраны, режим зон санитарной охраны соблюдается.

Водоснабжение населения города питьевой водой обеспечивают 4 водопровода (ООО «РВК-Воронеж», ООО «ЛЮС», МУП «ЖКХ Шилово»,

ООО «Водоканал-Подгорное-1»). Водопроводов, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям, в г. Воронеже нет: имеются зоны санитарной охраны водоподъемных станций, необходимый комплекс водоподготовки и лабораторного контроля качества воды, при необходимости имеются и используются обеззараживающие установки.

Программа мониторингового контроля за качеством и безопасностью питьевой воды городского округа г. Воронеж предусматривает определение следующих приоритетных санитарно-химических показателей: аммиак, бор, железо, жесткость общая, марганец, нитраты, нитриты, фториды, а также микробиологических: общие колиформные бактерии, общее микробное число, термотолерантные колиформные бактерии.

К основным проблемам водоснабжения города относятся факторы природного характера и, в ряде случаев, антропогенное загрязнение подземных вод. Природные особенности состава воды подземного водоносного горизонта характеризуются повышенным содержанием соединений железа и марганца. В черте города имеется техногенный очаг загрязнения подземных вод некалем.

Основным поставщиком питьевой воды в городе является ООО «РВК-Воронеж», подающим 89,3% всей потребляемой городом воды (466 тыс м<sup>3</sup>/сут). Из восьми водоподъемных станций (ВПС) ООО «РВК-Воронеж», шесть (№№ 3, 4, 6, 8, 11, 12) расположены по берегам Воронежского водохранилища и р. Усмань. В процессе эксплуатации водохранилища имеется гидравлическая связь поверхностных вод и подземного водоносного горизонта. По гидрогеологическим оценкам до 80% пополнения водоносного горизонта, питающего городские водозаборы, происходит за счет инфильтрации из поверхностных водоёмов.

Вода из скважин только 2-х городских водозаборов (пос. Шилово и ВПС №9) полностью и всегда соответствует гигиеническим требованиям. На других ВПС периодически отмечается превышение ПДК по содержанию железа и марганца. Вместе с тем, дальнейшему развитию ВПС-9 и увеличению подачи воды населению областного центра препятствует сохраняющееся загрязнение подземных вод некалем (поверхностно-активное вещество) в районе расположения полей фильтрации ОАО «Воронежсинтезкаучук».

В 2014 г. качество воды подземных источников по сравнению с 2012 г. по санитарно-химическим показателям улучшилось с 37,1% до 28,2%, а по показателям эпидемиологической безопасности ухудшилось с 3,8% до 4,8%.

Анализ показателей качества питьевой воды из распределительной сети показал, то по санитарно-химическим показателям в 2014 г. 5,6% проб не соответствовало гигиеническим нормативам (в основном по содержанию железа, максимальное превышение - до 5 ПДК) и 1,5% проб не

соответствовало санитарным требованиям по микробиологическим показателям (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Качество воды в распределительной сети  
централизованного водоснабжения г. Воронежа

Наименование показателя	Годы		
	2012	2013	2014
Доля проб воды из распределительной сети централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарным требованиям по санитарно-химическим показателям (%)	7,8	5,4	5,6
Доля проб воды из распределительной сети централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарным требованиям по микробиологическим показателям (%)	1,0	1,0	1,5

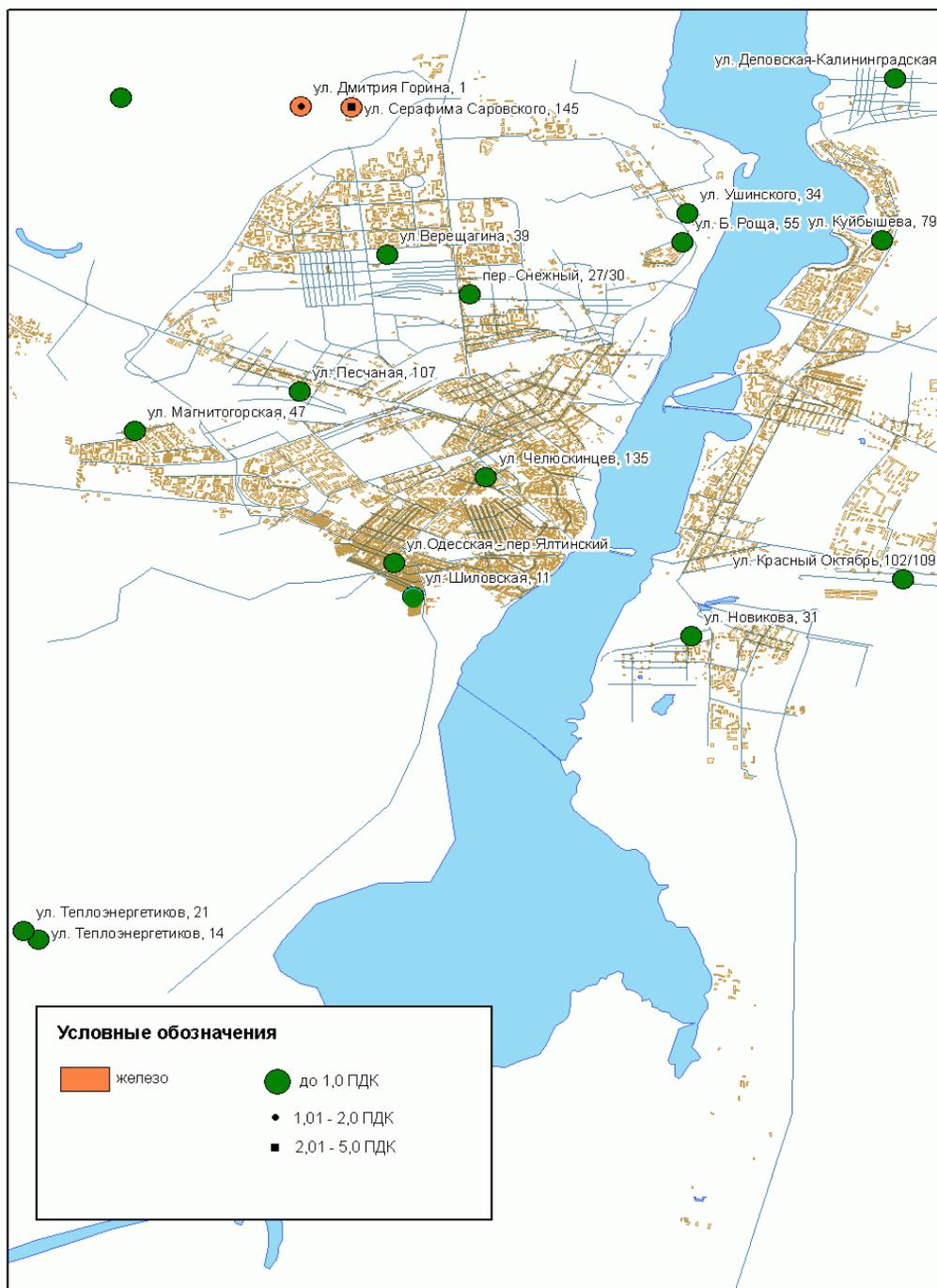
Концентрации железа в питьевой воде, превышающие гигиенические нормативы в 2014 г. в мониторинговых точках контроля разводящей сети системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения городского округа г. Воронеж, обнаружены в с. Подгорном (рис. 5.4).

По результатам проведения социально-гигиенического мониторинга в 2014 г. численность населения, потребляющего воду с повышенным содержанием железа, составила ориентировочно около 2 тыс. человек.

Из числа других приоритетных для региона показателей качества питьевой воды (аммиак, бор, жесткость общая, марганец, нитраты, нитриты, фториды, общая минерализация) превышений гигиенических нормативов в черте города Воронежа в мониторинговых точках контроля в 2014 г. не выявлено.

Вместе с тем, в 2013 году в разводящей сети системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения городского округа г. Воронеж регистрировались концентрации марганца, превышающие гигиенические нормативы (рис. 5.5).

Проблемным экологическим вопросом остается состояние Воронежского водохранилища. Как известно, в Воронежское водохранилище поступает сброс сточных вод с Левобережных очистных сооружений (выпуски ООО «ЛОС» и ОАО «Воронежский шинный завод - Амтел-Черноземье»), а также неочищенные ливневые и талые воды с правобережной части города.



*Рис. 5.4. Мониторинговые точки контроля с превышением нормативов содержания железа в питьевой воде централизованных систем водоснабжения (по данным СГМ за 2014 год)*

Удельный вес проб воды из Воронежского водохранилища, не отвечающих требованиям гигиенических нормативов, значительно превышает средний показатель по водоёмам Воронежской области (табл. 5.4).

Неудовлетворительные результаты санитарно-химических исследований воды водохранилища (6,9% проб в 2014 г.) отмечались при контро-

ле воды в местах крещенский купелей, при расследовании жалоб населения на неудовлетворительную работу очистных сооружений канализации и при плановом мониторинге.



*Рис. 5.5. Мониторинговые точки контроля с превышением нормативов содержания марганца в питьевой воде централизованных систем водоснабжения (по данным СГМ за 2014 год)*

Особого опасения вызывает неудовлетворительное качество воды водохранилища по микробиологическим показателям в летний период (42,1% проб воды в 2014 г. не соответствовало нормативам). По микробиологическим показателям наблюдалось превышение содержания бакте-

рий группы кишечной палочки от 48 до 240 раз. Кроме того отобрано 135 проб воды для исследований на холеру, из них в 57 пробах обнаружены культуры непатогенного для человека холероподобного вибриона.

Таблица 5.4

Удельный вес проб воды водоёмов, не соответствующих гигиеническим нормативам (%)

Наименование показателя	Доля проб воды в открытых водоёмах, не соответствующих гигиеническим требованиям (%)					
	Воронежская область			г. Воронеж, Воронежское водохранилище		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Санитарно-химические	4,7	4,7	2,7	11,6	11,7	6,9
Микробиологические	20,6	16,2	11,8	54,8	53,7	42,1

В целом, результаты эколого-гигиенической оценки территории города по последним данным (2014 г.) согласуются с результатами интегральной оценки экологического состояния по данным за 2009-2013 гг.

В формирование техногенного загрязнения и медико-экологической напряженности городской среды существенный вклад вносят автотранспортная нагрузка и промышленность, о чем свидетельствуют наиболее частые превышения ПДК загрязняющих веществ в воздушной среде в мониторинговых точках контроля, расположенных на уличных магистралях с интенсивным движением (ул. 20 лет Октября, 94 – 8,6% проб; Московский пр., 36 – 7,3% проб) и вблизи крупных промышленных предприятий Левобережного промузла (ул. Героев Стратосферы, 8 – 8,4% проб), при относительно благополучной ситуации в северной непромышленной части города (мониторинговая точка ул. Дарвина, 1 – 0% проб с превышением ПДК). Прослеживается «отклик» показателей качества атмосферного воздуха на санитарно-химическое состояние почвы. Так, в мониторинговой точке на Московском проспекте зарегистрированы превышения ПДК содержания тяжелых металлов в почве (свинец, цинк, медь). Интегральная оценка экологического состояния городской среды, результаты которой рассмотрены в предыдущих главах, также выявила определяющий аэрогенный механизм загрязнения почвенного покрова города, который был подтвержден в результате анализа корреляционных связей между показателями загрязнения воздушной среды и почвы, а также применения технологии сопоставительного геоинформационного картографирования экологических показателей состояния городской среды.

К числу перспективных эколого-аналитических исследований для создания городской системы экологической безопасности следует отнести

расширение геоинформационно-аналитического комплекса в части возможности анализа данных качества воды в источниках водоснабжения и разводящей водопроводной сети; учет микробиологического фактора в почве и воде открытых водоемов; изучение влияния Воронежского водохранилища на уровень загрязнения воздушного бассейна и пространственный перенос атмосферных поллютантов; оценку влияния ливневых стоков и сточных вод на санитарно-химические и микробиологические показатели воды Воронежского водохранилища и его экологическое состояние.

## **5.2. Эколого-геохимический мониторинг загрязнения снежного покрова**

Проблема экологической деградации городских территорий приобретает в настоящее время все большую актуальность. Благодаря возрастающему «антропогенному давлению» крупный город изменяет почти все компоненты природной среды: атмосферный воздух, растительность, почвенный покров, грунты, подземные воды и даже климат. Наиболее динамичным и поэтому наиболее сложным для анализа компонентом урбанизированной среды является атмосферный воздух, загрязнение которого вызывает рост экологически обусловленных заболеваний.

Для мониторинга воздушной среды можно использовать различные методы анализа, каждый из которых имеет свои ограничения и достоинства. В настоящее время наиболее востребованными являются экспрессные методы контроля качества окружающей среды, которые позволяют произвести относительно быструю оценку эколого-геохимической обстановки. Один из таких методов основан на использовании снежного покрова. Снег обладает высокой сорбционной способностью и осаждает из атмосферы на земную поверхность значительную часть продуктов техногенеза. Многолетний мониторинг снежного покрова позволяет выявить пространственно-временные особенности распределения элементов, выявить очаги загрязнения и определить тенденцию в изменении качества окружающей среды [48].

В предыдущих главах уже были приведены результаты мониторинга загрязненности снежного покрова в различных функциональных зонах г. Воронежа в зимний период 2013 и 2014 гг.

Для получения многолетних рядов мониторинговых наблюдений нами продолжен анализ химического состава снежного покрова с целью выявления зависимостей между наличием загрязняющих веществ и уровнем техногенного воздействия в зимний период 2015 г. Причем для относительно равномерного охвата всей территории города с учетом функционально-планировочных зон, были исследованы новые участки.

В период, предшествующий снеготаянию, 11.02.2015 г. были отобраны 47 проб снега в различных функциональных зонах г. Воронежа с разной степенью техногенного воздействия: 11 проб в жилой зоне, 9 – в промышленной зоне, 9 – в транспортной зоне, 6 – в зоне рекреации, 10 – в районах перспективной жилой застройки в соответствии с Генпланом города и 2 фоновые пробы (таблица 5.5). Пространственное размещение отобранных проб снега следующее:

- **в левобережной части города** отобрано 14 проб снега: жилая зона – 4 пробы; промышленная зона – 3 пробы; зона рекреации – 2 пробы; транспортная зона – 3 пробы, районы перспективной застройки – 2 пробы (п. Отрадное);
- **в правобережной части города** отобрано 33 проб снега: жилая зона – 7 проб; промышленная зона – 6 проб; зона рекреации – 4 пробы; транспортная зона – 6 проб, районы перспективной застройки – 8 проб (микрорайон «Агроуниверситет», п. Шилово, площадка «Донская», площадка «Аэродром»), фоновая – 2 пробы.

Фоновые точки: 1 проба – в черте города на территории санатория им. М. Горького; 2 проба - Рамонский район, СТ «Северный бор» (северное направление) в 15 км от города.

Таблица 5.5

Перечень точек отбора проб снега с разбивкой по функциональным зонам г. Воронежа

Кол-во точек	Функциональная зона *
9	промышленная
9	транспортная
4	жилая ЦИ
3	жилая СП
4	жилая ЧС
6	рекреационная
2	фон
2	район перспективной застройки: Агроуниверситет
2	район перспективной застройки: Шилово
2	район перспективной застройки: пойма Дона (Донская)
2	район перспективной застройки: Аэродром
2	район перспективной застройки: Отрадное
<b>47</b>	<b>Итого</b>

\*) В жилой зоне выделено 3 подзоны: «жилая ЦИ» – центральная историческая часть города (включая общественно-деловую застройку и «старую» 5-ти-этажную застройку по обоим берегам); «жилая СП» – кварталы с современной многоэтажной застройкой; «жилая ЧС» – частный сектор (преимущественно одноэтажная и коттеджная жилая застройка).

Расположение точек на местности показано на рисунке 5.6.



*Рис. 5.6. Карта-схема расположения точек отбора проб снега в феврале 2015 г.*

Исследования химического состава снега выполнены на следующий день после отбора всех проб (12.02.2015 г.) на базе учебной эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета под руководством Т.И. Прожориной.

Пробы снега растапливались при комнатной температуре, талую воду фильтровали. По осадку, полученному на фильтре, определяли количество взвешенных частиц в отобранной пробе (весовым методом), а в фильтрате определяли следующие показатели:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  (колори-

метрический метод); общая жесткость,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  (титриметрический); рН (потенциометрический); минерализация и  $\text{Mg}^{2+}$  (расчетный) [177].

Для более объективной характеристики геохимической индикации загрязнения снежного покрова за основу принимается сопоставление фактических концентраций загрязняющих веществ в городских пробах снега с соответствующими значениями их фонового аналога. Для этих целей нами были рассчитаны коэффициенты концентрации химических элементов для исследуемых проб снега [48].

В качестве фона были выбраны 2 точки: 34 - находится в черте города на территории санатория им. Горького; 47 - расположена в северном направлении в 15 км от города. Результаты анализа показывают, что пробу снега в черте города (№34) только условно можно считать фоновой, так как содержание загрязняющих веществ в ней существенно выше, чем в пробе снега, отобранной за городом (№47). Таким образом, для расчета коэффициентов концентрации в качестве фоновой целесообразно рассматривать пробу снега в точке 47, расположенной в Рамонском районе (СТ «Северный бор»).

С целью выявления степени техногенной нагрузки на различные районы г. Воронежа, был осуществлен сравнительный анализ полученных результатов: 1) по данным фактического присутствия загрязняющих веществ в атмосферных осадках для исследуемых функциональных зон; 2) по рассчитанным коэффициентам концентрации химических элементов для исследуемых проб снега.

Результаты анализа химического состава талой воды указывают на повышенный техногенный уровень загрязнения снежного покрова во всех исследуемых функциональных зонах г. Воронежа.

Так, содержание минеральной пыли в пробах снега варьирует от 34,81 до 620,08 мг/л (рисунок 5.7). Низкие значения взвешенных веществ (от 34,0 до 93,22 мг/л) отмечаются в пробах снега, отобранных преимущественно в зонах перспективной застройки (точки №№36, 39, 40, 41, 42) и рекреации (точки №№15, 19, 20, 26, 47).

Высокие значения взвешенных веществ (более 204 мг/л) отмечаются в пробах снега, отобранных в промышленной (точки №№12, 28, 29, 31) и еще больше - в транспортной зонах (точки №№6, 7, 10, 16, 21). Это объясняется повышением уровня загрязненности атмосферы городских ландшафтов. В промышленных городах запыленность воздуха увеличивается в 5-10 раз по сравнению с фоном и ведет к возрастанию роли взвешенных частиц как носителей химических элементов [172].

Из графика (рис. 5.7) видно, что наиболее загрязненные взвешенными веществами являются точки 6 (ул. Московский проспект) и

16 (ул. Ленинский проспект), расположенные на основных транспортных магистралях г. Воронежа.

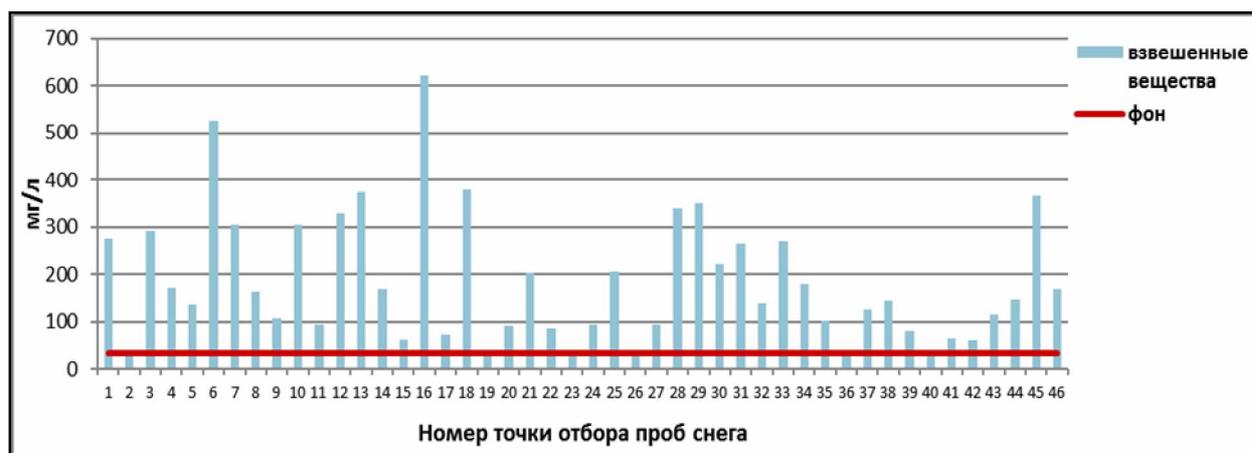


Рис. 5.7. Изменение содержания взвешенных веществ в пробах снега в различных функциональных зонах города (2015 год)

Значения минерализации снежных проб варьируют от 30,5 (фон) до 190,69 мг/л (рис. 5.8). Из графика видно, что наибольшие значения минерализации (более 150 мг/л) характерны для шести проб снега:

- точки 17 и 33 – транспортная зона (171,4 и 172,9 мг/л соответственно);
- точки 22 и 23 – жилая застройка (161,01 и 167,87 мг/л соответственно);
- точки 36 и 39 – перспективная застройка (190,69 и 159,7 мг/л соответственно).

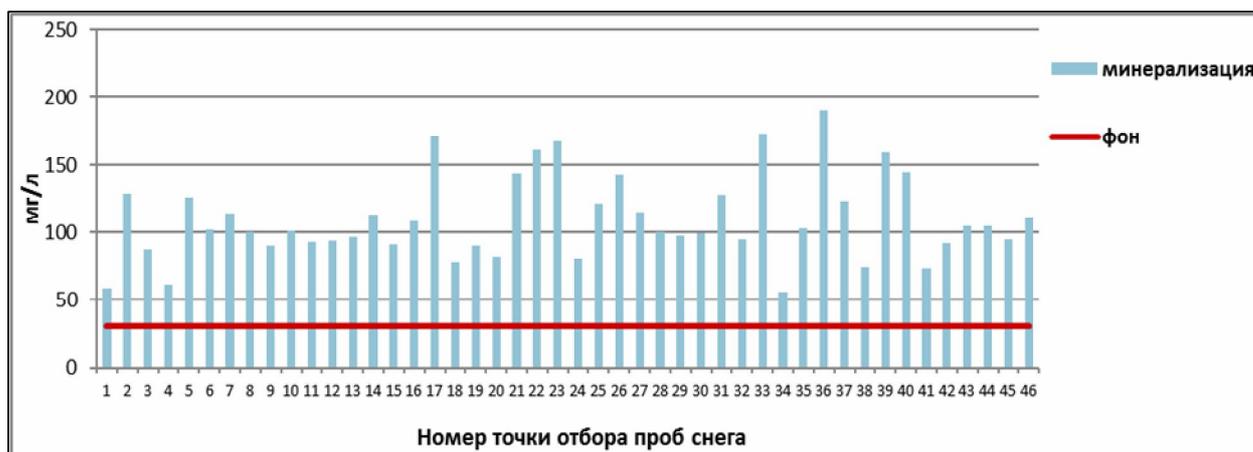


Рис. 5.8. Изменение величины минерализации в пробах снега в различных функциональных зонах города (2015 год)

Средние значения минерализации (от 100 до 150 мг/л) характерны, прежде всего, для проб, отобранных в транспортной зоне (точки №№ 6, 7,

8, 10, 16, 17, 21, 33), а также для проб, отобранных в промышленной зоне (точки №№2, 5, 14, 27, 31).

Минимальные значения минерализации снеговых вод (менее 100 мг/л) за некоторым исключением прослеживаются, в основном, в жилой зоне (точки №№1, 3, 9, 13, 18, 24); зоне рекреации (точки №№4, 15, 19, 20, 30, 34) и характерны для 3-х точек перспективной застройки (точки №№38, 41, 42).

Об антропогенном загрязнении атмосферы также свидетельствует увеличение концентрации катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в атмосферных осадках и, соответственно, жесткости. Величина общей жесткости снежных проб варьирует от 0,053 до 1,172 мг-экв/л. Минимальные значения жесткости (менее 0,1 мг-экв/л) отмечаются в точках 26, 34, 47 (зона рекреации) и в точках 40, 43 (перспективная застройка). Максимальные значения (более 0,20 мг-экв/л) отмечены для точек транспортной (№№6, 7, 10, 16, 21, 33), промышленной (№№28, 29, 31) и жилой зон (№№13, 18, 45).

Присутствие хлоридов в снеге напрямую связано с интенсивностью применения антигололедных средств для дорожных покрытий в зимний период. В г. Воронеже для этих целей используется песчано-соляная смесь. Содержание  $\text{Cl}^-$ -ионов в пробах снега варьирует от 3,09 мг/л (фон) до 40,15 мг/л. Максимальные концентрации (более 10 мг/л) отмечаются в пробах снега транспортной зоны (точки №№7, 10, 16, 21, 33); по 1 пробе - в зоне рекреации и жилой СП (точки №26 и №45 соответственно), а также в 2-х точках перспективной застройки (точки №39 и №44).

Содержание сульфат-ионов в талой воде большинства промышленных и транспортных зон превышает фоновые показатели в среднем от 2 до 4 раз. Максимальные концентрации (более 32 мг/л) отмечаются в точках промышленной (№№2, 5, 14, 27) и транспортной зон (№№11, 17, 21). Видимо, это объясняется загрязненностью воздуха диоксидом серы.

Наличие азотсодержащих соединений в воде определяется деятельностью бактерий, но в зимний период в снежном покрове их присутствие невозможно, поэтому всё содержание  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ -ионов в талой воде обусловлено только антропогенным воздействием, к которому можно отнести, в первую очередь, выбросы от промышленных предприятий и автотранспорта (оксиды азота). Так, например, значения  $\text{NO}_3^-$ -аниона изменяются от 1,46 до 49,88 мг/л. Максимальные значения нитратов (более 27 мг/л) отмечаются в пробах снега транспортной (точки №№6, 7, 8, 16, 21, 33), жилой (точки №№13, 24, 25, 45) и промышленной зон (точки №№5, 12, 31). Минимальные значения  $\text{NO}_3^-$ -аниона (менее 5 мг/л) наблюдаются в зонах рекреации (№№4, 15, 19, 26) и перспективной застройки (№№40, 42).

Следует отметить, что в преобладающем числе исследуемых проб содержание всех форм азота ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) значительно выше их содержания в фоне.

Величина рН снежных проб изменяется в интервале от 5,3 до 8,12. Наиболее высокие значения рН (7,0 - 7,3 и более) отмечаются в пробах снега, отобранных преимущественно в транспортной (точки №№6, 8, 10, 33), а также в промышленных зонах (№№5, 12, 14, 29).

По степени минерализации и содержанию пыли в снеге можно судить о «техногенном давлении» на среду. Поэтому сравнительный анализ степени загрязненности снега в различных функциональных зонах города проводили по двум показателям химического состава – общей минерализации и концентрациям взвешенных частиц (пыль).

Для проб снега, отобранных в **зоне рекреации**, значения минерализации составляют от 61,41 до 143,27 мг/л, а содержание взвешенных веществ от 35 (точка №19) до 220,5 мг/л (точка №30). Наиболее «чистой» парковой зоной является точка 19 (ул. Маршала Одинцова, 11). Наиболее «загрязненная» зона рекреации отмечена в точке 30 (ул. 9-е Января, 262/1). В среднем величина минерализации для точек рекреации составляет 90,0 мг/л, а взвешенных частиц – 103 мг/л. Многие зоны рекреации располагаются вблизи крупных автодорог (например, ул. Набережная Масалитинова, ул. 9-е Января), поэтому они также загрязнены продуктами выбросов автотранспорта.

Анализ загрязнения снега жилой зоны показал, что наибольшая минерализация и содержание пыли наблюдается в зонах **жилая ЧС** и **жилая СП**.

Среди проб зоны «**жилая ЦИ**» наиболее «чистая» - точка 9 (ул. Ворошилова, 30), а наиболее «загрязненная» – точка 3 (ул. Героев Стратосферы, 8); для них содержание взвешенных веществ возрастает от 107,3 до 290,4 мг/л соответственно.

Для проб зоны «**жилая ЧС**» наиболее «чистая» - точка 24 (ул. Шишкова, 53). Наиболее «загрязненные» – точки 13 (ул. Циолковского) и 25 (ул. Нагорная, 25); для них минерализация достигает 161 мг/л, а содержание взвешенных частиц - 373,6 мг/л.

Для проб зоны «**жилая СП**» сложно выделить наиболее «чистую» зону. Однако, очевидно, что наиболее «загрязненная» – точка 45 (ул. Грамши, 70), которая характеризуется высокими значениями минерализации (95,3 мг/л) и взвешенных частиц (367 мг/л).

Для проб снега, отобранных в **промышленной зоне**, величина минерализации изменяется незначительно от 94,1 до 128,7 мг/л, а содержание взвешенных веществ варьирует в широком диапазоне - от 40,39 до 351,4 мг/л. Большинство проб превышают фоновую минерализацию в 3,1 – 4,2 раза. Проблемно выделить наименее загрязненную пробу. В то же время к

наиболее «загрязненной» части промышленных зон по содержанию взвешенных частиц и азотистых соединений можно отнести несколько проб снега:

- точка 12 (ул. Ленинградская, 98а) – взвешенные вещества превышают фон в 9,5 раз; минерализация – в 3,1 раз; нитраты – в 19,8 раз;
- точка 28 (проспект Труда, 111) – взвешенные вещества превышают фон в 9,8 раз; минерализация – в 3,3 раз; нитраты – в 17 раз;
- точка 29 (ул. 9 Января, 180) – взвешенные вещества превышают фон в 10,1 раз; минерализация – в 3,2 раз; нитриты и нитраты – в 23,5 и 17 раз соответственно;
- точка 31(ул. Дорожная, 15) – взвешенные вещества превышают фон в 7,7 раз; минерализация – в 4,2 раз; нитриты и нитраты – в 24 и 22 раз соответственно.

Величина минерализации для проб снега, отобранных в *транспортной зоне*, варьирует от 93,1 до 172,9 мг/л, а содержание взвешенных частиц – от 94,7 до 620,08 мг/л. Наименее загрязненная - проба 11 (ул. Саврасова). К наиболее «загрязненной» части транспортных зон относятся несколько проб снега:

- точка 6 (ул. Московский проспект, 36) – взвешенные вещества превышают фон в 15,1 раз; жесткость – в 6,9 раз; нитриты и нитраты – в 30 и 31 раз соответственно;
- точка 16 (ул. Брусилова - Ленинский проспект) – взвешенные вещества превышают фон в 17,7 раз; минерализация – в 5,6 раз; нитриты и нитраты – в 13 раз;
- точка №33 (ул. Скрибиса, 16) – взвешенные вещества превышают фон в 7,8 раз; минерализация – в 5,7 раз; нитраты – в 23,5 раз; хлориды – в 13 раз;
- точка 21 (бульвар Победы - ул. 60 лет Армии) – взвешенные вещества превышают фон в 5,9 раз; минерализация – в 4,7 раз; нитриты и нитраты – в 18,8 и 23,2 раз соответственно;
- точка 7 (ул. 9 Января) – взвешенные вещества превышают фон в 8,8 раз; минерализация – в 3,7 раз; нитраты – в 26,7 раз;
- точка 10 (ул. Матросова, 6) – взвешенные вещества превышают фон в 8,8 раз; минерализация – в 3,3 раз; нитраты – в 18,5 раз.

Из 10 проб снега, отобранных в районах *перспективной застройки*, 2 точки (№36 и №39) по состоянию снежного покрова характеризуются как «загрязненные». В них обнаружены существенные превышения по минерализации в 6,2 и 5,2 раза соответственно. Проба 36 (ул. Московский проспект, 90/1) характеризуется наибольшим коэффициентом концентрации по содержанию сульфатов в снеге ( $K_c = 10,3$ ) по сравнению с остальными пробами. А в пробе 39 (ул. Острогжская, 148) обнаружено значи-

тельное превышение фона по содержанию всех форм азота ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) – в 14,4; 23,5 и 34,2 раза соответственно.

Результаты анализа показали, что по качественным и количественным характеристикам проведенных исследований к наиболее «чистым» можно отнести четыре точки перспективной застройки (точки №№40, 41, 42, 43), расположенные в пос. Шилово и Отрадное

Таким образом, исследования химического состава снежного покрова зимой 2015г. в различных функциональных зонах г. Воронежа позволили сделать следующие выводы:

- содержание минеральной пыли и величина минерализации снеговых вод характеризуют интенсивность техногенного пресса на городскую среду, а состав талых вод указывает на характер ее загрязнения;
- в пробах снега всех городских зон г. Воронежа преобладающее место занимают  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Cl}^-$  - ионы, что косвенно отражает состав техногенных выбросов в атмосферу;
- по степени химической загрязненности исследуемые функциональные зоны можно расположить в следующий убывающий ряд: **транспортная > промышленная > жилая и рекреационная > перспективная застройка > фоновая зона**;
- по степени химической загрязненности исследуемые жилые подзоны можно расположить в следующий убывающий ряд: **жилая ЧС > жилая СП > жилая ЦИ зона**.

### 5.3. Эколого-геохимическая диагностика состояния почвенного покрова

Возрастающие площади нарушенных и техногенно трансформированных почв урбанизированных территорий – одна из актуальных проблем крупных городов РФ с развитой инфраструктурой, к числу которых относится город Воронеж. Весомый вклад в нарушение целостности пространства почвенного покрова (ПП), его структуры (СПП) вносят площадные и точечные строительные работы, транспортные магистрали, промышленное производство и другие сферы антропогенного влияния.

Проблема эколого-геохимического исследования почв урбанизированных территорий, подвергшихся негативному антропогенному воздействию, особенно остра, так как тенденция увеличения их площадей сопровождается коренным преобразованием почвенного профиля в виде механического нарушения его строения, несвойственного естественному генезису зональных почв, а также изменением эколого-геохимического состояния почв за счет влияния функционально-планировочных условий города.

Все городские земли представлены двумя категориями. В первую категорию включены земли с функционирующим почвенным покровом, обладающим биологической продуктивностью и находящимся в «незапечатанной» территории города. Во вторую категорию входит общий техногенный покров, в том числе отчужденная («запечатанная») часть ПП, занятая разными техническими объектами и не обладающая биологической продуктивностью. При этом основная часть техногенного покрова по существу «безвозмездно утеряна».

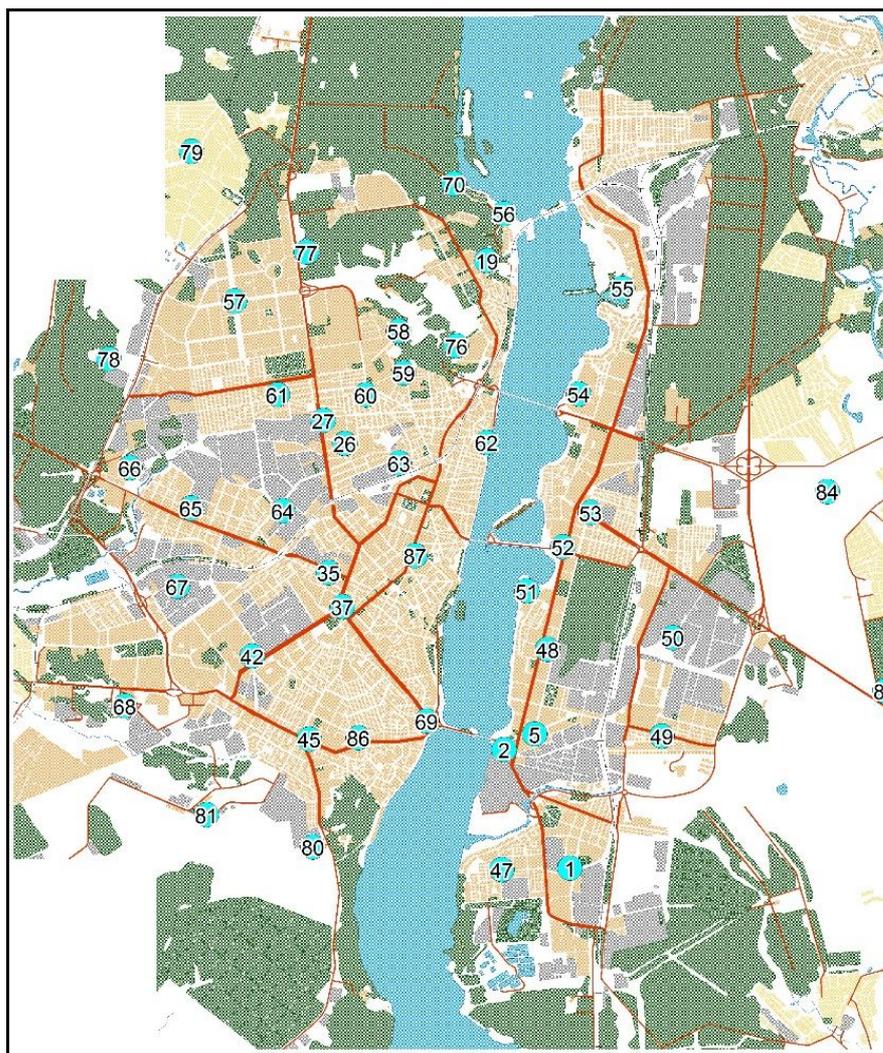
Нами разносторонне изучены обе категории городских земель. Особое внимание уделено анализу и оценке их эколого-геохимического состояния. Комплексными исследованиями почв и почвенного покрова была охвачена вся территория города Воронежа и частично пригородные зоны. Для их осуществления использованы традиционные и современные методы почвенного картографирования, химического анализа почв, экологического мониторинга [58, 177].

Для проведения эколого-геохимической диагностики состояния почвенного покрова территории города Воронежа было отобрано 97 образцов из верхних горизонтов почв (10-15 см) в весенне-летний период 2014-2015 гг. по заранее выбранным пунктам мониторинга (см. табл. 2.1). В качестве фона выбраны 6 пунктов мониторинга на территории пгт. Рамонь, СТ «Северный бор» и санатория им. Горького с естественным ненарушенным почвенным профилем. Пункты отбора образцов почвы в 2015 г. показаны на рисунке 5.9. Отбор проб и подготовка их к анализу проводились по нормативным документам для почвенного покрова: ГОСТ 17.4.3.01 – 83. Охрана природы: почвы. Общие требования к отбору проб (1984) и ГОСТ 17.4.4.02-84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа (1984).

Комплексные исследования были проведены на базе эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма совместно с кафедрой экологии и земельных ресурсов биолого-почвенного факультета ВГУ. Отбор и анализ проб почвы осуществлен Л.О. Середа. В работе применялись следующие методы анализа для определения экогеохимических показателей состояния почв и геоинформационного картографирования почвенного покрова:

- для оценки концентраций тяжелых металлов использован вольтамперометрический метод исследования (на анализаторе ГА-4 согласно ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06);
- нефтепродукты определялись методом хлороформ-гексановой экстракции (согласно ПНД Ф 16.1.41-04);

- содержание гумуса определено по методу И.В.Тюрина (согласно ГОСТ 26213-91);
- актуальная кислотность определялась потенциометрическим методом (с использованием портативного рН-метра);
- для определения фитотоксического эффекта применялись методы биотестирования /по проросткам растений-индикаторов: кресс-салат (*Lepidium sativum*) и овес посевной (*Avena sativa*)/;
- метод геоинформационного картографирования (в среде MapInfo).



*Рис. 5.9. Пункты мониторинга почвенного покрова в 2015 году*

Фоновыми компонентами функционирующего ПП правобережной и левобережной частей города являются черноземы выщелоченные, серые лесостепные и дерново-лесные почвы, различающиеся по своему генезису, строению, составу и свойствам. В их число входят естественные ненарушенные почвы городских лесов и пригородных зон, парков, садов (Ботанический сад ВГУ). Основу техногенного покрова составляют антропогенные глубокопреобразованные городские почвы – урбаноземы.

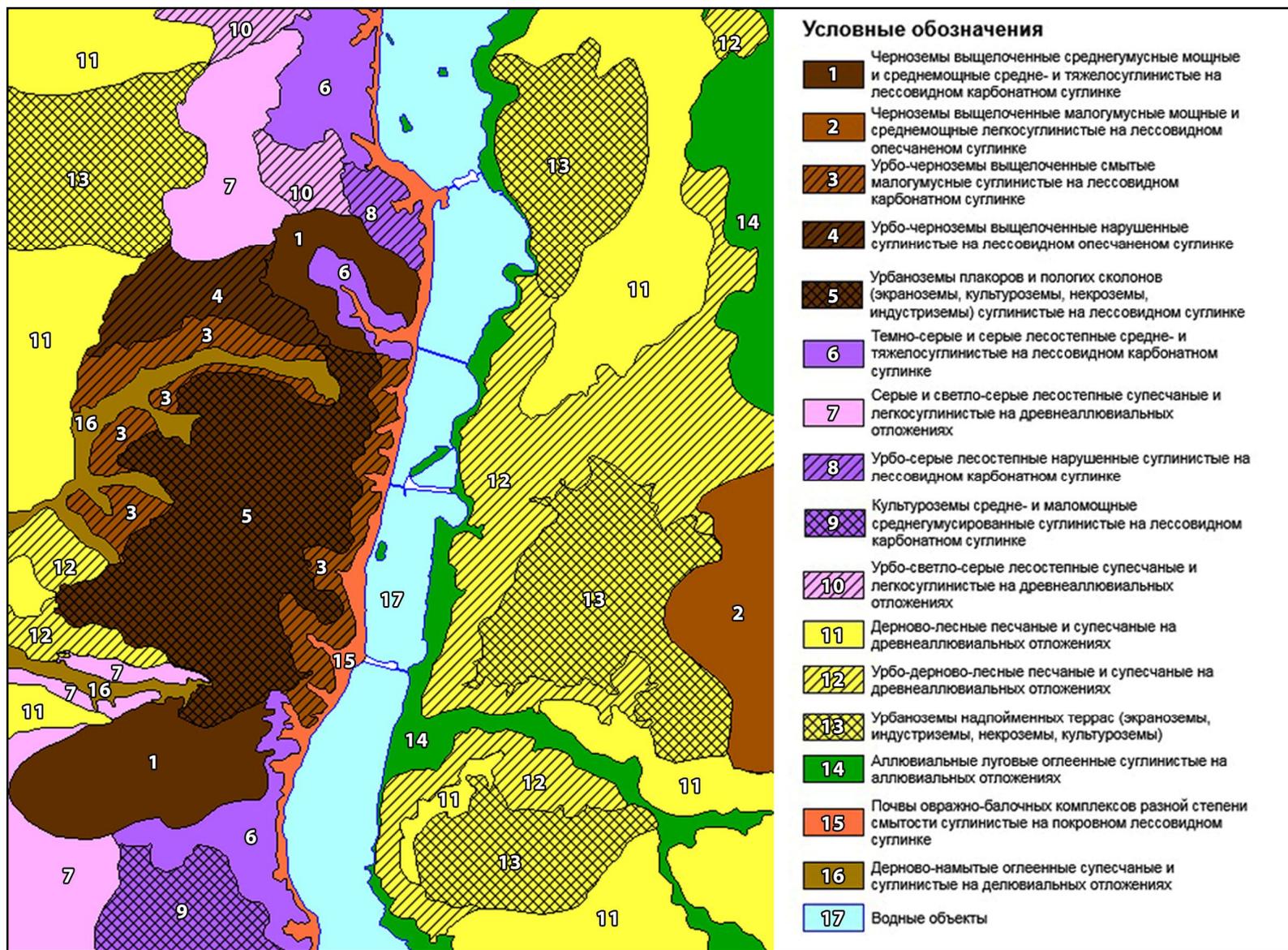


Рис. 5.10. Обзорная почвенная карта города Воронежа (составлена Л.А. Яблонских, Л.О. Серода)

Ареалы распространения городских почв показаны на обзорной почвенной карте города Воронежа (рис. 5.10). При ее составлении нами использована классификация городских почв, предложенная Г.В. Добровольским [58]. Данная классификация разработана для почв городов Центральной части России.

При составлении картосхемы учитывались следующие факторы: ландшафтная организация города, показатели состояния почвенного покрова (гранулометрический состав, содержание органического углерода, кислотность, содержание тяжелых металлов и др.), уровень техногенной нагрузки, характер застройки, промышленно-транспортная и социальная инфраструктура.

Правобережная, более возвышенная часть города Воронежа, находится на холмистом плато, в то время как левобережная часть, наоборот, расположена в более пониженной равнинной местности, переходящей в речную террасу. Такой контрастный рельеф предполагает формирование разнообразных типов почв, которые испытывают и разный уровень техногенной нагрузки.

Гранулометрический состав почв также неоднороден: от тяжелых суглинистых почв (в основном в правобережной части города) до песчаных и супесчаных (особенно на левом берегу).

Нами было проведено условное деление почвенного покрова города на естественные ненарушенные, естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные (естественные нарушенные) и антропогенные глубокопреобразованные урбанозёмы. Почвы городских садов и парков составляют культурозёмы, почвы городских кладбищ – некрозёмы, экранозёмы располагаются под городскими дорогами, тротуарами («запечатанные почвы»), а индустрозёмы – под промышленно-коммунальными объектами.

Кроме того, для городских почв свойственно формирование темноокрашенного горизонта, называемого «урбик», который состоит из примесей антропогенных включений (пыль, строительного мусора, промышленные отходы). Формирование этого горизонта происходит на почвах различного генезиса.

В почвенном покрове города Воронежа преобладают урбанозёмы. Для правобережной части города с высоким уровнем техногенной нагрузки характерны урбанозёмы плакоров и пологих склонов суглинистые. Среди них распространены следующие виды: а) индустрозёмы – почвы промышленно – коммунальных зон (территории заводов ОАО «Электросигнал», ОАО «Завод по выпуску тяжелых механических прессов» и др.); б) культурозёмы – почвы лесопарковых зон города (Кольцовский сквер, парк «Орлёнок» и др.); в) экранозёмы – запечатанные дорожными покрытиями.

тиями (интенсивные по грузопотокам улицы города: Московский проспект, ул. Плехановская, проспект Труда, Кольцовская и др.); г) интрузёмы (территории заправочных станций и автомобильных стоянок); д) реплантозёмы – почвы селитебных территорий. Крупные ареалы культурозёмов средне- и маломощных среднегумусированных занимают территорию фруктовых садов на юго-западе города.

На территории города также остаются почвы, слабозатронутые антропогенной деятельностью. Они занимают небольшую часть городской площади и располагаются преимущественно под городскими лесами и лесопарковыми зонами в черте города (участки Шиловского леса, Правобережное лесничество УОЛ ВГЛТА, Центральный парк культуры и отдыха «Динамо», Ботанический сад ВГУ и др.).

Почвы овражно-балочных комплексов разной степени смытости и намытости суглинистого гранулометрического состава залегают в основном на территории прибрежной склоновой зоны водохранилища правого берега. Напротив, аллювиальные луговые оглеенные суглинистые почвы на аллювиальных отложениях распространены в прибрежной зоне левого берега (поймы рек Воронеж, Песчанка, Усманка и Тавровка).

Для территории левого берега преимущественно характерны дерново-лесные песчаные и супесчаные почвы надпойменных террас, которые залегают вместе с их антропогенно-преобразованными аналогами в промышленной зоне левобережья (ОАО «ВАСО», ОАО «Воронежсинтезкаучук», ТЭЦ-1, ОАО ХК «Мебель Черноземья» и др.). Естественно-нарушенные дерново-лесные песчаные и супесчаные почвы залегают в северной части левого берега (Левобережное лесничество УОЛ ВГЛТА). Однако, для этого района характерна в настоящее время интенсивная застройка. Например, для микрорайона Сомово характерны уже преобразованные естественно-нарушенные урбо-дерново-лесные песчаные и супесчаные почвы. Только на окраине города, в юго-восточной ее части, распространены земли сельскохозяйственного назначения с характерными для них черноземами.

Для проведения эколого-геохимической диагностики города нами учитывались природные особенности и функционально-планировочная структура города, в частности, были изучены фоновые компоненты функционирующего ПП правобережной и левобережной частей города, а именно - черноземы выщелоченные, серые лесостепные и дерново-лесные почвы.

Характерные особенности фоновых дерново-лесных почв изучались по разрезу 1, заложенному в 350 метрах к северу от Подклетенского кургана на нижней террасе реки Дон и разрезам 2, 3, 4, заложенным на второй надпойменной террасе реки Воронеж (юго-восточная окраина города).

Большинство этих почв характеризуется малой гумусированностью. Лишь в почвах на нижней террасе реки Дон верхняя задерненная часть гумусового горизонта содержит 3,7-6,7% органического вещества, которое образовалось за счет лесного опада.

Для фоновой дерново-лесной почвы террасы реки Дон свойственна реакция среды, близкая к нейтральной в гумусовом горизонте ( $pH_{\text{сол}} = 5,6$ ) и среднекислая с глубины 40-50 см ( $pH_{\text{сол}} = 5,0-4,8$ ). Значительное увлажнение и очень высокая водопроницаемость приводят к сильному выщелачиванию дерново-лесных почв. Поэтому из них вымыты растворимые вещества и соли за пределы почвенного профиля. С этим связана относительно высокая гидролитическая кислотность (3,7 мг-экв/100 г) и низкая степень насыщенности основаниями современных почв (в пределах 49-73%).

Основная часть дерново-лесных песчаных и супесчаных почв нижних террас реки Воронеж (левобережная часть города) имеет низкое содержание гумуса – 1,3% в верхней части почвенного профиля, ниже оно не превышает 0,2-0,5%. Аналогично распределяются обменные основания, их сумма невысокая по всему почвенному профилю с некоторой тенденцией к увеличению с глубины 50-60 см. Реакция почвенной среды - слабокислая в верхней части профиля и близкая к нейтральной – за ее пределами. Степень насыщенности основаниями изменяется в пределах 55-73%.

Характерные особенности естественных ненарушенных серых лесостепных почв изучались по разрезам 5, 6, 7, которые были заложены на водоразделе рек Дон-Воронеж, по линии от Воронежского государственного лесотехнического университета на север к корпусу Воронежского государственного технического университета на 9-ом километре Задонского шоссе.

Серые лесостепные почвы обладают благоприятными химическими и физико-химическими свойствами. Содержание гумуса в верхних горизонтах колеблется от 4,8 до 5,3%. Отмечается следующая зависимость: чем легче гранулометрический состав, тем меньше содержание гумуса.

Содержание обменного кальция в верхнем 10-см слое колеблется от 19,0 мг-экв/100 г до 21,2 мг-экв/100 г, обменного магния - от 3,1 до 3,3 мг-экв/100 г почвы. Далее вниз по профилю содержание обменных оснований меняется в сторону уменьшения.

Гидролитическая кислотность в верхнем слое достигает 4,5-4,8 мг-экв/100 г почвы, равномерно снижается по профилю до 1,5-2,4 мг-экв/100 г в горизонте ВС. Невысокая гидролитическая кислотность обуславливает достаточно высокий показатель степени насыщенности основаниями, который растет с глубиной.

Особенности черноземов выщелоченных изучались по разрезам 8, 9, 10, заложенным на водоразделе рек Дон-Воронеж (опушка Ботанического

сада ВГУ) и на территории совхоза «Масловский» на третьей надпойменной террасе реки Воронеж.

Черноземы выщелоченные характеризуются благоприятными свойствами. Содержание гумуса в слое 0-20 см равно 4,7-6,3%, в средней части почвенного профиля оно снижается до 2,6 - 3,6 %, а на глубине 100-110 см равно 0,4 - 0,5%. В гумусовом горизонте по разрезам 8, 9 (опушка Ботанического сада ВГУ) содержание обменного кальция колеблется от 23,5 мг-экв/100 г до 23,8 мг-экв/100 г, содержание магния - от 3,2 до 3,9 мг-экв/100 г. Вниз по профилю содержание обменных оснований меняется в сторону уменьшения.

Гидролитическая кислотность по разрезам 8, 9 в слое 0-10 см достигает 4,3 - 4,5 мг-экв/100 г почвы и равномерно снижается по профилю. Невысокая гидролитическая кислотность обуславливает достаточно высокую степень насыщенности основаниями: в верхнем слое составляет 85 - 86%.

Черноземы выщелоченные третьей надпойменной террасы реки Воронеж также характеризуются благоприятными свойствами. Содержание гумуса постепенно уменьшается с глубиной до 2,2%. Данные почвы содержат 31-32 мг-экв/100 г почвы обменных кальция и магния. Количество гумуса в верхнем слое (до 20 см) составляет 5,8%. Реакция почвенного раствора колеблется от слабокислой до нейтральной (рН = 4,8-6,2), а на глубине 100-110 см она слабощелочная (рН = 7,5).

Задачей наших исследований являлась также оценка техногенного загрязнения почв города путем определения в поверхностном слое городских почв кислотности, гумуса и органического углерода, нефтепродуктов, валового содержания и подвижных форм тяжелых металлов – свинца (Pb), кадмия (Cd), меди (Cu), цинка (Zn), марганца (Mn), а также уровня фитотоксического эффекта.

Исследования содержания гумуса в образцах почв, отобранных в 2014 г., показали, что значительная часть городских почв относится к малогумусным (рис. 5.11). Почвы с более высоким количеством гумуса залегают в зонах рекреации (парки «Орлёнок» (4,3-4,5%), Авиастроителей (4,0%)) и в зоне жилой застройки (жилые районы по ул. Ломоносова, частный сектор в Советском и Левобережном районах (4,5-5,0%)). Кроме того, высокое содержание гумуса обнаружено и в почвах промышленной зоны – урбаноэмах (ул. Урицкого, 47 (7,31%); ул. Дорожная, 15 (9,5%); ул. Волгоградская, 48 (6,1%) и др.). Для городских индустриеземов характерны средние и высокие значения содержания гумуса (6-10 %).

Анализ содержания гумуса в 2015 г. показал, что сохранилась тенденция, выявленная по данным 2014 г. [173] (рис. 5.12). Для почв, залегающих в промышленных зонах города, характерны высокие показатели содержания гумуса (ул. Лебедева, 2 (4,18 %), ул. Л. Рябцевой, 51б (6,55%)). Почвы с высоким содержанием гумуса залегают и в районах рекреации

(ул. Дарвина, 1 (6,77 %)), и в жилых районах города (ул. Транспортная, 83а (6,08 %), ул. Грамши, 70 (5,87%)). Кроме того, нами были исследованы перспективные районы города под застройку. Содержание гумуса в таких районах колебалось от 0,82 % до 8,47 %. Значения фоновых точек остались на прежнем уровне.

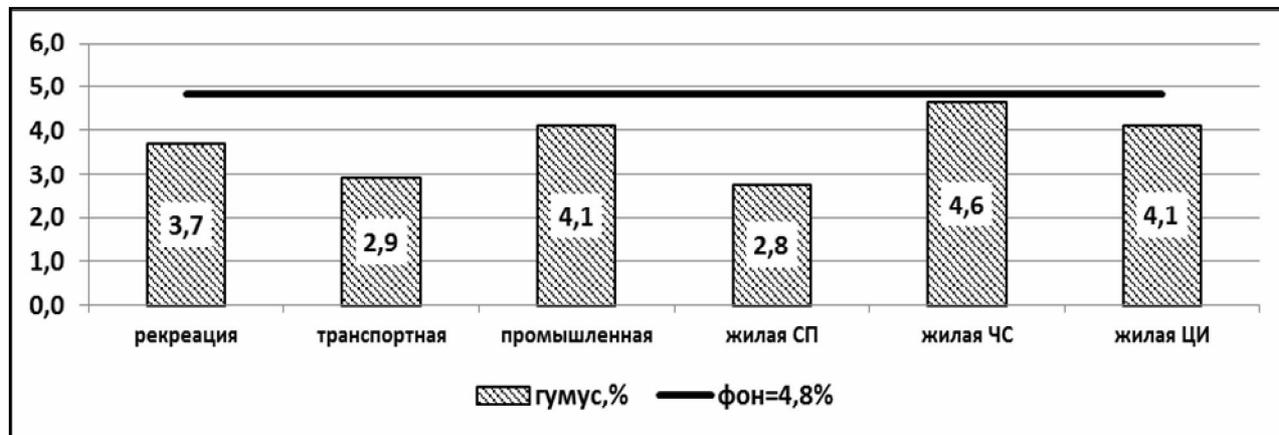


Рис. 5.11. Среднее содержание гумуса (%) по функциональным зонам г. Воронежа в 2014 году (здесь и далее /рис. 5.12 - 5.16/: СП - современная многоэтажная застройка, ЧС - частный сектор, ЦИ - смешанная застройка центральной исторической части города)

Результаты исследования актуальной кислотности показали изменение реакции среды от слабокислой до слабощелочной. Для почв, залегающих в рекреационной и жилой зонах, характерны более низкие показатели актуальной кислотности, чем для почв в промышленной и транспортной зонах (рис. 5.13).

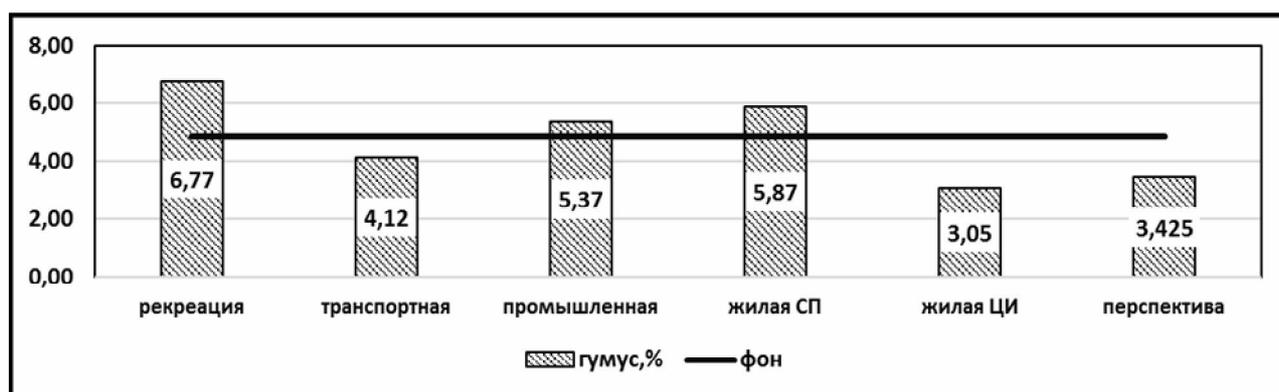


Рис. 5.12. Среднее содержание гумуса (%) по функциональным зонам г. Воронежа в 2015 году

Таким образом, урбанозёмы и сильнонарушенные естественные почвы более щелочные по сравнению с культурозёмами лесопарковых зон со слабокислой или кислой реакцией среды (парк «Орлёнок» (рН = 6,84),

парк «Дельфин» (рН = 6,00) и др.). Засоление и подщелачивание городских почв происходит из-за внесения на открытые поверхности противогололедных реагентов, использования минеральных удобрений для развития растений, а также пыли, поступающей с автомагистралей.

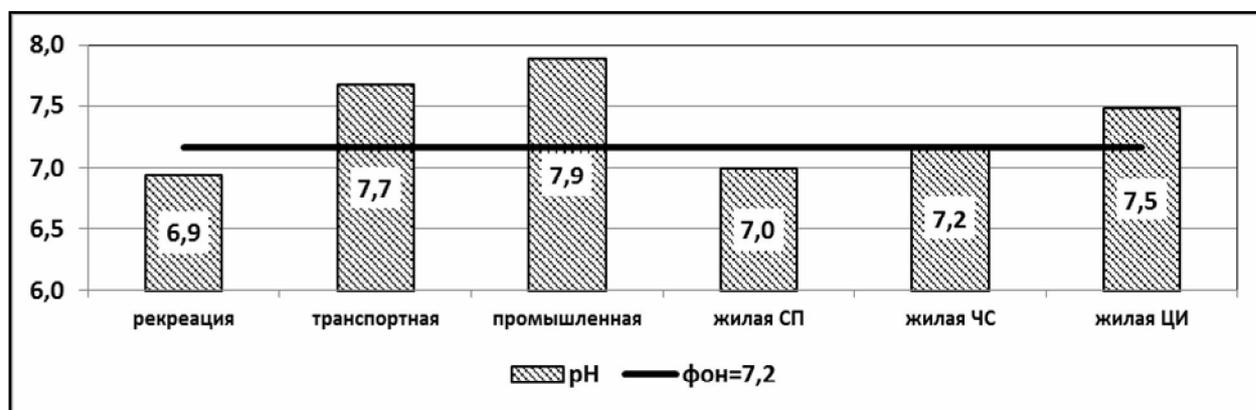


Рис. 5.13. Среднее значение актуальной кислотности по функциональным зонам г.Воронежа в 2014 году

Высокий уровень щелочности почвенного покрова во многом обусловлен большим количеством поступающей пыли с автомагистралей, которая содержит карбонаты Са и Mg, а также из-за использования извести в строительном растворе, который легко выветривается с территорийстроек и оседает в почву. На существенное подщелачивание почв влияет также поступление калийных солей на тротуары и дороги города в зимний период с целью их внесения для борьбы с гололедицей.

Анализ актуальной кислотности образцов почв, отобранных в 2015 г., показал, что сохранились тенденции, отмеченные по результатам 2014 года (рис. 5.14).

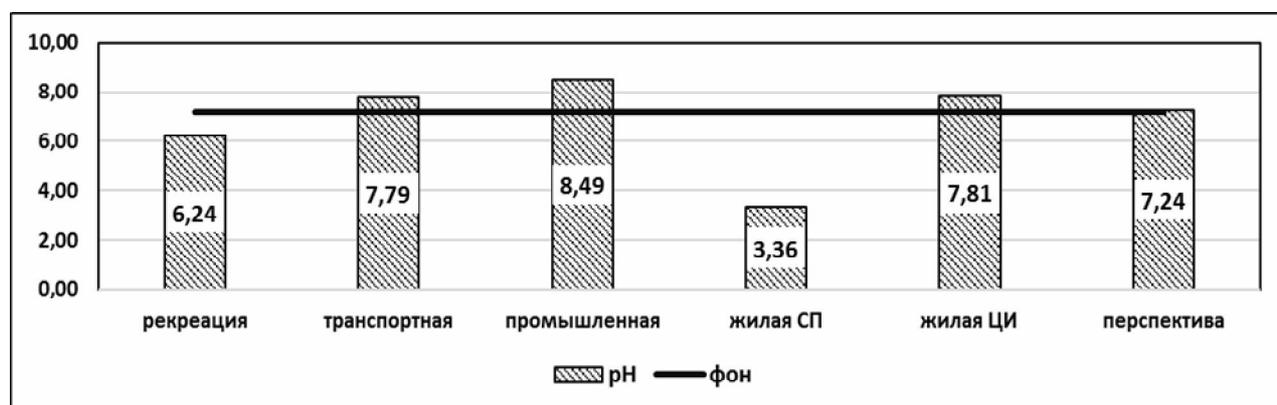


Рис. 5.14. Среднее значение актуальной кислотности по функциональным зонам г.Воронежа в 2015 году

Проанализировав загрязнение почвенного покрова г. Воронежа нефтепродуктами, мы отметили, что наибольшие концентрации наблюдаются вблизи наиболее интенсивных по грузопотокам перекрестках города и зонах промышленного влияния. Эта тенденция отмечается и в 2014 г., и в 2015 г. (рис. 5.15, 5.16). Так, высокие концентрации нефтепродуктов в почве были обнаружены в районе ул. Димитрова (1916,7 мг/кг) - ул. Волгоградская (1673,3 мг/кг), Московский проспект - ул. Хользунова (1240,0 мг/кг) и др. Ранее проведенные исследования подтверждают, что в почве транспортных зон г. Воронежа обнаружено превышение ОДК (300 мг/кг) по нефтепродуктам в 3 раза, особенно в левобережной части города [121].

Наиболее низкие концентрации (менее 200 мг/кг) нефтепродуктов отмечены в зонах рекреации города: парке «Алые паруса» (166,7 мг/кг), парке «Дельфин» (170,0 мг/кг), ул. Дарвина (120,0 мг/кг) и др. Относительно чистые зоны, концентрация нефтепродуктов в которых составляет менее 400 мг/кг, располагаются в Коминтерновском жилом районе (ул. Генерала Лизюкова, 73а (136,7 мг/кг), ул. Шишкова, 53 (200,0 мг/кг) и др.), некоторых участках Центрального (ул. Ломоносова, 1 (13,3 мг/кг) и др.) и Левобережного районов (ул. Черепанова, 18 (206,7 мг/кг), ул. Героев Стратосферы, 8 (223,3 мг/кг) и др.), где отсутствует интенсивное движение автотранспорта [173].

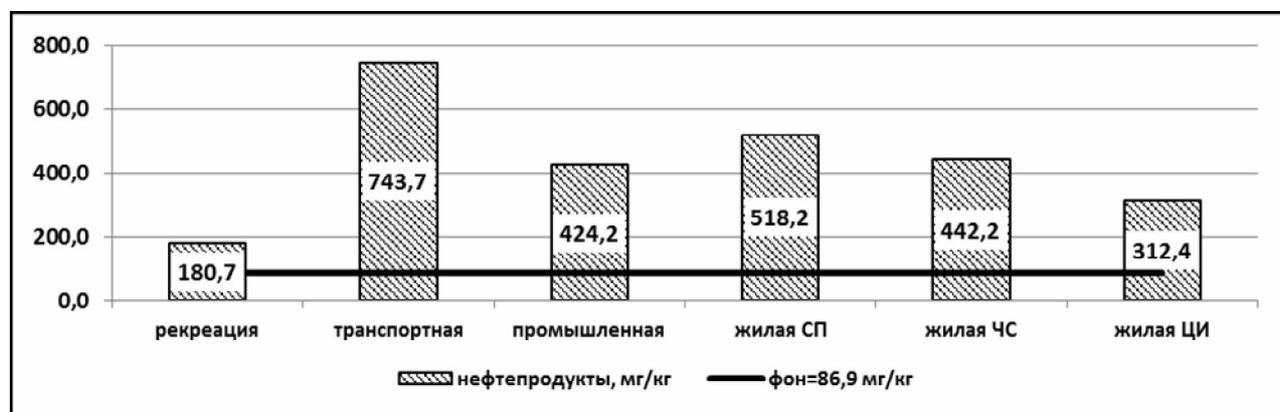
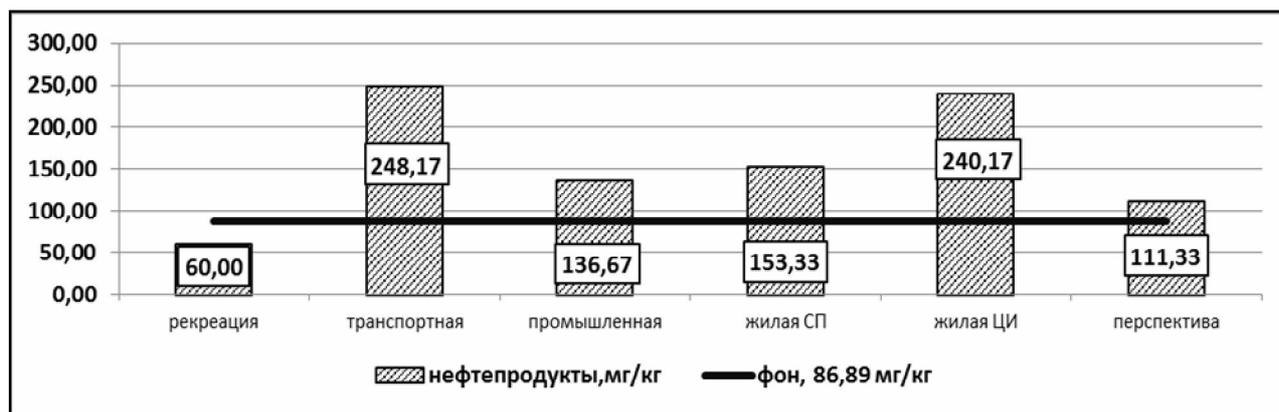


Рис. 5.15. Среднее содержание нефтепродуктов по функциональным зонам г. Воронежа в 2014 году

Исследования, проведенные в 2015 г., подтвердили данные 2014 г. Наиболее низкие концентрации нефтепродуктов отмечены в зонах рекреации и жилых зонах города: ул. Дарвина, 1 (60,0 мг/кг), ул. Ростовская, 44 (40,67 мг/кг) и др. Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов отмечаются в транспортных зонах города: ул. 20-летия Октября, 94 (560,0 мг/кг), ул. Матросова, 6 (329,33 мг/кг). В районах, перспективных под застройку, содержание нефтепродуктов составило от 13,33 мг/кг до 360,0 мг/кг.



*Рис. 5.16. Среднее содержание нефтепродуктов по функциональным зонам г.Воронежа в 2015 году*

Нами подтверждено, что загрязнение почвы нефтепродуктами в целом прямо пропорционально транспортной загруженности автодорог, интенсивности и средней скорости движения автомобилей. Так, очаги наиболее активного загрязнения сформировались на примагистральных участках пересечений улиц Димитрова – Волгоградская, в районе ВАИ, центрального автовокзала на Московском проспекте, что ранее отмечено на территории города [37].

Для выяснения индикационной роли тяжелых металлов в загрязнении городской среды нами проводится мониторинг валовых концентраций и подвижных форм свинца, кадмия, меди, цинка, марганца в поверхностном слое городских почв. Опасность высокого загрязнения транспортных зон города Воронежа свинцом и кадмием (по подвижным формам) ранее уже отмечена Н.Н. Назаренко с соавт. [121]. Результаты наших аналитических исследований представлены в таблице 5.6.

Основным приоритетным загрязнителем почв г. Воронежа является свинец. Повышенное загрязнение свинцом воздушного бассейна и почв обычно связано с автотранспортной нагрузкой, постепенно нарастающей в современных городах. Причем ионы свинца малоподвижны даже при низких значениях рН, что усиливает загрязнение свинцом поверхностных горизонтов почвы обычно до глубины 10-15 см [136].

Нами отмечены повышенные концентрации свинца (до 2-4 ПДК) на транспортных перекрестках и вдоль крупных автодорог города – перекрестке Московского пр-та и ул. Хользунова, ул. Грамши, ул. 9-е Января – ул. Антонова-Овсеенко, ул. Плехановской, ул. Кольцовской и др. В жилой зоне и зоне рекреации высоких концентраций свинца не было отмечено.

Другим опасным загрязняющим веществом в городе является кадмий. Накопление кадмия в гумусе протекает в значительно меньшей степени, чем накопление свинца. В ходе нашей работы высоких концентра-

ций кадмия обнаружено не было. В промышленных и транспортных зонах содержание кадмия было в 3-4 раза выше, чем в зонах рекреации и селитебной, но превышений ПДК не отмечалось.

Таблица 5.6

Содержание тяжелых металлов в почве некоторых мониторинговых пунктов (по отдельным тяжелым металлам /ТМ/)

№ *	Пункты наблюдения	Функциональная зона **	Концентрация ТМ (мг/кг)
<b>Свинец (подвижная форма)</b>			
14	ул. Богдана Хмельницкого, 35	промышленная	101,0
47	ул. Саврасова – ул. Заслонова	транспортная	72,0
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	транспортная	113,0
17	СОК «Олимпик»	рекреация	0,92
56	ул. Дарвина	рекреация	0,076
43	Парк «Танаис» (ул. Южно-Моравская)	рекреация	0,38
<b>Цинк (валовое содержание)</b>			
10	Ленинский проспект, 149	транспортная	97,10
24	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	119,00
14	ул. Богдана Хмельницкого, 35	промышленная	131,00
43	Парк «Танаис» (ул. Южно-Моравская)	рекреация	2,8
12	ул. Грибоедова, 5	жилая СП	0,13
11	больница Электроника	рекреация	1,9
<b>Медь (подвижная форма)</b>			
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	транспортная	56,0
14	ул. Богдана Хмельницкого, 35	промышленная	6,2
42	ул. Ворошилова, 30	жилая ЦИ	4,2
18	ул. Ломоносова, 114	рекреация	0
51	Парк «Алые паруса»	рекреация	0
17	СОК «Олимпик»	рекреация	0
<b>Кадмий (валовое содержание)</b>			
14	ул. Богдана Хмельницкого, 35	промышленная	1,6
10	Ленинский проспект, 149	транспортная	0,34
13	ул. Землячки, 1	промышленная	0,23
4	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	рекреация	0
51	Парк «Алые паруса»	рекреация	0
17	СОК «Олимпик»	рекреация	0
<b>Марганец (подвижная форма)</b>			
47	ул. Саврасова – ул. Заслонова	транспортная	1712,0
13	ул. Землячки, 1	промышленная	825,0
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	транспортная	1132,0
17	СОК «Олимпик»	рекреация	78,8
61	ул. Нагорная, 65	жилая ЧС	19,0
23	ул. Генерала Лизюкова, 73а	жилая СП	55,0

\*) номер пункта отбора проб (см. рис. 5.9.);

\*) см. примечание к табл. 2.1.

Анализируя загрязнение почвы города Воронежа медью, обнаружены участки с превышением ПДК: точка 42 - ул. Ворошилова, точка 30 – в зоне влияния Воронежского механического завода (филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»), точка 14-ул. Б.Хмельницкого, 35 – в зоне влияния ОАО ХК «Мебель Черноземья» и Воронежского вагоноремонтного завода (филиал АО "Вагонремаш") и точка 15 - ул. Куйбышева – ул. Панфилова – в транспортной зоне города,, что свидетельствует о том, что данные промышленные объекты могут быть источником загрязнения городской среды медью. Также стоит отметить, что высокие концентрации меди, близкие к величине ПДК, наблюдаются в зонах интенсивной транспортной нагрузки города (ул. Димитрова - ул. Волгоградская, Московский проспект - ул. Хользунова и др.).

К сравнительно подвижным элементам в почве также относят цинк. В ряде участков города наблюдается значительное превышение ПДК содержания в почве цинка; в основном это транспортные участки города (ул. Брусилова – Ленинский проспект, Московский проспект) и промышленная зона (ул. Пирогова, 79, ул. Богдана Хмельницкого, 35, ул. Кривошеина, 11).

Основными источниками поступления цинка в окружающую среду являются ФГУП «Воронежский механический завод» и ОАО «Рудгор-маш».

В ходе проведенных исследований нами было выявлено, что наибольший уровень загрязнения почвенного покрова валовым содержанием и подвижными формами тяжелых металлов установлен в промышленной и транспортной зонах города. Наименьшее загрязнение почвы тяжёлыми металлами отмечается преимущественно в районах, удалённых от промышленных объектов («спальных» микрорайонах) и крупных автодорог.

Анализ загрязненности почвы с помощью биотеста в 2014 г. на проростках кресс-салат (*Lepidium sativum*) и овес посевной (*Avena sativa*) показал следующее: для почв в промышленной и транспортной зонах города характерен высокий уровень фитотоксичности. Качественными показателями морфологических изменений тест-растения под влиянием загрязнения почвы являлись энергия прорастания, всхожесть семян, длина корешка, высота растений, общая биомасса (табл. 5.7).

Высокая всхожесть и хорошее развитие проростков овса и кресс-салата позволяют сделать вывод, что почвы залегающие в зоне рекреации и фоновых точках, не подвергаются существенному загрязнению. В образцах почв промышленной и транспортной зон города уменьшилась длина корневой системы, проростки стали более тонкие и короткие. Сильное техногенное загрязнение привело к резкому снижению таких качественных показателей тест-объектов как энергия прорастания, всхожесть, рост

и развитие проростков. Более чувствительным тест-растением оказался овес, напротив, кресс-салат оказался более вынослив, т.к. наблюдалась хорошая всхожесть семян и небольшие деформации в процессе развития.

Таблица 5.7

Изменение морфологических показателей тест-растений в разных функциональных зонах (ФЗ) города в 2014 году

ФЗ	Энергия прорастания, %		Всхожесть, %		Длина главного корня, см		Длина проростка, см		Биомасса, г	
	овес	кресс - салат	овес	кресс - салат	овес	кресс - салат	овес	кресс - салат	овес	кресс - салат
рекреация	14,29	33,57	82,14	85,71	7,4	6,4	10,8	8,1	0,77	0,10
фон	6,67	45,00	100,0	100,0	8,2	7,7	12,0	8,0	0,85	0,10
транспортная	22,35	47,06	55,29	77,65	6,3	3,5	8,2	5,9	0,27	0,06
промышленная	10,00	48,89	51,67	73,89	6,1	3,4	9,1	5,4	0,26	0,05
жилая СП	23,33	38,33	56,67	78,33	6,0	4,0	10,3	6,5	0,50	0,06
жилая ЧС	4,29	50,00	61,43	71,43	8,0	4,9	10,29	6,00	0,52	0,04
жилая ЦИ	4,29	34,29	57,78	82,86	6,71	4,57	8,14	6,71	0,40	0,06

Данные по уровню фитотоксического эффекта показаны на рисунках 5.17 и 5.18.

Проведенная эколого-геохимическая диагностика состояния почв города Воронежа позволяет сделать следующие основные выводы.

1. В почвенном покрове города преобладают урбанозёмы, которые составляют крупные ареалы в большинстве его районов. Наименьшая доля от общей площади города приходится на почвы, слабозатронутые хозяйственной деятельностью человека, которые располагаются преимущественно в лесопарковых зонах.

2. Среднегумусные почвы распространены в рекреационной и жилой зонах (преимущественно частный сектор и новые районы современной многоэтажной застройки), а также в ряде участков промышленной зоны.

3. Урбанозёмы промышленной и транспортной зон города имеют неблагоприятные свойства: низкое содержание гумуса и щелочную реакцию почвенной среды, повышенный уровень загрязнения нефтепродуктами и тяжелыми металлами.

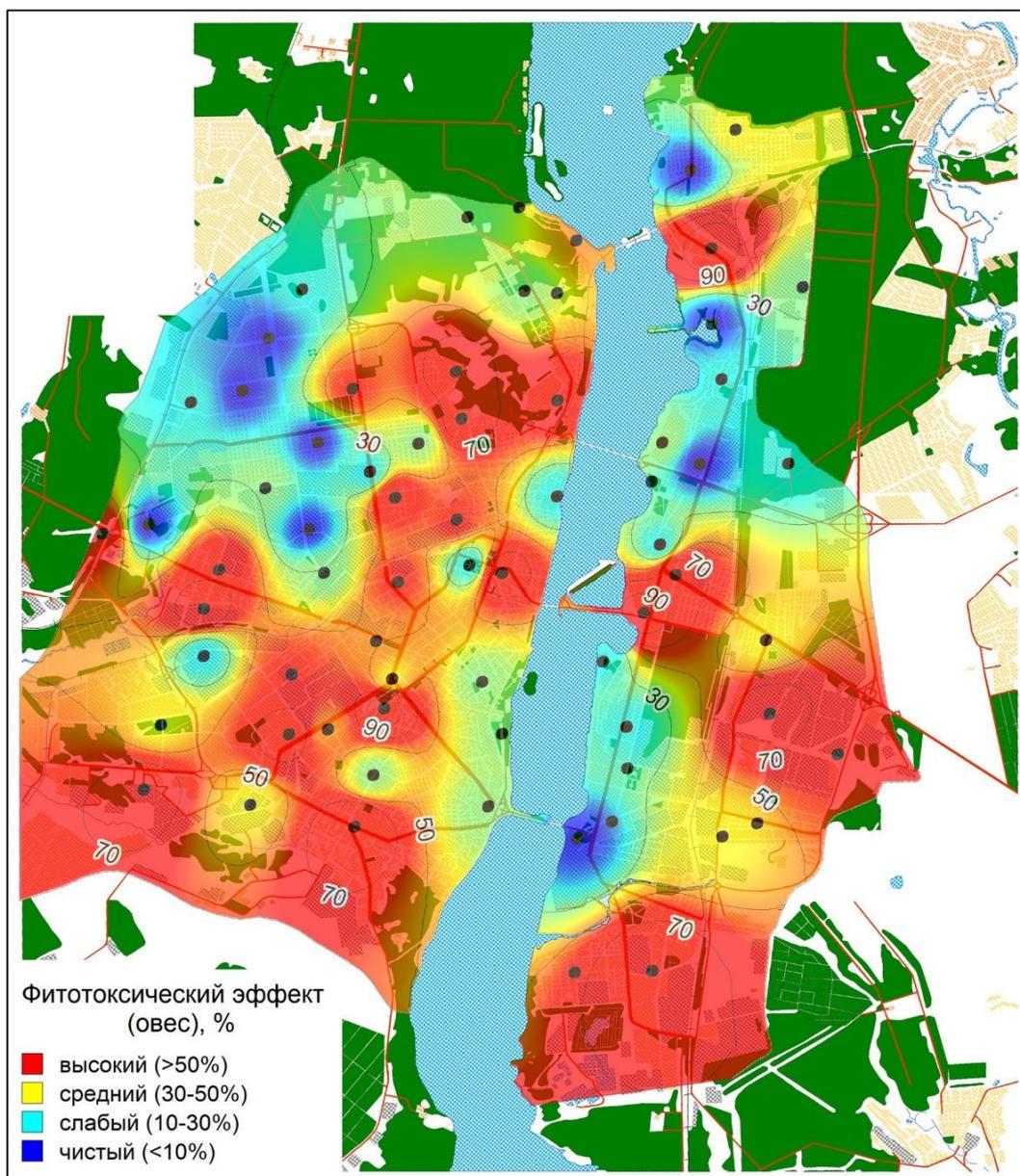


Рис. 5.17. Фитотоксический эффект тест-растения *Avena sativa*

4. Наименьший уровень загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами установлен в жилых районах города, удаленных от промышленных объектов и крупных автодорог.

5. Отмечены определенные тенденции изменения содержания некоторых тяжелых металлов в почвах города. Так, накопление цинка происходит в почвах с щелочной реакцией почвенной среды и низким содержанием гумуса (ул. Саврасова – ул. Заслонова, Московский пр-т - ул. Хользунова и др.). Наиболее низкие концентрации свинца отмечаются в слабокислых почвах в рекреационных зонах (Парк «Алые паруса», СОК «Олимпик»), а более высокие концентрации – в щелочных почвах (ул. Димитрова - ул. Волгоградская, ул. Ильюшина, 126 и др.).

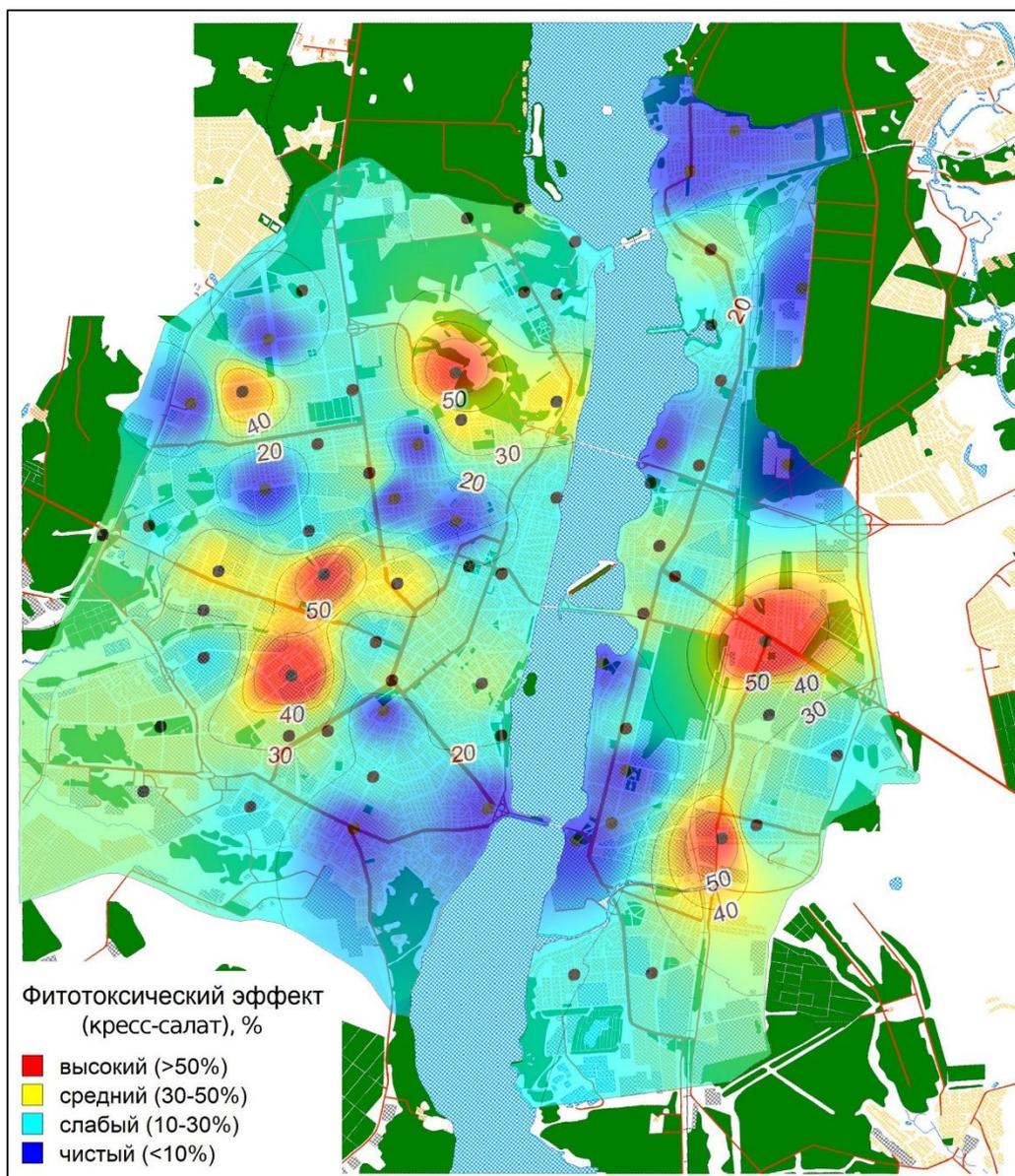


Рис. 5.18. Фитотоксический эффект тест-растения *Lepidium sativum*

В настоящее время в г. Воронеже не отмечается опасных геохимических аномалий, однако, учитывая кумулятивный эффект и высокую потенциальную опасность загрязнения городской среды нефтепродуктами и тяжелыми металлами, для предотвращения формирования очагов высокого химического загрязнения целесообразно в дальнейшем расширить систему пунктов почвенно-геохимического мониторинга с равномерным охватом всей территории города.

#### 5.4. Биоиндикационная оценка состояния зеленых насаждений

Биоиндикационная оценка состояния городской среды - важный аспект городской системы экологического мониторинга. В то же время в большинстве городов России (за исключением Москвы, Санкт-Петербурга и некоторых др.) система мониторинга зеленых насаждений отсутствует, что свидетельствует о необходимости научного обоснования и практического внедрения биоиндикационных методов в сферу управления качеством городской среды.

Несмотря на наличие разнообразных работ, посвященных оценке состояния озелененных территорий города Воронежа [52, 116, 163], недостаточно изученными остаются проблемы комплексной оценки состояния древесных растений, произрастающих в урбанизированной среде, что и определяет актуальность данных исследований.

В главе 4 отражены результаты оценки флуктуирующей асимметрии листовых пластинок двух видов древесных растений: тополя пирамидального (*Populus pyramidalis*) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.). В продолжение и развитие этих исследований нами дополнительно в 2014-2015 гг. была проведена оценка жизненного состояния древостоев, а также анализ показателя зольности листьев и коры древесных растений, произрастающих в разных экологических условиях на территории города Воронежа. Постановка задачи и биоиндикационные исследования проведены М.А. Клевцовой.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- 1) проанализировать видовой состав древесных растений города Воронежа;
- 2) оценить жизненное состояние древостоев;
- 3) отобрать растительный материал на исследуемой территории и определить зольность листьев и коры древесных растений.

Первоначально в мае 2014 г. проведено дендрологическое обследование 70 точек на территории г. Воронежа. В результате было установлено, что наиболее распространенными по показателю встречаемости являются следующие виды: береза повислая (*Betula pendula* Roth.), вяз мелколистный (*Ulmus pumila* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis*), каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.).

В качестве объекта наших исследований выступали насаждения тополя пирамидального (*Populus pyramidalis*), произрастающие в разных функциональных зонах города Воронежа. В 30 пунктах мониторинга были заложены пробные площадки (площадью 0,25 га). На каждом участке произрастает более 25 экземпляров данного вида.

Фоновые точки расположены на территории санатория им. Горького и п.г.т. Рамонь.

В 2014-2015 гг. инвентаризировано более 900 экземпляров тополя пирамидального. На пробной площади у каждого дерева определяли диаметр (см) с помощью мерной вилки и высоту (м) электронным высотометром (эклиметром). Визуально, используя бинокль, устанавливали густоту кроны (в процентах от нормальной густоты), наличие мертвых побегов на стволе (и степень повреждения листового аппарата).

Одними из важных морфометрических показателей является диаметр и высота дерева. В таблице 5.8 приведены средние значения данных параметров. Необходимо отметить, что степень варьирования в 62% точек средняя или низкая. Корреляционная связь между высотой и диаметром достоверная, высокая (от +0,60 до + 0,86) .

В основу исследований была положена методика В.А. Алексеева [103], согласно которой отнесение деревьев к одной из шести категорий жизненного состояния проводится по комплексу биоморфологических признаков: цвету листьев и густоте кроны, наличию и доле сухих ветвей в кроне, состоянию коры, признакам заселения стволовыми вредителями и др. Данная шкала является универсальной для хвойных и лиственных пород деревьев.

Таблица 5.8

Морфометрические параметры деревьев тополя пирамидального

Пункты мониторинга *	Местоположение точки отбора проб	Функциональная зона*	Морфометрические и расчетные параметры **					
			M	$\pm\sigma$	V, %	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	R
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Левый берег</i>								
1	ул. Ростовская, 44	жилая ЦИ	38,3	11,9	31,3	19	67	0,70
5	ул. Героев Стратосферы, 8		37,4	9,7	26	20	54	0,74
2	ул. Лебедева, 2	промышленная	33	6,8	20,3	16	46	0,75
9	Парк «Дельфин» (ул. Остужева)	рекреация	39,5	13,7	34,6	15	60	0,60
10	Ленинский проспект, 149	транспортная	35	12,1	34,6	17	55	0,71
52	ул. Брусилова – Ленинский проспект		40,4	9,6	23,7	30	56	0,77
53	ул. Димитрова – ул. Ленинградская		43,9	12	27,5	21	58	0,74
<i>Правый берег</i>								
18	ул. Ломоносова, 114	рекреация	26,1	5,6	21,6	10	32	0,86
19	ул. Дарвина, 1		18,8	5,5	29	10	28	0,74

Продолжение таблицы 5.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
39	Петровская Набережная		35	8,9	25,4	18	56	0,70
21	ул. Вл. Невского, 53	жилая СП	26,1	5,3	20,2	17	34	0,79
23	ул. Генерала Лизюкова, 73а		38,7	11	28,4	16	62	0,78
40	ул. Моисеева, 11		45,6	9,6	21	27	56	0,76
59	ул. Транспортная, 83а		45,7	13,2	28,8	30	62	0,76
22	ул. Хользунова, 102	транспортная	38,3	10,4	27,1	25	56	0,71
24	Московский проспект - ул. Хользунова		26,4	6,1	23	17	44	0,73
30	ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко		30,9	8,1	26,1	18	52	0,70
34	ул. Степана Разина – ул. Большая Манежная		31,5	9,6	30,4	13	48	0,70
35	ул. 9 Января, 49		33	12,5	37,9	15	50	0,76
37	ул. 20-летия Октября, 94		40,3	11,2	27,8	26	62	0,76
45	ул. Матросова, 6		37,7	10,2	26,9	17	55	0,75
57	Победы бульвар – ул. 60 Армии		26,5	8,1	30,6	14	44	0,75
26	ул. Лидии Рябцевой, 51Б	промышленная	35,9	8,6	24	23	51	0,80
28	ул. Машиностроителей, 8		32,5	10,7	32,9	16	55	0,81
29	Ясный проезд, 13		36,8	9,7	26,3	16	54	0,77
44	ул. Кривошеина, 11		35,5	5,9	16,5	24	48	0,76
64	проспект Труда, 111		49,4	4,8	9,6	38	55	0,71
32	ул. 3 Интернационала, 4	жилая ЦИ	33,1	8,7	26,4	16	49	0,72
41	ул. Депутатская, 12		45,4	10,7	23,5	22	60	0,78
42	ул. Ворошилова, 30		31,6	9,5	30,2	15	50	0,74
70	санаторий им. Горького	фон 1	39,1	11,1	28,6	19	54	0,85
72	п.г.т. Рамонь, ул. Тутукова	фон 2	27,7	3,4	12,3	22	32	0,75

\*) Номера пунктов мониторинга и названия функциональных зон - см. примечание к табл.2.1.

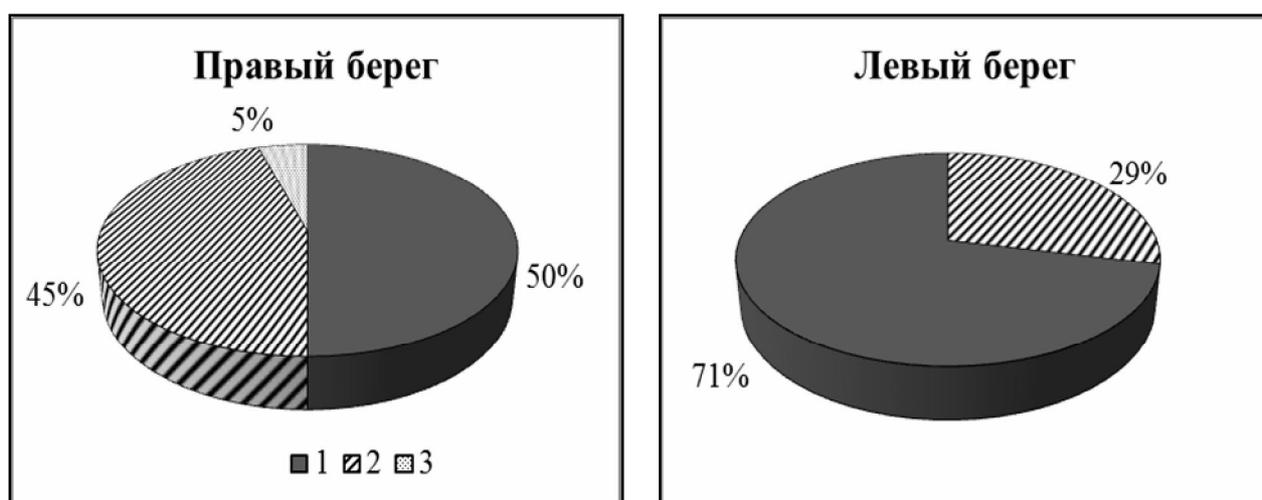
\*\*) Условные обозначения:  $M$  – среднеарифметическое значение диаметра ствола;  $X_{min}$  и  $X_{max}$  – минимальное и максимальное значение показателя;  $\pm\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;  $V$  – коэффициент вариации;  $R$  – коэффициент корреляции высоты и диаметра ствола.

После суммирования количества стволов деревьев по категориям производится оценка относительного жизненного состояния ( $L_n$ , %) всего насаждения по шкале: здоровое насаждение (от 100 до 80%), ослабленное (79-50%), сильно ослабленное (49-20%) и полностью разрушенное (менее 19%).

Результаты оценки жизненного состояния тополя пирамидального в исследуемых пунктах г. Воронежа показывают, что в настоящее время деревья, произрастающие на левом берегу находятся в более ослабленном состоянии, чем на правом (рис. 5.19). В точке № 26 (ул. Лидии Рябцевой, 51б) насаждения относятся к категории сильно ослабленных и имеют самый низкий показатель жизненности – 40,5%. По функциональной принадлежности данная территория относится к промышленной зоне, но здесь также наблюдается высокая интенсивность движения автотранспорта (более 10 000 автомобилей в сутки).

Колебание относительного жизненного состояния древостоя ( $L_n$ ) показало, что для тополя оно составляет от 40,5 % до 100 %.

В точке №29 (Ясный проезд, 13) и № 32 (ул. 3 Интернационала, 4) древостой имеют состояние, близкое к категории «сильно ослабленных» (рис. 5.20). Первая из указанных точек расположена в промышленной зоне, вторая – в жилой (ЦИ).



*Рис. 5.19. Распределение древостоев тополя пирамидального по категориям жизненного состояния*

По категориям жизненного состояния обследованные экземпляры тополя пирамидального распределены следующим образом. Здоровые деревья первой категории зафиксированы во всех зонах, но наибольшее количество – в рекреационной и жилой. Слабо поврежденные экземпляры отмечены в большинстве точек, но максимальное число – в транспортной зоне. Доля сильно ослабленных деревьев значительна в промышленной зоне. Отмирающие особи и сухостой отмечены только в районах транспортной и промышленной напряженности (рис. 5.21).



*Рис. 5.20. Наличие сухостоя и сильно ослабленных экземпляров  
(точка № 29 – Ясный проезд, 13)  
/фото М.А. Клевцовой/*

Жизненное состояние древостоев по функциональным зонам показано на рисунке 5.22. На фоновых участках преобладают здоровые экземпляры. В то же время многие деревья имеют сухобочины, а также трещины в стволах. Это характерно для всех зон. В ряде пунктов нами отмечено наличие суховершинности.



*Рис. 5.21. Трещина в стволе тополя пирамидального до 2,5 м высоты с признаками стволовой гнили (точка №44 - ул. Кривошеина, 11) /фото М.А. Клевцовой/*

В условиях сильного стресса в кронах начинают отмирать отдельные побеги. При 50-60% повреждений происходит частичное «разрушение» кроны и дерево переходит в категорию сильно ослабленных [163]. Особенно большое число подобного рода повреждений отмечено в точках №№26, 29.

Распределение интегрального показателя жизненного состояния древостоев показано на рисунке 5.23.

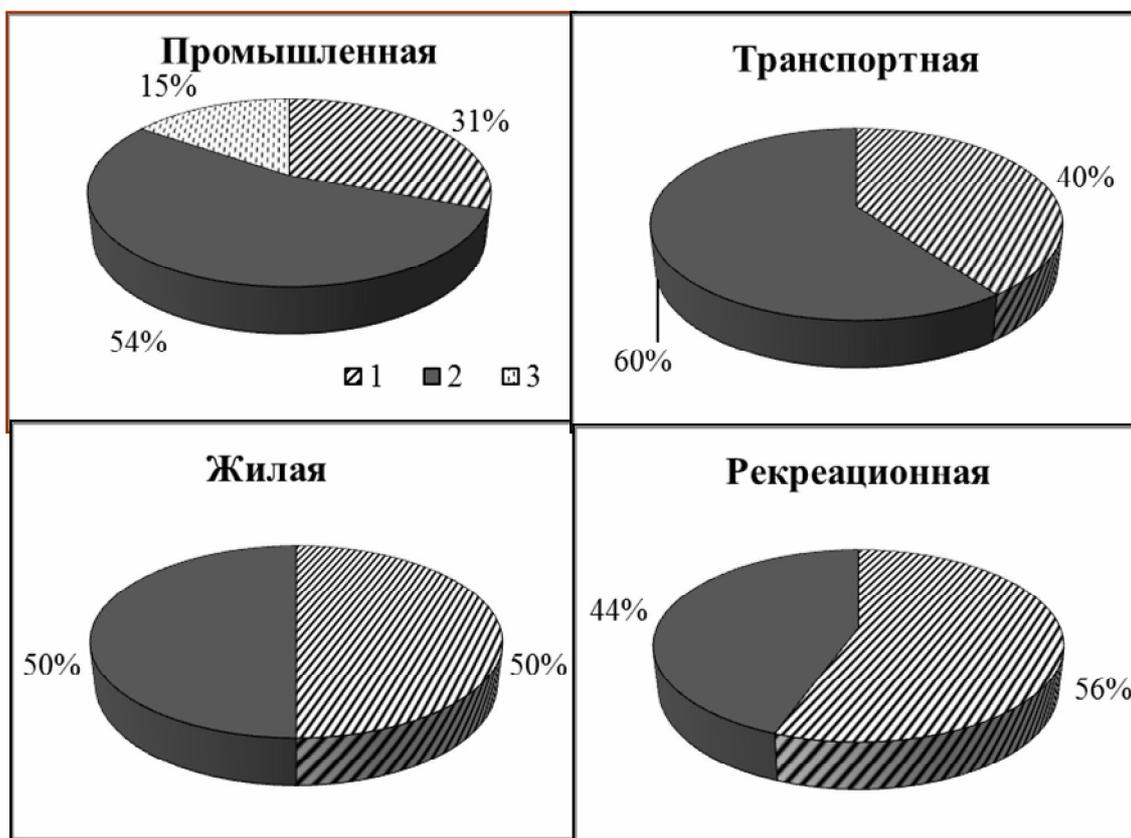


Рис. 5.22. Соотношение категорий жизненного состояния деревьев по функциональным зонам г. Воронежа

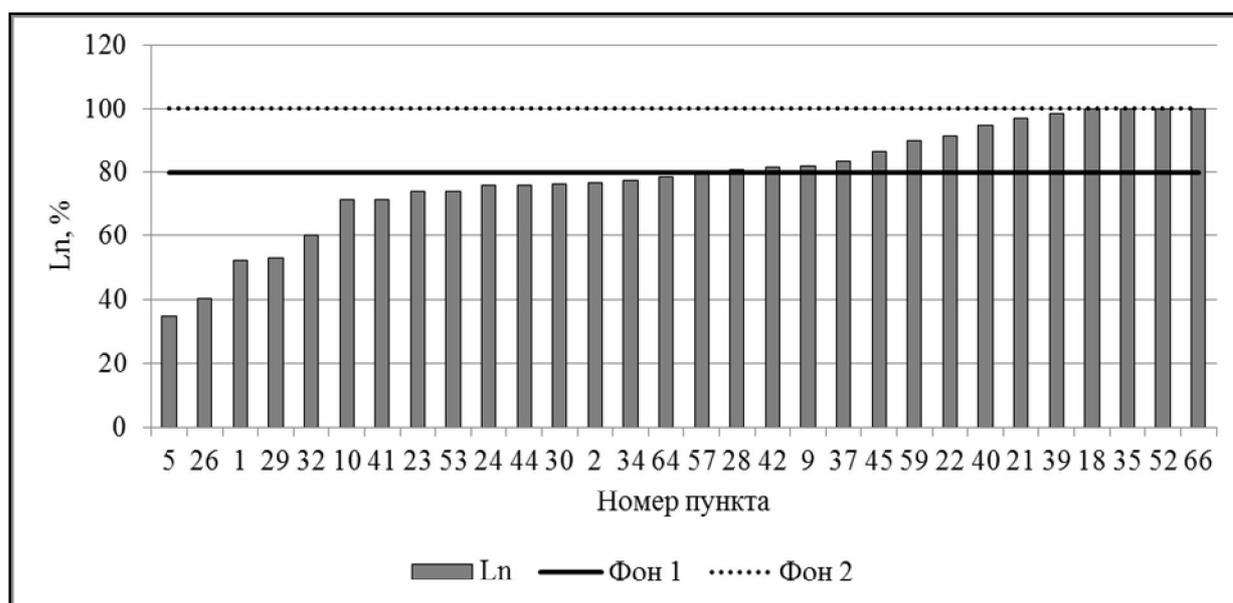


Рис. 5.23. Пространственное распределение интегрального показателя жизненного состояния.

Здоровые насаждения отмечены в 46% точек, однако в 49% случаев на пробных площадках имеются ослабленные древостои. Самая неудовлетворительная ситуация зафиксирована по ул. Л. Рябцевой (№26). Здесь на-

саждения тополя пирамидального относятся к категории отмирающих древостоев. По функциональной принадлежности эти точки расположены в промышленной зоне, однако, здесь отмечается и высокая транспортная нагрузка. Подобного рода явление синергетического действия выбросов от нескольких источников загрязнения наблюдается во многих районах города Воронежа.

Кроме того, в исследуемых пунктах производился отбор коры (массой 15-20 г) и листовых пластинок (60-100 штук) для последующего определения золы. Анализы проводились на базе эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ. Предварительно пробы были высушены до абсолютно-сухого состояния в сушильном шкафу, а затем озолены сухим методом в двухкамерной печи при температуре 500°C. Повторность опыта двукратная.

Сухое вещество растений содержит в себе как органические, так и минеральные соединения. Последние остаются после сжигания органических веществ в виде «сырой» золы, составляют в среднем 5–15 % сухого вещества растений. Процент невелик, однако в него входят такие важные для растений элементы, как фосфор, калий, кальций, магний, марганец, железо и др. В «сырой» золе помимо элементов питания растений содержатся некоторые примеси – углистые частицы, песчинки, плохо омытая почва.

Зольность представляет собой важный биогеохимический показатель, характеризующий соотношение минеральных и органических веществ в растении. Величина зольности варьирует в широких пределах и зависит от многих факторов: от вида и возраста растения, от анализируемого органа, от сезона пробоотбора и, конечно, от экологических условий произрастания. Зольность растений позволяет получить представление о некоторых особенностях почвообразовательных процессов и степени загрязнения атмосферного воздуха, характеризуя газопоглолительную способность растений.

Поступающие в ткань газы могут связываться как с органическими соединениями, так и минеральными, что выражается в зависимости повреждаемости листьев от суммарного содержания зольных элементов и повышении их количества в процессе накопления фитотоксикантов.

В целом, полученные данные показывают, что наиболее высокий процент зольности в листьях наблюдается в точках №№ 10, 44, 45, 52, 53. Причём, первые четыре точки расположены в транспортной зоне, а последняя – в промышленной (№44 – ул. Кривошеина, 11).

Наиболее высокий показатель содержания золы в коре отмечен в точках №№ 10, 24, 26, 45, 57. Здесь прослеживается аналогичная тенденция: увеличение показателя зольности на территории, подверженной повышенному уровню техногенного загрязнения.

Далее подробно рассмотрим разницу в зольности между левым и правым берегом г. Воронежа.

Для левого берега г. Воронежа (рис. 5.24) в порядке увеличения показателя зольности коры и листьев можно составить следующий ряд: рекреационная зона (точка №9) < жилая ЦИ (точки №№ 1, 5) < промышленная зона (точка №2) < транспортная зона (точки №№ 10, 52, 53).

Следует отметить, что нами рассматривается «суммарная зольность», учитывающая и вклад механических частиц – пыли и аэрозолей, осевших на поверхности растений.

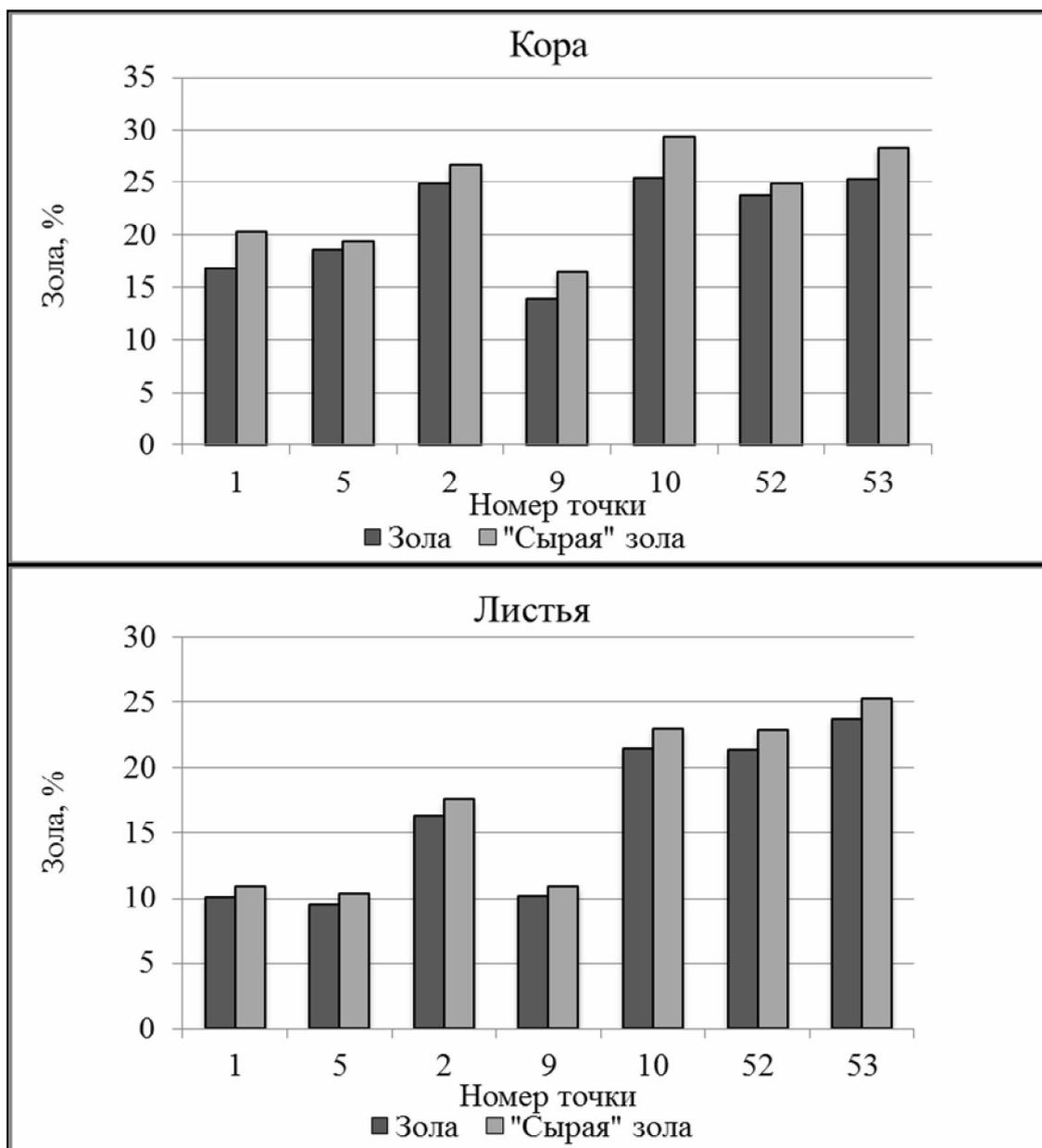


Рис. 5.24. Содержание золы тополя пирамидального (левый берег)

Для правого берега г. Воронежа (рис. 5.25) в порядке увеличения показателя зольности коры и листьев можно составить следующий ряд: рек-

реационная зона (точки №№ 18, 19, 39) < жилая ЦИ (точки №№ 32, 41, 42) = жилая СП (точки №№ 21, 23, 40, 59) < промышленная зона (точки №№ 26, 28, 29, 44, 64) < транспортная зона (точки №№ 24, 30, 34, 35, 37, 45, 57).

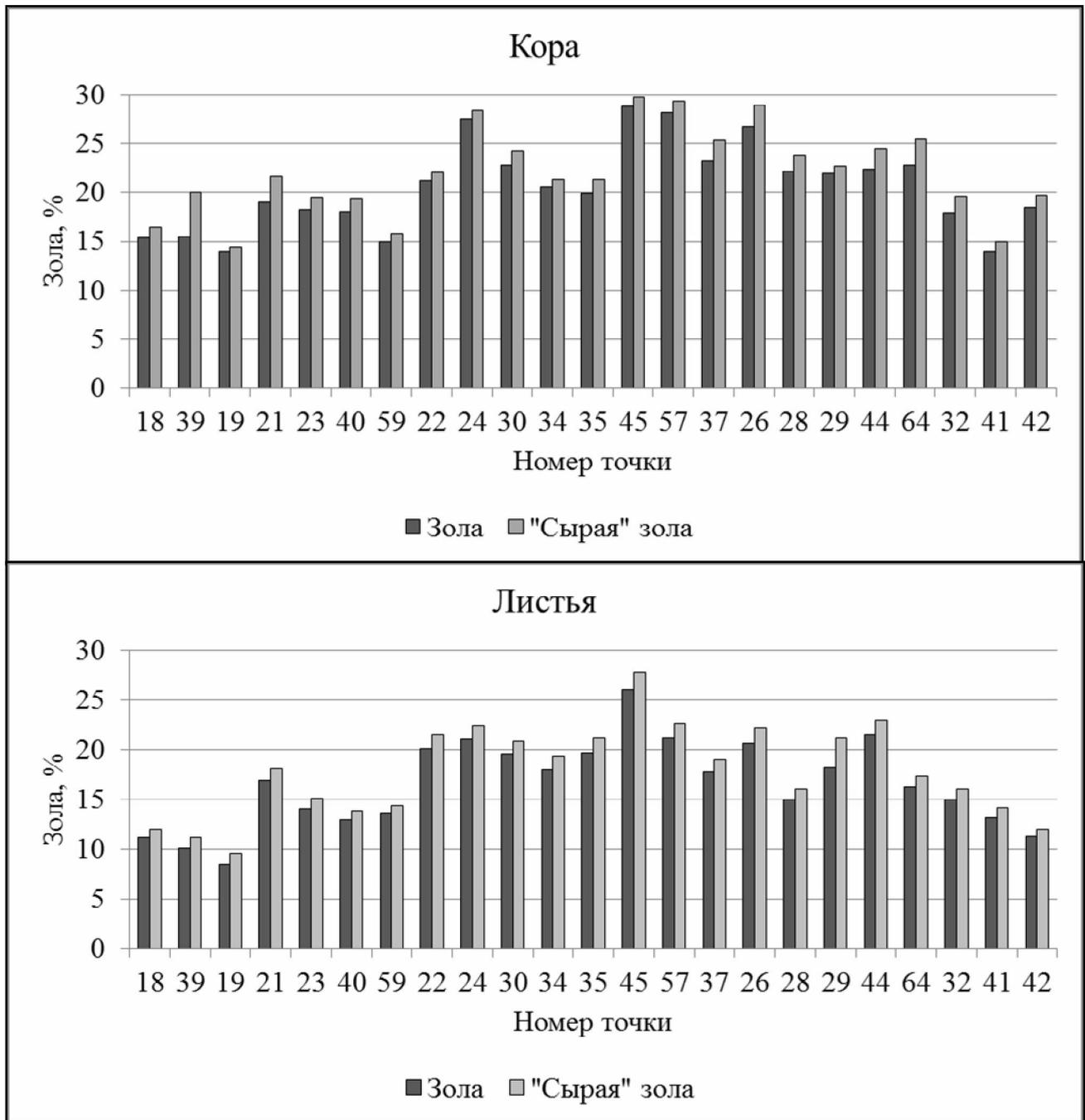


Рис. 5.25. Содержание золы тополя пирамидального (правый берег)

Далее, для сравнения содержания золы на левом и правом берегах проводим расчёт среднего процента зольности как в листьях, так и в коре. Средняя зольность в листьях на левом берегу составляет 16,06%, в коре – 17,62%. Средняя зольность в листьях на правом берегу равна 16,61%, в

коре – 20,61%. Во всех точках отмечается превышение содержания золы по сравнению с фоновыми точками более чем на 10%.

Зольность листьев и коры деревьев можно считать показателем их приспособленности к данным условиям. Чем больше зольность, тем лучше приспособлено растение к условиям произрастания. Таким образом, зольность растений позволила получить представление о степени загрязнения атмосферного воздуха, характеризуя газопоглотительную способность растений [80]. Поскольку самые высокие значения зольности деревьев приурочены к промышленным и транспортным зонам, а минимальные выявляются у деревьев, растущих в жилых и рекреационных зонах, это позволяет использовать полученные результаты в качестве фитоиндикационного признака загрязнения атмосферы г. Воронежа.

Как отмечает Г.Г. Карташева [80], одним из общих показателей, отражающих процесс минерального питания, особенности поглощения и накопления питательных веществ растением, является содержание золы в тканях его органов. Так, при изучении зольности растительных проб нескольких видов она отмечает высокий процент зольности для тополя бальзамического (до 12,21 %). В целом древесные растения в естественных местообитаниях обладают невысокой зольностью.

По органам содержание золы у тополя пирамидального на рассматриваемой территории г. Воронежа распределяется следующим образом: самая высокая зольность у коры (от 13,94% до 28,76%), меньше – у листьев (от 8,5% до 26,07 %). Таким образом, повышенное содержание зольных элементов в коре характерно для представителей рода *Populus*.

Максимальное значение зольности в листьях тополя пирамидального отмечено в транспортной зоне – точка №45 (ул. Матросова, 6 - 26,07 %), минимальное – в рекреационной зоне по ул. Дарвина, 1 (8,5 %). Максимум зольных элементов в коре характерен также для точки №45 (28,76%), а минимум – для точки №19 (8,5%).

На основе проведенных нами исследований можно сделать следующие выводы.

Во-первых, имеющиеся в настоящее время сведения, в том числе и полученные нами результаты, позволяют рекомендовать тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis*) в качестве надежного биоиндикатора качества среды обитания. В изученных насаждениях часто встречаются сухобочины, как следствие механического травмирования деревьев. Помимо нарушения водопроводящих путей такие повреждения могут являться «воротами» для проникновения грибковых и бактериальных организмов. Это является причиной заболевания дерева и постепенного угнетением его жизнедеятельности.

На морфометрические параметры и жизненное состояние древесных растений в условиях городской среды сильное влияние оказывают моди-

фицированные абиотические факторы, выбросы промышленных предприятий и автотранспорта.

Во-вторых, по литературным данным, величина зольности возрастает при действии любых стрессовых факторов среды. Согласно классическим представлениям можно предположить, что наиболее благоприятные условия для произрастания тополя пирамидального наблюдаются в рекреационной зоне г. Воронежа. Изучение зависимости содержания зольных элементов в листьях и коре древесных растений, произрастающих в разных по степени техногенной нагрузки зонах г. Воронежа (промышленная, транспортная, жилая, рекреационная), подтвердило известную закономерность о большей зольности органов деревьев более загрязненных территорий, чем относительно чистых.

Самые высокие значения зольности деревьев приурочены к промышленным зонам (ул. Лебедева, 2; Ясный проезд, 13) и к дорогам с интенсивным автотранспортным движением (ул. Матросова, ул. 9-е Января, Ленинский пр-т, пересечение ул. Степана Разина – ул. Большой Манежной, ул. Димитрова – ул. Ленинградской). Минимальные величины зольности выявлены у тополей, растущих в зоне рекреации (ул. Дарвина, 1; Петровская набережная). Однако во всех точках отмечается превышение содержания золы по сравнению с фоном.

В-третьих, очевидно, что биоиндикационные исследования могут эффективно использоваться в системах экологического мониторинга городской среды. Причем именно растительные организмы являются очень удобным объектом для экологических исследований, т.к. составляют 99% биомассы экосистем. Наши результаты подтвердили, что древесная кора является достоверным индикаторным признаком состояния окружающей среды. Таким образом, зольность растений позволяет получить представление о степени загрязнения атмосферного воздуха и является вариабельной величиной, которая изменяется в пространстве и во времени в связи с интенсивностью техногенного прессинга.

Следует отметить, что мониторинг состояния зеленых насаждений – это постоянно действующая система оперативного наблюдения за состоянием зеленых насаждений, в частности, городских парков, скверов, улиц; за нарушением их устойчивости и другими негативными факторами среды, влияющими на рост и развитие растений. В связи с этим целесообразно продолжать данные исследования, для отслеживания динамики жизненного состояния древостоев.

Данные наблюдений служат информационной базой при разработке научно-обоснованных рекомендаций по отбору ассортимента видов для создания эффективно функционирующей системы озеленения и рациональной организации мероприятий по уходу за древесными насаждениями и их охране.

## 5.5. Эколого-аналитическая оценка качества вод пригородных рекреационных зон

Экологическая ситуация урбанизированных регионов формируется под воздействием комплекса природных и техногенных факторов среды обитания, среди которых ведущее значение имеет водный фактор. Интенсивное воздействие на поверхностные водные ресурсы вблизи крупных промышленных городов приводит к прогрессирующему ухудшению качества воды и, как следствие, - снижению качества питьевого и рекреационного водопользования, что увеличивает экологический риск для населения.

В этой связи весьма актуальны региональные исследования по оценке роли природных и техногенных факторов, формирующих условия водопользования в индустриальных регионах, что в полной мере справедливо и для города Воронежа, расположенного в «водонапряженном» регионе с интенсивным техногенным воздействием на водные ресурсы, слабой естественной защищенностью источников водопользования от антропогенного загрязнения и достаточно низким качеством питьевого и рекреационного водопользования в целом [112].

Целью исследований является эколого-аналитическая оценка качества вод пригородных рекреационных зон.

Объектами исследований были выбраны популярные места отдыха населения: Воронежское водохранилище, р. Дон, р. Воронеж, р. Усмань, р. Девица, р. Ведуга, р. Трещевка, р. Ивница, пруды и озера пригородных территорий.

Химический анализ поверхностных вод проводился в эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ с применением следующих методов анализа: органолептический, потенциометрический, колориметрический, титриметрический, вольтамперометрический, расчетный и биотестирование [177]. Отбор разовых проб воды осуществлялся на расстоянии 1,5-2,0 м от берега реки, с поверхностного слоя 30-50 см с помощью батометра, согласно правилам, приведенным в ГОСТ [112]. Работа проводилась в летний период (июнь-июль) 2014-2015 гг. Всего было отобрано 40 проб воды (рис. 5.26). Отбор и анализы проб воды осуществлены М.О. Масловой.

Для мест отбора проб была произведена общая визуальная оценка благоустройства территории, позволившая присвоить местам отдыха соответствующие категории (высшая категория пляжа – "I", низшая – "III") согласно системе классификации пляжей, утвержденной Приказом Федерального агентства по туризму от 05 сентября 2006 г. № 119 (таблица 5.9).

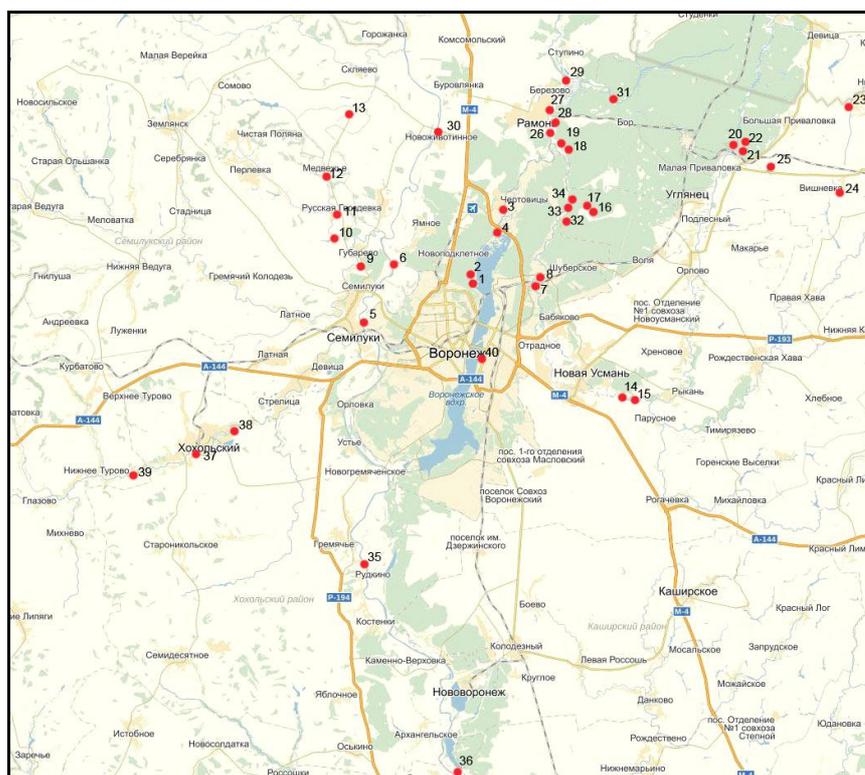


Рисунок 5.26. Места отбора проб воды

Таблица 5.9

Места отбора проб воды и характеристика пляжей

Номер пробы	Водный объект	Место отбора пробы	Характеристика пляжа
1	2	3	4
1	Воронежское водохранилище	Пляж санатория им. М. Горького	Закрытый песчаный пляж II категории для отдыхающих санатория. Асфальтированная дорога к пляжу от санатория
2	Воронежское водохранилище	500 м выше точки №1	Неорганизованный песчаный пляж. Большинство отдыхающих – жители пос. Рыбачий. Не имеет подъезда для автомобилей
3	р. Воронеж	Пляж базы отдыха «Немецкая слобода», с. Чертовицы	Пляж I категории с травянистым берегом и песчаным дном. На территории имеется платная парковка и развлекательный комплекс. Производится охрана территории
4	р. Воронеж	Пляж «Багратиони»	Песчаный пляж I категории с платной парковкой и объектами питания. Охрана территории
5	р. Дон	Пляж г. Семилуки	Песчаный пляж III категории.
6	р. Дон	Пляж туристической базы «Донгор»	Неорганизованный пляж с илистым дном. Не имеет обустроенного подъезда для автомобилей. Популярное место рыбной ловли

Продолжение таблицы 5.9

1	2	3	4
7	р. Усмань	Пляж микрорайона «Сомово»	Песчаный пляж III категории с бесплатным паркингом
8	р. Усмань	Пляж микрорайона «Боровое»	Песчаный пляж III категории
9	р. Ведуга	Пляж с. Терновое, Семилукский район	Необустроенный пляж с илистым дном. Место купания жителей ближайших деревень и дачных кооперативов. Для реки характерно обилие холодных ключей и быстрое течение, что делает пляж опасным для купания
10	Пруд с. Богоявленовка	Пляж с. Богоявленовка, Семилукский район	Сеть необустроенных пляжей. Популярное место отдыха жителей ближайших деревень, дачных кооперативов и приезжих горожан, так как пруд имеет большую площадь и глубину
11	р. Трещевка	Пляж с. Приволье, Семилукский район	Необустроенный пляж с илистым дном
12	Пруд с. Медвежье	Пляж с. Медвежье, Семилукский район	Необорудованный песчаный пляж. Популярное место отдыха, как жителей ближайших населенных пунктов, так и жителей г. Воронежа
13	Пруд с. Каверье	Пляж с. Каверье, Семилукский район	Необорудованный пляж, эвтрофированный водоем с илистым дном
14	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Солнечная поляна»	Песчаный пляж II категории
15	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Солнечная поляна»	Песчаный пляж II категории
16	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Коминтерновец»	Необорудованный песчаный пляж
17	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Коминтерновец»	Необорудованный песчаный пляж
18	р. Усмань	Пляж загородного клуба «Лесная сказка»	Необорудованный песчаный пляж
19	р. Усмань	Пляж загородного клуба «Лесная сказка»	Необорудованный песчаный пляж
20	р. Усмань	ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник», 500м ниже очистных сооружений бобрового питомника	Место купания работников и волонтеров заповедника
21	р. Усмань	ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник», место сброса сточных вод	Место купания работников и волонтеров заповедника

Продолжение таблицы 5.9

1	2	3	4
22	р. Усмань	ФГБУ «Воронежский Государственный природный биосферный заповедник», 500м выше очистных сооружений бобрового питомника	Место купания работников и волонтеров заповедника
23	Пруд с. Нижняя Байгора	с. Нижняя Байгора, Верхнехавский район	Необорудованный пляж с илистым дном. Зарыбленный пруд. Платная рыбалка (500р./сутки). Охрана территории
24	оз. Байкал	Пляж с. Вишняки научно-исследовательского института овощного хозяйства (НИИОХ)	Песчаный пляж II категории
25	Пруд	Пляж спортивно-рыболовного комплекса «Серебряный ключ», Верхнехавский район	Большой песчаный пляж I категории, оборудованный беседками и раздевалками. Зарыбленный пруд. Платная рыбалка (500р./сутки). Хорошая автомобильная дорога, указатели. Охрана территории
26	р. Воронеж	Пляж загородного отеля «Путь к себе»	Большой песчаный пляж I категории, оборудован раздевалками, беседками, объектами общественного питания, платной парковкой, площадками для спортивных игр. Охрана территории
27	р. Воронеж	Пляж «Межкатар»	Необорудованный песчаный пляж III категории. Автомобильная дорога
28	р. Воронеж	Пляж «Rio»	Большой песчаный пляж II категории. Оборудован беседками. Автомобильная дорога. Охрана территории
29	р. Воронеж	Пляж с. Ступино	Песчаный пляж III категории.
30	р. Дон	Пляж с. Новоживотинное	Большой песчаный пляж III категории. Место отдыха местный жителей
31	р. Ивница	ФГБУ «Воронежский Государственный природный биосферный заповедник»	Место купания работников и волонтеров заповедника. Необорудованный пляж с травянистым покрытием
32	р. Усмань	Пляж «Мыс» турбазы ВГУ «Веневитиново»	Необорудованный песчаный пляж. Платная парковка автомобилей на территории турбазы (60р./сутки, для студентов – 20р./сутки)
33	р. Усмань	Пляж «Пионерский» турбазы ВГУ «Веневитиново»	Необорудованный песчаный пляж. Платная парковка автомобилей на территории турбазы (60р./сутки, для студентов – 20р./сутки)

Продолжение таблицы 5.9

1	2	3	4
34	Пруд с. Гремяче	Пляж с. Гремяче, Хохольский район	Необорудованный пляж с илистым дном и крутым спуском. Мутная вода, эвтрофированный водоем. Травянистый берег. Необустроенная автомобильная дорога
35	р. Дон	Пляж с. Рудкино, Хохольский район	Большой песчаный пляж III категории. Широкая река с быстрым течением
36	р. Дон	Пляж с. Сторожевое, Хохольский район	Небольшой необорудованный пляж III категории. Неудобный опасный подъезд, крутой спуск/подъем. Расчлененный рельеф, меловые ландшафты
37	Пруд «Радужный»	Хохольский район	Необустроенный илистый пляж с травянистым берегом. Зарыбленный пруд. Платная рыбалка (500р./сутки). Охрана территории
38	р. Девица	Пляж Рабочего поселка «Хохольский», Хохольский район	Песчаный пляж II категории
39	р. Девица	Пляж с. Хохол, Хохольский район	Песчаный пляж II категории
40	Воронежское водохранилище	Пляж парка «Алые паруса»	Необустроенный песчаный пляж

Важными факторами выбора места отдыха у водных объектов для рекреантов являются такие субъективные характеристики как пейзажная привлекательность и лесистость территории. Величина лесистости оценивалась визуально как отношение площади территории, покрытой древесной и кустарниковой растительностью, к общей площади пляжа (рис. 5.27).

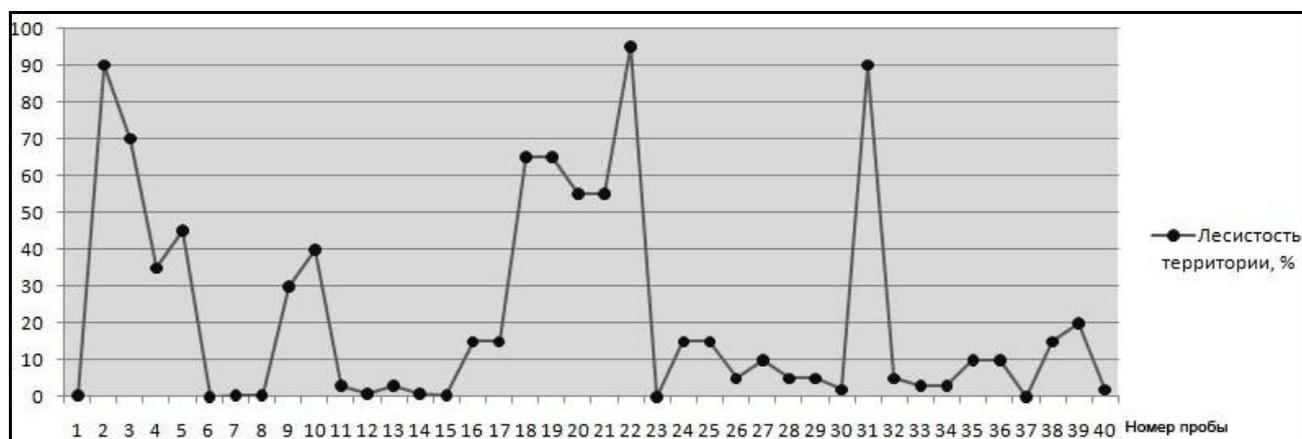


Рис. 5.27. Лесистость территории

Пейзажная привлекательность оценивалась по 5-балльной шкале (5 - наивысшая пейзажная привлекательность, ... 1 – наименьшая). Данный показатель является в определенной мере субъективным, оценка производится визуально. Как правило, более высокие баллы присваиваются склоновым ландшафтам, имеющим водный объект и характеризующимся лесистостью территории не более 80% (рис. 5.28).

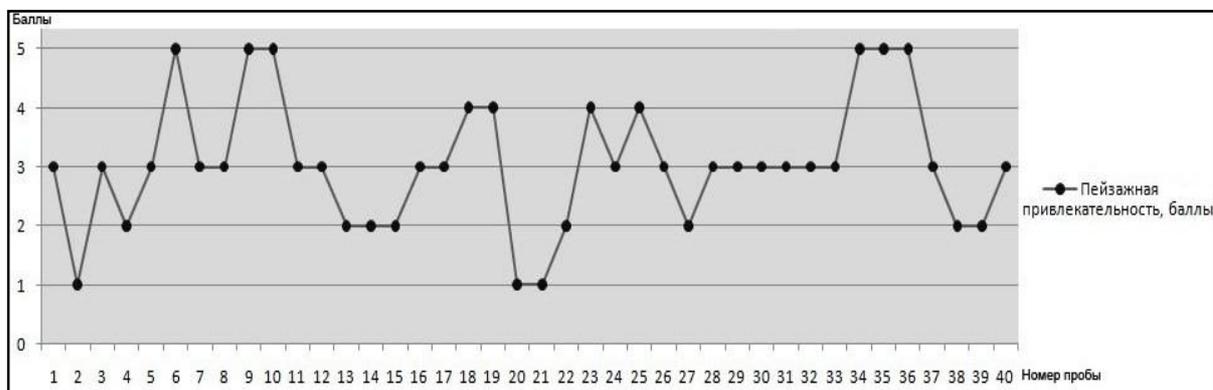


Рисунок 5.28. Пейзажная привлекательность зон отдыха

Отобранные пробы анализировали на органолептические и санитарно-гигиенические показатели, характеризующие безвредность химического состава воды (таблица 5.10), с применением следующих методов анализа: потенциометрический (рН), титриметрический (общая жесткость, кальций, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты), фотоколориметрический (железо общее, нитраты, нитриты), вольтамперометрический (тяжелые металлы – свинец, медь, кадмий), расчетный метод (общая минерализация, магний), биотестирование (общая токсичность) [177].

Согласно результатам исследования большая часть анализируемых вод имеет среднюю жесткость, мягкие воды характерны для водных объектов Семилукского района. Все исследованные пробы вод лежат в пределах установленных нормативов и не превышают 7 мг-экв/л (рис. 5.29).

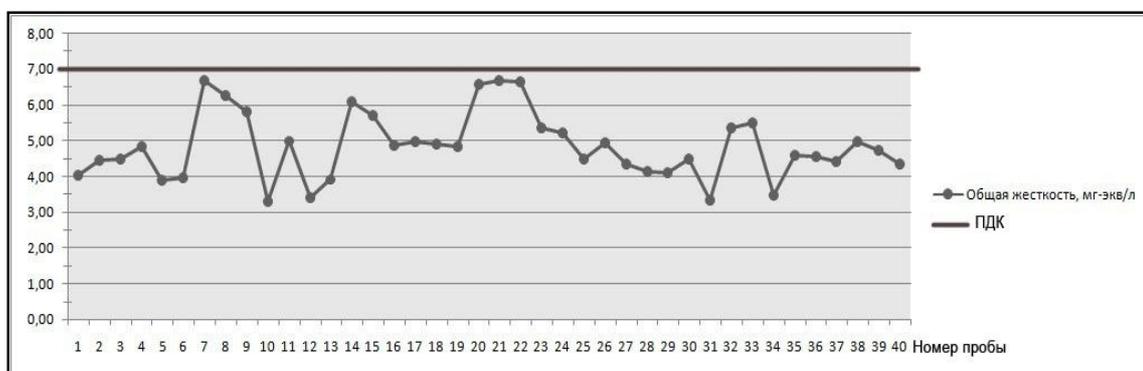


Рис. 5.29. Общая жесткость вод пригородных рекреационных зон

Для оценки качества воды в исследуемых водных объектах фактические концентрации определяемых ингредиентов сравнивали с нормами ПДК для вод рыбохозяйственного назначения. Результаты анализов приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10

Результаты эколого-гидрохимических исследований  
объектов водной рекреации

№	pH	Ca <sup>2+</sup> мг/л	Mg <sup>2+</sup> мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> мг/л	СГ мг/л	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> мг/л	Cu мг/л	Pb мг/л	Cd мг/л	Общая минерализация, мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	8,17	55,31	15,69	87	23,58	163,02	-	0,00004	0,00002	549,10
2	8,14	56,91	19,70	73	25,27	164,74	0,00007	-	-	527,86
3	7,74	61,12	17,39	71	21,89	197,34	-	0,00017	-	591,64
4	7,76	62,93	20,79	24	24,58	197,34	-	0,00030	-	500,70
5	8,15	43,29	21,04	70	20,21	157,87	0,0012	0,00021	-	502,42
6	8,18	44,69	21,28	83	20,21	159,59	0,012	0,00042	-	531,52
7	8,11	82,06	31,49	49	36,67	271,13	0,0018	0,00025	-	714,42
8	8,15	79,36	27,97	120	28,33	276,28	-	0,00009	-	849,77
9	7,64	95,19	12,89	81	20,00	270,86	-	-	-	895,38
10	8,12	40,68	15,56	78	13,33	155,50	-	-	-	521,56
11	7,68	96,99	4,26	9	16,67	302,63	-	-	-	669,10
12	8,29	41,88	15,93	67	6,67	174,48	-	0,00002	-	500,78
13	7,49	55,11	14,23	36	6,67	188,94	-	-	-	634,58
14	8,00	75,35	28,45	87	29,36	258,85	-	0,00006	-	757,70
15	8,04	75,75	23,59	51	24,47	262,11	-	-	-	696,80
16	7,78	63,13	21,04	60	24,47	221,41	-	-	-	624,04
17	7,00	59,92	24,32	29	27,73	195,36	-	-	-	516,48
18	7,74	58,12	24,44	23	17,16	205,13	-	-	-	509,10
19	7,07	55,51	25,41	22	22,84	201,87	-	-	-	506,34
20	7,75	72,34	8,55	23	30,99	236,06	-	-	-	580,92
21	7,45	79,36	33,20	19	30,99	229,55	-	-	0,000003	559,70
22	7,74	82,97	30,40	46	27,73	231,18	-	-	-	610,82
23	8,02	50,90	34,53	13	14,68	234,30	-	0,00022	-	524,86
24	8,15	40,08	39,28	23	21,21	220,24	-	-	-	530,72
25	8,08	74,95	9,12	32	17,94	246,80	0,0051	0,00001	0,00001	593,94
26	7,67	71,14	17,02	14	37,52	193,69	-	-	0,00003	491,98
27	7,77	64,73	13,74	14	35,89	182,75	-	-	-	465,70
28	7,78	63,93	11,55	96	39,15	179,63	-	-	-	629,86
29	7,84	61,92	12,28	48	37,52	185,88	-	-	-	543,10
30	8,13	48,10	25,66	72	17,94	159,32	-	0,00005	0,00002	498,76

Продолжение таблицы 5.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
31	6,73	42,89	14,59	180	13,05	115,59	-	-	-	696,40
32	7,65	69,70	42,44	80	29,36	106,22	-	-	0,00003	439,08
33	7,48	65,53	27,12	60	26,10	106,22	-	-	0,00002	392,56
34	7,55	23,65	28,21	75	44,04	174,94	0,0053	0,00027	0,00004	613,68
35	7,66	26,85	39,76	116	21,21	160,89	-	0,00088	0,00001	651,36
36	7,47	20,64	19,17	98	22,84	159,32	-	0,00009	-	612,06
37	8,07	27,01	19,73	58	11,42	256,17	-	0,00054	-	697,06
38	8,03	83,37	9,97	78	19,57	246,80	0,00001	0,00003	-	725,18
39	7,51	78,56	10,09	22	17,94	237,42	-	-	-	593,30
40	8,11	55,88	18,08	78	22,14	159,80	0,00005	0,00002	-	521,70
<b>ПДК</b>	<b>6,5-8,5</b>	<b>180</b>	<b>40</b>	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>400-500</b>	<b>0,001</b>	<b>0,01</b>	<b>0,0005</b>	<b>1000</b>

Гидрохимический анализ показал, что концентрации катиона кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ), катиона магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ), хлоридов ( $\text{Cl}^-$ ), гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ), свинца ( $\text{Pb}^{2+}$ ) и кадмия ( $\text{Cd}^{2+}$ ) лежат в пределах допустимых значений и удовлетворяют нормативам ПДК.

Превышения показателя ПДК (1,2 ПДК, точки № 8, 31) для сульфатов обнаружены на территории пляжа микрорайона «Боровое», испытывающего рекреационную нагрузку, и р. Ивница, подверженной интенсивным процессам эвтрофикации. Однако концентрации сульфатов зависят от погодных условий, времени года и не оказывают прямого токсического воздействия на человека. Сульфаты являются достаточно распространенным компонентом природных вод. Их присутствие в воде обусловлено растворением некоторых минералов – природных сульфатов (гипс), а также переносом с дождями содержащихся в воздухе сульфатов.

Концентрации тяжелых металлов были установлены вольтамперометрическим методом. Данный анализ выявил превышения ПДК меди в 1,2 – 1,8 раз для вод р. Дон, р. Усмань на территории микрорайона «Сомово» и пруда на территории спортивно-рыболовного комплекса «Серебряный ключ» (точки № 5, 6, 7, 25). Тяжелые металлы в водоеме вызывают целый ряд негативных последствий: попадая в пищевые цепи и нарушая элементный состав биологических тканей, они оказывают тем самым прямое или косвенное токсическое воздействие на водные организмы. Тяжелые металлы по пищевым цепям попадают в организм человека. Главными источниками загрязнения воды тяжелыми металлами являются промышленные и химические предприятия [112, 173].

Для анализа содержания нитратов и нитритов в пробах воды использовался колориметрический метод. Результаты анализа выявили превышения ПДК для данных компонентов (рис. 5.30).

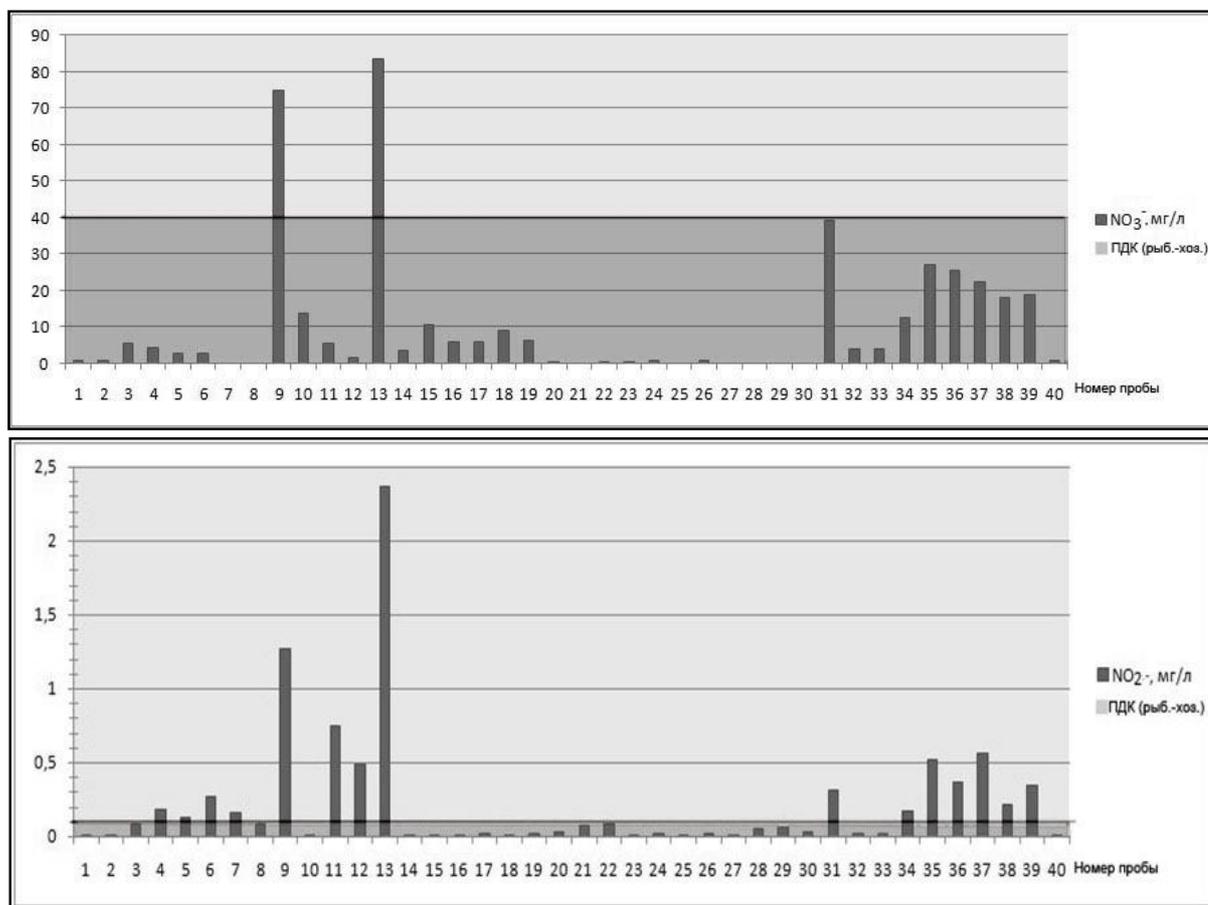


Рис. 5.30. Содержание нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ) и нитритов ( $\text{NO}_2^-$ )

Повышенное содержание нитратов в воде (точка № 9 – р. Ведуга, точка № 13 – пруд, с. Каверье, Семилукский район) может служить индикатором загрязнения водоема в результате распространения органических либо химических загрязнений (сельскохозяйственных, промышленных). Многие минеральные удобрения содержат нитраты, которые при избыточном или нерациональном внесении в почву приводят к загрязнению водоемов. Источниками загрязнения нитратами являются также поверхностные стоки с пастбищ, скотных дворов, молочных ферм и т.п. Повышенное содержание нитратов в воде может привести к процессу эвтрофикации водоема.

Концентрация нитратов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям, а именно: она минимальна в вегетационный период (т.к. нитраты потребляются растениями и фитопланктоном) и достигает максимума зимой.

Нитрит-анионы являются промежуточными продуктами биологического разложения азотсодержащих органических соединений. Благодаря способности превращаться в нитраты, нитриты, как правило, отсутствуют в поверхностных водах. Поэтому наличие в анализируемой воде повы-

шенного содержания нитритов свидетельствует о биологическом загрязнении вод, причем, с учетом частично прошедшей трансформации азотистых соединений из одних форм в другие [177].

Большая часть проб вод с повышенными значениями содержания нитритов, относится к водоемам Семилукского и Хохольского муниципальных районов, для которых характерно наличие пахотных земель, сельскохозяйственных предприятий и животноводческих ферм. Превышения ПДК нитритов выявлены также для вод р. Дон и р. Ивница.

Железо – один из самых распространенных элементов в природе. Его содержание в земной коре составляет около 4,7% по массе. В малых концентрациях железо встречается практически во всех природных водах. Анализ содержания суммарного железа в пробах вод проводился колориметрическим методом. Результаты исследования позволили выявить практически повсеместное превышение норматива ПДК для вод рыбохозяйственного назначения ( $\text{ПДК}_{\text{Fe общ.}} = 0,1 \text{ мг/л}$ ) (рис. 5.31).

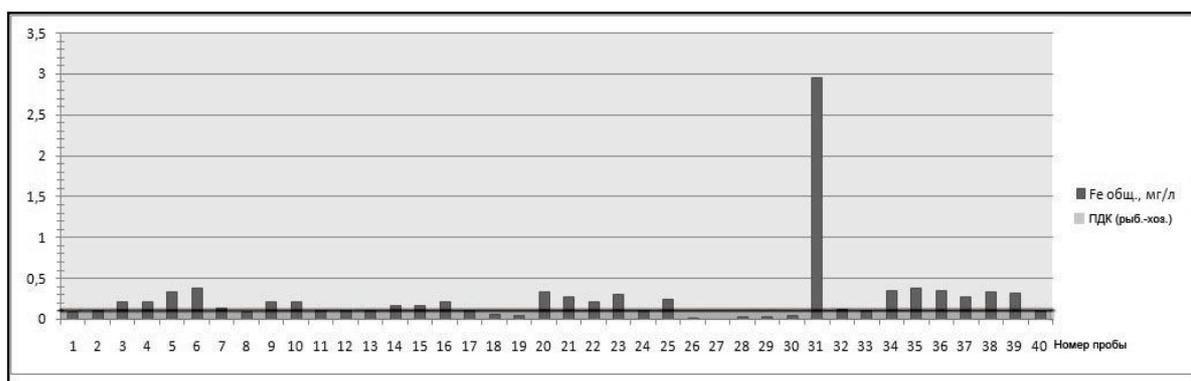


Рис. 5.31. Содержание общего железа в пробах поверхностных вод

Исходя из результатов исследований качества водных объектов мест пригородной рекреации можно сделать следующие выводы.

Для вод Воронежского водохранилища (на территории пляжей санатория им. М. Горького) характерны превышения ПДК для суммарного железа ( $\geq 1,0$  ПДК), остальные химические показатели удовлетворяют нормативам ПДК. Значения содержания нитратов и нитритов минимальны, так как азотистые элементы активно используются бактериями и водной растительностью в период вегетации.

Для вод р. Воронеж характерны превышения ПДК железа общего (2,1 – 2,2 ПДК) и нитритов (1,1 – 2,25 ПДК). В водах реки тяжелые металлы не обнаружены.

Река Дон – крупная водная артерия области, испытывающая большую антропогенную нагрузку (в том числе рекреационную) со стороны промышленных и сельскохозяйственных предприятий, сбрасывающих

свои сточные воды. В водах р. Дон обнаружены повышенные концентрации общего железа (3,4 – 3,8 ПДК), нитритов (1,63 – 3,8 ПДК) и меди (1,2 ПДК). По значениям водородного показателя воды относятся к удовлетворительно чистым.

Воды р. Ведуга и пруда с. Каверье характеризуются как условно чистые, имеют повышенное содержание железа (2,2 ПДК и 1,0 ПДК соответственно), нитратов (1,86 ПДК и 2,1 ПДК), нитритов (15,9 ПДК и 28,8 ПДК). Наличие тяжелых металлов в воде не зафиксировано.

Для вод прудов с. Богоявленовка, с. Медвежье и р. Трещевка выявлены превышения ПДК суммарного железа (1,1 – 2,1 ПДК). Повышенное содержание нитритов (6,13 и 9,38 ПДК соответственно) свойственно для вод пруда с. Медвежье и р. Трещевка. Данные водоемы подвержены процессам эвтрофикации, их воды характеризуются как удовлетворительно чистые.

Воды р. Усмань испытывают значительную рекреационную нагрузку. Вдоль русла реки расположены многие туристические базы, детские лагеря, базы отдыха, загородные отели. По критериям водородного показателя воды реки относятся к условно чистым на территории Рамонского района и к удовлетворительно чистым на территории микрорайонов «Сомово» и «Боровое». Превышения ПДК в водах р. Усмань обнаружены повсеместно для показателя общего железа (1,0 – 3,3 ПДК). Превышения значений нитритов единично обнаружены на территории пляжей «Сомово» и «Боровое» (2,0 ПДК и 1,1 ПДК соответственно). Также обнаружены единичные превышения по сульфатам на территории микрорайона «Боровое», по меди на пляже микрорайона «Сомово». В остальных пробах значения сульфатов удовлетворяют существующим санитарно-гигиеническим нормам для вод рыбохозяйственного назначения; тяжелые металлы не обнаружены [112].

Для вод р. Ивница (точка № 31) выявлены существенные превышения содержания общего железа (28,5 ПДК), нитритов (2,9 ПДК) и сульфатов (1,8 ПДК), что можно объяснить низкой интенсивностью процессов разбавления вод, их застойным характером и активным процессом эвтрофикации.

Превышения содержания общего железа (3,2 – 3,4 ПДК) и нитритионов (2,75 – 4,38 ПДК) выявлены для вод р. Девица (точки №38, 39), которые испытывают интенсивную нагрузку, обусловленную поступлением стоков с окрестных сельскохозяйственных угодий, животноводческих комплексов, внешними воздействиями вследствие выпаса и водопоя скота.

Таким образом, наибольшую антропогенную нагрузку со стороны промышленных и сельскохозяйственных предприятий испытывают экосистемы р. Дон, р. Девица, прудов Хохольского и Семилукского муниципальных районов. К условно безопасной зоне с точки зрения качества

водных ресурсов можно отнести территорию Рамонского муниципального района.

Для предотвращения дальнейшего загрязнения поверхностных вод в местах пригородной рекреации необходимо применение комплекса водоохраных мероприятий. Наиболее эффективным решением задачи охраны водных ресурсов от загрязнений сточными водами является строительство станций механической и биологической очистки городских и локальных сооружений для производственных, хозяйственно-бытовых, а также сельскохозяйственных сточных вод, а также реконструкция и модернизация имеющихся очистных сооружений.

## **5.6. Основные направления городской экологической политики**

Обобщение материалов исследования позволило разработать схему экологического мониторинга с применением геоинформационных технологий как необходимый составной блок городской экологической политики. Её основными принципами должны быть следующие.

**1. Соответствие единой государственной системе экологического мониторинга (ЕГСЭМ).** В настоящее время Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ) представляет собой комплексную, иерархически построенную информационно-аналитическую систему, которая формируется путем организации системы сбора, хранения, обработки, передачи и управления данными различных природоохранных ведомств. Она ориентируется на отечественную систему экологического менеджмента и аудита, систему экологического нормирования, максимальное использование возможностей современных технических средств контроля состояния окружающей среды. Все более актуальным становится опережающий компьютерный анализ в решении задач мониторинга и управления качеством среды обитания, а также развивающаяся методология оценки «здоровья среды», адаптированная к практическому использованию. Организационно-техническое построение ЕГСЭМ связано с обеспечением целенаправленной деятельности различных ведомств, организаций, предприятий, вовлеченных в процесс получения экологической информации, ее сбора, хранения и обработки.

**2. Системность организации информации, характеризующей состояние окружающей среды, биоты и здоровья населения.** Информационные блоки экогеоданных должны быть структурированы, иерархически увязаны между собой и ориентированы на приоритетные параметры качества среды и общественного здоровья в каждом конкретном промышленно развитом городе, что нами проиллюстрировано на примере Воронежского региона. К числу приоритетных контролируемых сред должны относиться атмосфера, снежный покров, почва, биота (параметры жизнедеятельности

растений) и критерии общественного здоровья (в первую очередь, детского населения).

**3. *Равномерный и полный охват территории города сетью постов экологического мониторинга.*** Для более адекватной оценки экологического риска, в том числе риска здоровью населения необходима информация о среднесуточных концентрациях загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха, загрязнении почвенной среды, более равномерная сеть точек для биоиндикационных оценок. Среднесуточные концентрации поллютантов в настоящее время определяются в г.Воронеже только на стационарных и маршрутных постах. В остальных точках (исследования по жалобам населения, при надзорных мероприятиях и др.) лабораторно проводится лишь определение максимально разовых концентраций. Нужна равномерная сеть контроля не только в промышленно загрязненных районах, но и в условно чистых зонах для сопоставления и оценки регионального фона. Равномерность и более полный охват территории позволят обеспечить сопоставимость данных и получить более детализированную картину качества городской среды.

**4. *Унификация критериев экологического мониторинга, связанных с системой экологического нормирования.*** Общей установкой концепции экологического нормирования является положение, что нормативы служат критериями риска неблагоприятных эффектов для человека. Однако, следует отметить, что в ряде случаев соблюдение нормативов не является гарантией безопасного воздействия неблагоприятных факторов на биоту. Так, древесные растения по ряду токсикантов (оксидам азота, серы, свинцу) являются более чувствительными к их воздействию. Неблагоприятные эффекты в их жизнедеятельности отмечаются при концентрациях веществ в атмосферном воздухе на уровне ниже ПДК. Это мы отмечаем и на территории города Воронежа, где реакции древесных растений не в полной мере согласуются с реакцией населения (заболеваемостью детей) на неблагоприятные воздействия. Биоиндикационные и медико-экологические исследования представляются особенно информативными, но требуют унификации подхода.

Одна из метрологических проблем – проблема чувствительности измерений [173]. Известно, что часть применяемых методов лабораторного контроля в практике санитарно-эпидемиологической службы г.Воронежа, в частности, определение содержания в атмосферном воздухе оксида марганца IV, оксида хрома VI, меди оксида, 1,3-бутадиена, акролеина не обеспечивают определение малых концентраций, несмотря на достаточно невысокие значения нижнего предела количественного определения концентрации вещества в пробе, который ограничен порогом чувствительности используемого прибора (т.е. нижним пределом детектирования). Предел количественного определения в лабораторных исследованиях, т.е. оп-

ределение наименьшей концентрации анализируемого вещества непосредственно в воздухе (а не в лабораторно анализируемой пробе, в большинстве случаев представляющей жидкую и твердую фазу) зависит от таких факторов как продолжительность отбора пробы воздуха, объемная скорость аспирации (т.е. условий концентрирования определяемого компонента на адсорбенте и в абсорбенте), а также способа извлечения из адсорбента и других факторов в процессе отбора пробы воздуха и пробоподготовки. Иногда слабая чувствительность приборов не позволяет добиться достоверной информации о концентрациях поллютантов в среде обитания.

**5. Синхронизация систем наблюдения различными природоохранными ведомствами.** В целях получения достоверной картины техногенного загрязнения городской среды по всему спектру загрязняющих веществ на территории города необходимо совместить две отчасти автономные системы инструментального и расчетного мониторинга воздушной среды, увязанные с методами оценки риска здоровью и геоинформационным картографированием в режиме непрерывного слежения (по опыту зарубежных автоматизированных систем мониторинга атмосферы: сбор информации – передача на пульт диспетчеру – математико-картографический анализ – выявление зон риска здоровью по критериям канцерогенной и общетоксической опасности – выявление источников риска – принятие управленческих решений по минимизации риска).

Целесообразно создать единое информационное поле экологического мониторинга на базе объединения информационных потоков различных природоохранных служб, а также статистики областного здравоохранения (локальные базы данных и средства по созданию и ведению информационного обеспечения; единые подходы к расчету рисков для здоровья населения). Это позволит повысить эффективность мониторинговых наблюдений и экологического управления.

**6. Расширение и углубление аналитического блока мониторинга окружающей среды на базе ГИС-технологий.** Повысить эффективность принятия управленческих решений возможно на основе применения методов оценки достоверности различий средних многолетних уровней заболеваемости населения, проживающего на контрастных по уровням загрязнения воздушной среды территориях, а также вероятностно-статистического анализа как основы оценки экологических рисков. Такие исследования неоднократно проводились в г.Воронеже, и их результаты во многом подтверждают полученные нами данные о существенной роли техногенного загрязнения в формировании заболеваемости населения промышленно развитого города.

Применение различных методических приемов оценки риска здоровью вполне оправдано, т.к. выбор какого либо одного подхода, в сущности, помешал бы научному развитию проблемы на сегодняшнем этапе ее

практической реализации. Необходим комбинированный подход, позволяющий выполнить как адекватное комплексное экологическое ранжирование, так и установление конкретных причинно-следственных связей в системе «факторы среды - здоровье населения».

**7. Создание картографической базы данных для задач экологического мониторинга.** Это особенно важно, что связано с внедрением геоинформационных технологий в систему экологического мониторинга и управления. Картографические базы должны периодически обновляться, а программные средства ГИС использоваться для расчета вторичных аналитических показателей, как, например, реализованный нами метод расчета индексов риска в среде MapInfo. Алгоритмы оценки риска выбраны нами в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920 – 04). Для оптимизации оценки риска разработан специальный программный модуль, позволяющий производить расчеты в автоматическом режиме, значительно оптимизирующий и ускоряющий процедуру оценки риска.

**8. Верификация данных инструментальных и расчетных методов с оценкой их эффективности.** Схема анализа данных должна включать последовательные этапы: сбор информации – оценка риска – сравнение данных инструментальных замеров и модельных расчетов – корректировка системы слежения и экологического контроля. Например, в Центре гигиены и эпидемиологии в Воронежской области при организации баз эколого-гигиенических данных заложена информация о фактических концентрациях контролируемых веществ. Это позволило динамично развивать информационный фонд социально-гигиенического мониторинга и анализировать данные в территориально-временном разрезе с определением средних, максимально-разовых концентраций за определенный период времени по различным территориям или контрольным точкам. Для целей оценки риска здоровью населения, обусловленного загрязнением объектов окружающей среды организован экспорт усредненных значений концентраций веществ из баз данных в таблицы Microsoft Excel с последующим дополнением их формулами расчета вероятных доз поступления ксенобиотиков, характеристик канцерогенного и неканцерогенного рисков.

Таким образом, оптимизация системы мониторинга за загрязнением атмосферного воздуха, предусматривающая натурные лабораторные исследования, данные приземных концентраций при моделировании рассеивания загрязняющих веществ, выбор приоритетных загрязнителей и создание современной базы данных, позволяющей проводить статистический анализ, создает предпосылки для дальнейшей оценки риска здоровью населения, ранжирования приоритетов и эффективного управления качеством городской среды.

**9. Совершенствование системы экологического управления и контроля.** Применение ГИС-технологий должно повысить оперативность принимаемых решений и дать экологам-практикам и гигиенистам более разнообразную информацию для принятия решений по оптимизации экологического контроля и управления. Особенно остра проблема снижения негативного воздействия автотранспорта – главного источника техногенного загрязнения городской среды Воронежа.

Несмотря на активное проведение в г.Воронеже мероприятий по снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха, проблема неблагоприятного влияния аэротехногенных загрязнителей на состояние здоровья населения продолжает занимать одно из приоритетных мест в системе экологического и социально-гигиенического мониторинга. С возрастанием доли влияния выбросов от автомобильного транспорта на уровень загрязнения приземного слоя воздуха эта проблема обостряется, поскольку выхлопы автотранспорта усугубляют ситуацию по уровню загрязнения воздуха как в промышленных, так и в жилых зонах.

При ведущей роли в загрязнении атмосферного воздуха выхлопов от автомобильного транспорта следует обратить внимание на следующее. Объем выделяемых в атмосферный воздух токсичных веществ находится в прямой зависимости от расхода топлива. Серьезную проблему представляют и автомобильные «пробки», способствующие повышению концентраций загрязняющих веществ в приземном слое воздуха [173].

Как известно, снижение загрязнения воздушной среды автотранспортными средствами достигается многими методами. Наиболее эффективными считаются модернизация и поддержание исправными систем нейтрализации отработавших газов, нормативные ограничения, а также использование альтернативного топлива. Решение проблемы снижения загрязнения может быть только комплексным. Для уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха необходимо регулировать транспортные нагрузки на улицах города, делая их более равномерными. Наиболее загруженные участки транспортной сети необходимо дублировать, прокладывая новые линии движения транспорта, возродить «электротранспорт», например, скоростной трамвай, «легкое метро», проект которого заложен в новом генеральном плане города [40].

В более общем аспекте охрана городской среды от загрязнения выбросами от промышленных и транспортных источников включает реализацию санитарно-организационных и санитарно-технических мероприятий (организация санитарно-защитных зон, внедрение методов эффективной очистки выбросов стационарных источников от вредных загрязняющих веществ (газов, паров, аэрозолей); совершенствование технологических процессов с целью уменьшения объема выбросов, внедрение малоотходных технологий; обеспечение исполнения требований природоохран-

ного законодательства, природоохранных и гигиенических нормативов.

Перспективы модернизации существующей системы мониторинга состояния городской среды Воронежа, в первую очередь, связаны с необходимостью расширения систематического контроля концентраций загрязняющих веществ более 16 ингредиентов, контролируемых в настоящее время; особенно это касается веществ, присутствующих в выхлопах автотранспорта, который формирует опасные риски загрязнения воздуха, как в промышленных, так и в жилых зонах.

Таким образом, разработанные принципы совершенствования системы мониторинга городской среды на базе ГИС-технологий ориентированы на расширение, унификацию системы экологического контроля, углубление аналитического блока и более широкое применение технологий геоинформационного картографирования и математико-картографического моделирования как современных средств оптимизации региональных систем экологического мониторинга урбанизированных территорий в целом.

В завершение данной главы рассмотрим с экологической точки зрения некоторые проектные решения нового «Генерального плана городского округа город Воронеж» (утвержден в 2008 г.), являющегося основой перспективного развития города на ближайшие 15 лет (Генеральный проектировщик – ОАО «Воронежпроект», гл. архитектор – А.П. Бородецкий). Новый Генплан определяет проектные решения до 2022 г., а основными идеями стали: рационализация функционального зонирования, модернизация городской инфраструктуры и поиск территориальных ресурсов для застройки, совершенствование инженерной и транспортной систем жизнеобеспечения, вынос отдельных вредных производств за городскую черту и оздоровление окружающей среды, развитие природного комплекса и экологических каркасов.

Среди мероприятий, направленных на снижение экологического риска, обозначенных в новом Генплане, представляются приоритетными три задачи, направленные на минимизацию содержания в атмосфере (как основной депонирующей среде, формирующей зоны экологического риска) загрязняющих веществ – производных технологического прессинга города.

1. Модернизация транспортных сетей города с увеличением их пропускной способности, качества дорожного покрытия, средней скорости движения транспортных средств.

2. Модернизация технологических процессов и сокращение выбросов в атмосферу предприятий теплоэнергетики и ряда других промышленных объектов для обеспечения допустимого загрязнения воздушного бассейна.

3. Развитие и реконструкция систем внутригородского и внешне-

го пригородного озеленения с созданием экологического каркаса.

Стратегически важно скорректировать существующий баланс застройки с тем, чтобы рассредоточить непрерывную и достаточно обширную зону высокого техногенного прессинга и более высокого экологического риска на территории города, внедрив в существующую застройку элементы экологического каркаса (озеленение, садово-парковые рекреационные микрзоны).

### ***Модернизация транспортной инфраструктуры***

Основным источником загрязнения воздушного бассейна Воронежа является автотранспорт, а главной причиной повышенного загрязнения городской среды выбросами автотранспорта является плотная городская застройка и недостаток скоростных автомагистралей, низкая скорость движения автотранспортных средств, которая в дневное время в центральной части города составляет около 30 - 35 км/час (и менее в условиях автомобильных пробок в часы «пик»), при том, что экологически оптимальная скорость – 90 км/час [102]. Следует отметить, что дополнительной причиной загрязнения городской среды выбросами автотранспорта является высокая интенсивность движения по городским улицам большегрузного транзитного транспорта. Для улучшения ситуации новым Генпланом предложены следующие мероприятия.

***1. Увеличение пропускной способности городских автодорог.*** Для этого предусмотрено создание объездных путей основных транспортных артерий города и основных «проблемных» перекрёстков. Представляется целесообразным расширить ул. Солнечная для беспрепятственного проезда из Северного жилого района в Ленинский район города. Кроме того, представляется своевременным организация двухконтурного объездного пути центральной части города: первый контур в виде полукольцевой магистрали вокруг Центрального района, проходящей от ул. Ленина по улицам: Урицкого, проспект Труда, Машиностроителей, Космонавтов, Колесниченко, Чапаева и Грамши до Вогрэсовского моста.

Второй контур образуется следующим образом: из двух диаметров в виде скоростных городских дорог (вдоль ул. Антонова-Овсеенко – Героев Сибиряков в правобережной части и построенного восточного обхода автодороги Москва — Ростов-на-Дону в левобережной части) и трёх диаметров в виде магистральных улиц непрерывного движения (один диаметр проложен по улицам Остужева – Северный мост – ул. Цветущая – Бурденко – ул. 45 Стрелковой Дивизии в перспективе с выходом на автомагистраль к г. Семилуки; второй диаметр пройдет от автодороги на Ростов-на-Дону по улицам Циолковского – Героев Стратосферы – Вогрэсовский мост – Грамши – Матросова – проспект Патриотов с выходом на автодорогу к г. Курск; третий диаметр в левобережной части пройдет по улицам Новосибирская - Лебедева - Ленинский проспект - в дальнейшем с

выходом на обходную автотрассу «Москва – Ростов»). Для разгрузки автодорог представляется целесообразным строительство скоростных эстакад для легкового автомобильного транспорта вдоль Московского проспекта и ул. Плехановская (от кольца у памятника Славы до пл. Ленина с возможностью въезда и выезда на пл. Заставы, ул. Кольцовскую), где минимальная скорость движения должна составлять 80 км/ч; ряда мелких эстакад через наиболее напряжённые перекрёстки города (проспект Революции - ул. Транспортная, ул. Кирова - ул. 20 лет Октября, ул. Краснознаменная - ул. Матросова, ул. Остужева - Ленинский проспект).

За расчётным сроком проектирования генерального плана после выноса заводского аэродрома, предполагается создать третий контур в виде скоростных городских дорог, соединяющих две вышеназванные скоростные дороги между собой с новыми дополнительными мостовыми переходами через русло реки Воронеж; на севере – вдоль существующего железнодорожного моста и на юге – в районе пос. Шилово.

**2. Обеспечение движения автомобилей на всех транспортных артериях города в режиме «зелёная волна».** То есть все светофоры города должны быть настроены таким образом, чтобы при движении автомобиля с одинаковой скоростью – 60 км/ч – на всех встречающихся ему светофорах был «зелёный сигнал». Примером эффективного использования данного режима автодвижения может служить разветвленная, но прекрасно организованная сеть автодорог столицы Белоруссии - города Минска.

**3. Повышение качества дорожного покрытия.** Эта мера особенно важна для г. Воронежа, т.к. позволит существенно снизить запыленность и загазованность воздушной среды города. Во многом это связано с рациональной организацией ремонтно-строительных дорожных работ. При ремонте дорог целесообразно использовать более качественный материал дорожного покрытия, современные технологии холодного рециклинга. Причем, ремонт автодорог желательно осуществлять в ночное время, поскольку при работе ремонтных бригад в дневное время суток практически всегда на улицах города создаются длинные «автомобильные пробки», затрудняется и общее движение, а в часы «пик» вообще может возникнуть «транспортный коллапс». Кроме того в зимнее время года движение автотранспорта нередко осложняется снежными заносами, гололедом, а работа снегоуборочной техники в дневное время лишь увеличивает размеры автомобильных пробок.

**4. Освобождение проезжей части от пешеходных потоков** осуществимо строительством подземных и надземных переходов на оживлённых перекрёстках и остановках городского транспорта – Памятник Славы, Центральный рынок, ул. Остужева и др. Целесообразно увеличить число надземных пешеходных эстакад, а для предотвращения дорожно-транспортных происшествий увеличить протяженность ограждающих заборов, шумозащитных экранов, турникетов вдоль оживлённых автотрасс,

как это сделано на ряде участков Московского проспекта на выезде из города в сторону аэропорта.

**5. Развитие электротранспорта.** В новом Генплане города планируется развитие сети городского пассажирского транспорта с созданием вдоль существующего железнодорожного полотна изолированных железнодорожных путей для пропуска по ним нового вида скоростного транспорта – «лёгкого метро» с использованием модернизированной эстакады Северного мостового перехода для соединения основной части города с его левобережной частью. Создание линии «лёгкого метро» позволит, как считают проектировщики, значительно разгрузить мостовые переходы от движения общественного транспорта.

Теоретически это так, но возникают, по крайней мере, два вопроса: востребованность нового вида транспорта населением и финансовый аспект. Так, схема довольно протяженной трассы «легкого метро» на значительных отрезках пролегает через окраинные или малонаселенные районы (от Северного авторынка – к юго-западному кладбищу – далее разворот в центральный сектор города через Курский вокзал – станцию «Воронеж -1» – на эстакаду Северного моста – ул. Остужева – далее вдоль железнодорожных путей параллельно Ленинскому проспекту на юг до пос. Масловка), что делает длительным и неудобным передвижение из плотно-заселенного Северного жилого района в центр города и наоборот; к тому же проект достаточно дорогой для городского бюджета, что ставит под сомнение его эффективность и реальность выполнения.

Более экономично развитие линий электротранспорта - скоростного трамвая и троллейбуса. В частности, предлагается связать район пос. Шилово с основной частью города линией скоростного трамвая сбоку на обособленном полотне на продолжении ул. Острогожской, которая в перспективе может быть превращена в магистральную улицу с непрерывным движением или в скоростную городскую дорогу. Целесообразно рассмотреть вопрос и о прокладке линии скоростного трамвая и от нового торгового микрорайона «Сити-град» в Северный жилой район и далее – в центральную часть города.

Для оптимизации транспортных перевозок планируется также соорудить новый автожелезнодорожный вокзал в центральной части левобережья города с целью улучшения транспортного обслуживания пассажиров на пересадках с железнодорожного транспорта на автомобильный и наоборот и уменьшения нагрузки участка железной дороги «Отрожка - Воронеж-1».

Реальное улучшение состояния воздушного бассейна может быть достигнуто лишь при коренной модификации транспортной системы, снижении объемов грузовых перевозок в черте города, внедрении скоростных видов городского транспорта, более широком использовании почти «забытого» общественного электротранспорта. Этому будет способство-

вать снижение токсичности отработавших газов автомобильных двигателей, обновление парка автомобилей, разработка и реализация комплекса организационно-технических мероприятий по снижению выбросов, включающих ужесточение контроля за техническим состоянием автомашин, инструментальный контроль токсичности, дымности отработавших газов, перевод автомобилей на альтернативное топливо.

Следует, однако, отметить, что в течение последних лет эти серьезные проблемы начали конструктивно решаться; так, модернизированы новые дорожные покрытия по всему Московскому проспекту от северного въезда в город до центральной площади им. В.И. Ленина, что значительно улучшило качество движения по трассе, хотя и не избавило автовладельцев и общественный транспорт от «пробок» на многочисленных перекрестках и светофорах. Для ограничения въезда в г. Воронеж транзитного большегрузного транспорта спроектированы и реконструируются автомобильные обходы г. Воронежа по магистральной федеральной дороге «М-4» и по федеральной трассе «Курск – Воронеж – Борисоглебск – Саратов». Расширено полотно движения по автотрассе улицы Ломоносова в районе «Опытная станция СХИ - «Березовая Роща», а на отдельных участках трассы введено однопольное движение, что заметно увеличило её пропускную способность и снизило «автомобильные пробки». Существенно улучшилась «культура движения» вдоль Московского проспекта за счет новых пешеходных эстакад от областной клинической больницы до Центрального автовокзала.

### ***Модернизация технологических процессов***

В настоящее время остро стоит проблема загрязнения воздуха предприятиями города, в первую очередь, объектами теплоэнергетики и химической промышленности, а также недостаточного контроля за разрешенными выбросами предприятий. Для достижения технологической задачи снижения выбросов в атмосферу путем модернизации производства целесообразно обратить внимание на реализацию следующих мероприятий.

**6. Изменение топливного баланс в теплоэнергетической промышленности:** полный переход на газовое топливо на ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, котельных ВГК «Тепловые сети» и других предприятиях. Это позволит уменьшить содержание диоксидов серы и азота, оксида углерода, фенола в атмосферном воздухе. Также следует предложить улавливание диоксида серы в отходящих газах с последующим окислением до серы на специальных установках.

**7. Разработка и внедрение мероприятий по модернизации вредных технологических процессов и минимизации выбросов вредных веществ в атмосферу.** Так, на предприятиях, использующих в технологическом процессе смолы с содержанием формальдегида (ОАО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Воронежский шинный завод», ОАО «Электропри-

бор», Механический Завод, АООТ «ВАСО»), требуется перейти на использование в технологических процессах смолы с пониженным содержанием формальдегида или безформальдегидные связующие. Данное мероприятие позволит уменьшить содержание формальдегида в атмосферном воздухе, который создает повышенный канцерогенный риск в селитебно-промышленных микрорайонах.

На предприятиях химической промышленности обеспечить полное сжигание отработанных газов в технологических печах; повышение КПД газопылеулавливающих установок путем увеличения плотности орошения скрубберов, изменение схем подачи рассола на холодильники, плавного сброса давления в аппаратах.

На предприятиях машиностроительной промышленности обеспечить запрет залповых выбросов вредных веществ в атмосферу; строгое соблюдение технологического режима литейного, кузнечного и гальванического производства; уменьшение объема работ с применением красителей, кислот, щелочи и других агрессивных вредных веществ, выделяющихся в атмосферу.

На предприятиях с высокими выбросами пыли (АОЗТ «Воронежский комбинат строительных материалов», Механический завод, котельные, установленные на большинстве предприятий города) внедрить усовершенствованные методы очистки, т.е. провести замену циклонов на современные тканевые фильтры. Весьма эффективно применение полностью или частично замкнутых воздушных циклов, улучшение герметизации заводской аппаратуры. Производить осуществление выгрузки пыли из бункеров циклонов дробильного отделения только в контейнеры через специальные эластичные рукава.

Для эффективного предотвращения повышения уровня загрязнения воздуха следует, в первую очередь, сокращать низкие, рассредоточенные, холодные выбросы.

**8. Организация и благоустройство санитарно-защитных зон промышленных предприятий** в соответствии с экологическим законодательством. Расселение жителей города Воронежа, проживающих в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий (по данным Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области в настоящее время около 6 тыс. жителей города проживают на территории СЗЗ промышленных предприятий и имеют право на отселение). При этом частично компенсировать расходы на отселение жителей возможно путём продажи освободившихся жилых зданий под складские помещения или промышленные объекты более низкого класса вредности. На месте ветхих зданий, не подлежащих реконструкции, возможна организация стоянок автомобильного транспорта, строительство гаражей, экономическая выгода которых вполне очевидна.

### ***Развитие природного комплекса и внутригородского озеленения***

Проведение мероприятий по озеленению города в значительной мере уменьшит уровень содержания загрязнителей в атмосфере, что, в свою очередь, приведет к снижению экологического риска.

Зеленые насаждения эффективно аккумулируют пылевидные примеси, отфильтровывая их из воздуха. В летнее время деревья накапливают до 40-50 % пыли, в осенне-весенний сезон – 25-40 %. Растения, имеющие опушенные, клейкие и шероховатые листья в большей степени обладают этой способностью. На участках улиц, лишенных растительности, запыленность пространства повышается в 2-3 раза по сравнению с озеленёнными участками. Уровень запылённости эффективно снижают плотные изолирующие посадки деревьев и кустарников.

Для минимизации содержания в атмосферном воздухе г. Воронежа пыли и газовых смесей техногенного происхождения целесообразно на территориях, подверженных техногенному прессингу (санитарно-защитных зонах промышленных предприятий, объектов теплоэнергетики, вдоль автодорог), производить посадку следующих видов зеленых насаждений:

- лиственные древесные растения – тополь канадский, тополь лавролистный, тополь пирамидальный, ясень ланцетный, ясень пенсильванский, рябина промежуточная, лох узколистый, робиния лжеакация;
- хвойные кустарники – можжевельник казацкий, туя западная и другие;
- кустарниковые растения – бирючина обыкновенная, дерен обыкновенный, кизильник блестящий, снежноягодник обыкновенный, спирея Вангутта, сирень обыкновенная, чубушник венечный, магония падуболистная.

На наиболее загазованных участках (перекрестки крупных автодорог) целесообразно включать в состав насаждений газоустойчивые хвойные породы (ель колючая, туя западная, можжевельник казацкий). Рациональное озеленение позволит значительно снизить общий уровень шума и уменьшить звуковой дискомфорт для населения.

Для организации шумозащиты магистралей г. Воронежа с интенсивным движением целесообразно расширить и организовать новые полосы зеленых насаждений шириной не менее 10-15 метров, состоящие из нескольких рядов деревьев и кустарников. При этом ряды должны быть расположены на таком расстоянии друг от друга, чтобы кроны не смыкались. Такое размещение более эффективно, т. к. каждый ряд насаждений вновь экранирует шум. Высокие виды деревьев (тополь пирамидальный, ясень пенсильванский, ясень ланцетный и др.) необходимо чередовать с низкими шаровидными формами (лох узколистый, рябина промежуточная и

др.).

Для оптимизации газового состава атмосферного воздуха на территории жилых зон целесообразно шире практиковать «вертикальное озеленение» по опыту европейских, в том числе прибалтийских городов - Вильнюса, Риги. Для этого выющиеся виды растений, листья которых задерживают пыль, увеличивают относительную влажность воздуха и приглушают уровень шума, необходимо расположить вдоль стен, подъездов и фасадов зданий, беседок, осветительных опор, площадок отдыха. Помимо экологического это будет иметь определенный эстетический эффект.

Для «вертикального озеленения» жилой зоны города Воронежа целесообразно использовать следующие виды растений: а) древесные растения – виноград пятилисточковый, древогубец круглолистный, жимолость обыкновенная, каприфоль обыкновенная; б) травянистые растения – ипомея обыкновенная, настурция обыкновенная, фасоль декоративная. Зеленые насаждения играют важную архитектурную и композиционную роль в городском ландшафте, смягчают суровость архитектуры; снижая скорость ветра, уровень шума, увлажняя и очищая воздух, создают комфортные условия для труда и отдыха.

Наиболее значительными резервными территориями для зеленого строительства являются: территории у спортивного комплекса «Юбилейный», участки набережных: Спортивной, Горького, Авиастроителей. Одной из перспективных задач по озеленению городской территории, является организация лесопарков (парков «на пороге города», как это отмечено в новом Генплане) на участках лесонасаждений, непосредственно примыкающих к застройке: в Северном жилом районе, в левобережной части города восточнее ул. Землячки (р-н ВЗСАК), южнее городской больницы №8, в пос. Малышево и Тенистый, в юго-западном районе по проспекту Патриотов, в районе с. Подгорное и с. Сомово - Боровое (лугопарк в пойме р. Усмань).

В конечном итоге снизить негативное воздействие техногенного загрязнения возможно при условии рационального эколого-функционального зонирования территории города с размежеванием селитебных и рекреационных зон от промышленных и крупных транспортных магистралей; формирования системы зеленых насаждений в виде единого экологического каркаса.

Эти меры в сочетании с описанным комплексом планировочных и инженерно-технических средств и методов позволят обеспечить снижение уровней экологического риска и повышение степени комфортности городской среды для проживания населения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования направлены на изучение возможностей эколого-аналитических методов и геоинформационных технологий в анализе механизмов формирования зон экологического риска, интегральной экологической оценки и мониторинга окружающей среды крупного промышленного центра. Анализ разработанности проблемы в зарубежной и отечественной науке показывает многообразие подходов к интегральной оценке качества городской среды, перспективность методов геоинформационного картографирования и моделирования, что свидетельствует о существенном продвижении в области становления отечественной системы мониторинга окружающей среды и оценки факторов экологического риска, формирующих общественное здоровье. Эффективность дальнейшего развития проблемы во многом связана с совершенствованием научно-методического и технологического обеспечения мониторинговых исследований.

Методическая схема исследования включала три этапа: информационный, аналитический, прогнозно-рекомендательный. Использованы три группы методов: полевые и лабораторные инструментальные эколого-аналитические, вероятностно-статистические, геоинформационно-аналитические. В ходе проведения натуральных экогеохимических, биондикационных исследований и с использованием фондовых статистических данных о промышленно-транспортной инфраструктуре, функциональном зонировании города, загрязнении атмосферы, почвы и критериях заболеваемости детского населения сформирована база данных о параметрах экологического состояния города за 5 лет (2009-2013) с последующей актуализацией. Разработана оригинальная методика оценки вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование техногенного загрязнения городской среды. С помощью методов многомерного статистического анализа и ГИС-картографирования осуществлена интегральная оценка экологического состояния городской среды по трем уровням генерализации экогеоданных: функционально-планировочные зоны, районы обслуживания детских поликлиник, территория всего города, оцениваемая по формально-территориальному принципу на основании обработки данных специальных пунктов опробования различных транзитных и депонирующих сред города. В программной среде MapInfo создан действующий макет геоинформационно-аналитического комплекса («ЭКОГИС города Воронежа»), включающего реляционные базы экогеоданных, программно-алгоритмическое обеспечение для оценки риска здоровью населения и средства электронного картографирования для обеспечения экологического мониторинга и интегральной оценки экологического состояния городской среды.

Установлено, что техногенное загрязнение города формируется за счет природно-экологического фактора, в частности, сезонности и стратификации атмосферы, а также особенностей функционально-планировочной инфраструктуры и промышленно-транспортного комплекса. Максимальные показатели индекса загрязнения атмосферы отмечаются в пределах левобережного промышленно-производственного комплекса, что связано с промышленными объектами и особенностями ландшафтно-экологических условий. Во всех микрорайонах города ситуация значительно усугубляется в теплое время года, когда наблюдаются максимальные значения индекса ИЗА вследствие устойчивой стратификации атмосферы (инверсия), а минимальные значения индекса ИЗА – в холодное время года и при «неустойчивом» состоянии атмосферы (конвекция).

Проведенное ранжирование ответного «отклика» геохимических индикаторов на промышленно-транспортное воздействие показало более сильный «отклик» критериев качества атмосферы и почвы, в меньшей степени – снега, а к приоритетным геохимическим индикаторам следует отнести сажу и формальдегид в атмосфере, азотистые соединения в снеге, СПЗ тяжелыми металлами в почве. Наиболее загрязнены промышленная и транспортная зоны, а между интегральными показателями загрязнения атмосферы и почвы существует достоверная положительная корреляция, свидетельствующая о существенной обусловленности загрязнения почвы аэрогенным поступлением загрязняющих веществ.

Применение методов биоиндикации состояния городской среды по показателю флуктуирующей асимметрии листьев древесных растений (березы повислой и тополя пирамидального) показало, что в городе Воронеже наибольший антропогенный прессинг испытывают микрорайоны, расположенные в промышленной и транспортной функционально-планировочных зонах. Наиболее благоприятными с экологической точки зрения можно считать селитебно-рекреационные зоны, фрагменты «частного жилого сектора» и некоторые окраинные микрорайоны, выделенные Генеральным планом города под жилую застройку.

К приоритетным факторам риска следует отнести поступление канцерогенных веществ в воздушный бассейн, высокую автотранспортную загруженность, техногенное загрязнение атмосферы, снега и почвы, индикаторами которого являются суммарные индексы загрязнения различных транзитных и депонирующих сред. Способами геоинформационных технологий создана картографическая база данных, иллюстрирующих территориальные различия индексов экологического риска города, являющаяся основой интегральной оценки экологического состояния городской среды. Разработанные принципы совершенствования системы мониторинга состояния городской среды на базе ГИС-технологий ориентированы на расширение, унификацию системы экологического контроля, углубление

аналитического блока и более широкое применение технологий геоинформационного картографирования и математико-картографического моделирования как современных средств оптимизации региональных систем экологического мониторинга в целом.

Перспективы развития исследований связаны с совершенствованием систем автоматизированного экологического мониторинга промышленных центров, созданием тематических картографических баз данных и внедрением разработок в практику работы региональных природоохранных ведомств.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные **выводы**.

1. Создан оригинальный геоинформационно-аналитический комплекс в программной среде MapInfo, включающий информационный банк данных об источниках техногенного загрязнения, качестве основных транзитных и депонирующих сред (атмосфера, снег, почва), биотических реакциях древесных растений и заболеваемости детского населения города Воронежа с возможностью ежегодной актуализации, а также программно-алгоритмический аппарат автоматизированной оценки риска здоровью населения, геоинформационного картографирования и обеспечения экологического мониторинга крупного промышленного центра.

2. Разработан методический подход к оценке вклада промышленно-транспортной инфраструктуры в формирование техногенного загрязнения и медико-экологической напряженности городской среды. Для территории города Воронежа рассчитаны по оригинальной методике коэффициенты эмиссионной нагрузки выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников (ранжированные по классам опасности веществ) и коэффициенты автотранспортной нагрузки, позволившие количественно оценить интегральную промышленно-транспортную нагрузку на городскую среду и выявить пространственные различия эмиссии загрязняющих веществ средствами геоинформационного картографирования.

3. Установлены закономерности формирования аэротехногенного загрязнения в условиях городской среды при комбинированном влиянии сезонного фактора, стратификации атмосферы и функционально-планировочной структуры города Воронежа. Максимальные показатели индекса загрязнения атмосферы отмечаются в пределах левобережного промышленно-производственного комплекса, что связано с промышленными объектами и особенностями ландшафтно-экологических условий. Ситуация значительно усугубляется в теплое время года, при максимальных значениях индекса ИЗА (до 2,5-2,8 превышений фона) вследствие устойчивой стратификации атмосферы (инверсия), а минимальные значения индекса ИЗА наблюдаются в холодное время года и при «неустойчивом» состоянии атмосферы (конвекция).

4. Проведено ранжирование ответного «отклика» геохимических индикаторов на промышленно-транспортное воздействие, показавшее наиболее сильный «отклик» критериев качества атмосферы и почвы, в меньшей степени – снега (приоритетные индикаторы: сажа и формальдегид в атмосфере, азотистые соединения в снеге, суммарное загрязнение тяжелыми металлами почвы). Наиболее загрязнены промышленная и транспортная зоны, а между интегральными показателями загрязнения атмосферы и почвы существует достоверная положительная корреляция сильной степени ( $r = +0,77$ ), свидетельствующая об определяющем аэрогенном механизме загрязнения почвенного покрова города.

5. Установлено, что показатели флуктуирующей асимметрии листьев древесных растений (берёзы повислой /*Betula pendula Roth.*/ и тополя пирамидального /*Populus pyramidalis Borkh.*/) можно рассматривать как информативный индикатор экологического состояния городской среды. Угнетение видов (2-х кратное увеличение показателя стабильности развития относительно фона) наблюдается в промышленно-транспортных микрорайонах при увеличении концентраций в атмосфере и снеге взвешенных веществ, азотистых соединений, пылевых фракций и тяжелых металлов в почве, ухудшающих условия существования древесных видов.

6. Проведена оценка риска для здоровья детского населения, связанного с промышленно-транспортным воздействием и экогеохимическим фоном городской среды, позволившая ранжировать по значимости критерии техногенного воздействия и общественного здоровья, а также построить прогнозные модели экологического риска. В число болезней наибольшей экологической обусловленности включены врожденные аномалии, новообразования, эндокринная патология и болезни мочеполовой сферы, имеющие достоверный «отклик» на техногенное воздействие и загрязнение атмосферы, почвы.

7. Осуществлена интегральная оценка экологического состояния территории города Воронежа, позволившая дифференцировать функционально-планировочные зоны и районы обслуживания детских поликлиник по риску экологически обусловленных заболеваний с геоинформационным картографированием индексов риска, имеющих примерно 3-х кратные различия между относительно благополучными окраинными «спальными», селитебно-рекреационными микрорайонами и техногенно нагруженными микрорайонами исторического центра, промышленных и транспортных зон. Осуществленная интегральная экологическая оценка и практические рекомендации могут служить средствами информационной поддержки принятия управленческих решений для поэтапного снижения риска экологически обусловленных заболеваний и обеспечения экологической безопасности населения города Воронежа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авалиани С.Л. Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт) / С.Л. Авалиани, М. М. Андрианова, Е. В. Печенникова. – М. : Консультационный центр по оценке риска, 1996. – 159 с.
2. Авалиани С.Л. Региональная экологическая политика. Мониторинг здоровья человека и здоровья среды / С. Л. Авалиани, Б. А. Ревич, В. М. Захаров. – М. : ЦЭПР, 2001. – 76 с.
3. Айдинов Г.В. Информационно-аналитическое обеспечение II этапа социально-гигиенического мониторинга на региональном уровне / Г.В. Айдинов, Л.И. Прядко, О.И. Симоненко – Белгород, 2000. – С. 32 – 37.
4. Акимов Л.М. Геоэкологическая оценка загрязнения воздушного бассейна города Воронежа автотранспортом в зависимости от состояния атмосферы / Л.М. Акимов, А.Б. Якушев, С.А. Куролап // Вестник Воронежского гос. университета. Серия География. Геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 158-165.
5. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия : учебник / В.А. Алексеенко. – М. : Логос, 2000. – 627 с.
6. Андреев В.Л. Анализ эколого-географических данных с использованием теории нечетких множеств / В.Л. Андреев. – Л.: Наука, 1987. – 154 с.
7. Андрианов Д.Л. Модели экологической безопасности градопромышленных агломераций / Д.Л. Андрианов, С.А. Двинских, С.В. Красных и др.// География (Программа «Университеты России»). – М., 1993. – С. 108-113.
8. Архипова И.В. Эколого-географическое картографирование в градостроительном проектировании муниципального уровня / И.В. Архипова, В.Г. Ведухина // ИнтерКарто/ИнтерГИС-17 Устойчивое развитие территорий : теория ГИС и практический опыт. Материалы межд. науч. конф. – 2011. – С. 254-258.
9. Баранникова Ю.А. Научно-методическое обеспечение эколого-географического картографирования в градостроительном проектировании : дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36, 25.00.33 / Баранникова Юлия Анатольевна. – М., 2005. – 24 с.
10. Батулин В.К. Техногенное химическое воздействие автомобильных дорог на экосистемы придорожной полосы / В.К. Батулин. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 2003. – 112 с.
11. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах: результаты экспериментальных исследований / Э.Ю. Безуглая – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 199 с.

12. Безуглая Э.Ю. Чем дышит промышленный город / Э.Ю. Безуглая, Г.П. Расторгуева, И.В. Смирнова. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 256 с.
13. Беляев Е.Н. Концептуально-методические и организационные аспекты социально-гигиенического мониторинга / Е.Н. Беляев, В.И. Чибуряев // Материалы 1 Межд. конф. «Мониторинг окружающей среды и возмещение экономического ущерба здоровью». – Пермь, 1994. – С. 3-5.
14. Берлянт А.М. Географические информационные системы в науках о Земле / А.М. Берлянт // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 5. – С. 66-73.
15. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование / А.М. Берлянт – М. : Астрей, 1997. – 64 с.
16. Берлянт А.М. Картография : учебник для вузов / А.М. Берлянт. – М. : Аспект-Пресс, 2002. – 336 с.
17. Беспалова Е.В. Оценка геохимического состояния снежного покрова г. Воронежа / Е.В. Беспалова, Т.И. Прожорина, С.А. Куролап // Вестник Воронежского гос. университета. Серия География. Геоэкология. – 2013. – №1. – С. 137-141.
18. Блануца В.И. Интегральное экологическое районирование: концепция и методы / В. И. Блануца. – Новосибирск : Наука, 1993. – 160 с.
19. Богданов В.Н. Геоинформационное картографирование городской среды / В.Н. Богданов; отв. ред. А.Н. Антипов. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. – 80 с.
20. Бойко В.В. Проектирование баз данных информационных систем / В.В. Бойко, В.М. Савинков. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 351 с.
21. Большаков А.М. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения / А.М. Большаков, В.Н. Крутько, Е.В. Пуцилло. – М. : Изд-во Эдиториал УРСС, 1999. – 256 с.
22. Борисов В.М. Географическая информационная система для характеристики воздушного загрязнения территории / В.М. Борисов, С.А. Громов, В.С. Тикунов // География и природные ресурсы. – 1992. – № 2. – С. 151-154.
23. Бугаевский Л.М. Геоинформационные системы / Л.М. Бугаевский, В.Я. Цветков. – М. : Златоуст, 2000. – 222 с.
24. Букс И.И. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) : учебное пособие / И.И. Букс, С.А. Фомин. – М. : МНЭПУ, 1999. – Т. 1. – 128 с.
25. Буштуева К.А. Выбор зон наблюдения в крупных промышленных городах для выявления влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения / К.А. Буштуева // Гигиена и санитария. – 1985. – № 1. – С. 4-6.

26. Буштуева К.А. Методы и критерии оценки состояния здоровья населения загрязнением окружающей среды / К.А. Буштуева, И.С. Случанко. – М. : Медицина, 1979. – 160 с.
27. Важенин И.Г. Полевое обследование и картографирование уровня загрязненности почвенного покрова техногенными выбросами через атмосферу : метод. указания / И.Г. Важенин. – М., 1980. – 25 с.
28. Верещака Т.В. Методическое пособие по использованию топографических карт для оценки экологического состояния территории / Т.В. Верещака, Г.А. Качаев. – М. : Изд-во МИИГАиК, 2013. – 65 с.
29. Верещака Т.В. Экологические карты в системе карт для оптимизации окружающей среды / Т.В. Верещака // Геодезия и картография. – 1991. – № 1. – С. 39-43.
30. Вильнер М.Я. Документы территориального планирования. Методологические основы разработки [Электронный ресурс] / М.Я Вильнер // Управление развитием территории – 2007. – № 2. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/39500.html>.
31. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии / Б.В. Виноградов. – М. : ГЕОС, 1998. – 418 с.
32. Виноградов П.М. Геоинформационное обеспечение медико-экологического мониторинга городской среды (на примере города Воронежа) / П.М. Виноградов, С.А. Куролап, О.В. Клепиков // Вестник Воронежского гос. университета. Серия География. Геоэкология. – 2014. – №4. – С.39 - 48.
33. Виноградов П.М. Применение MapBasic при разработке приложения для расчета экологических рисков здоровью населения г. Воронежа / П.М. Виноградов // Геодезия, картография и маркшейдерия. Материалы Всерос. науч. интернет-конференции с межд. участием. – 2014. – С. 4-6.
34. Винокур И.Л. К изучению влияния комплекса факторов окружающей среды города на здоровье населения / И.Л. Винокур, Р.С. Гильденскиольд, Л.А. Кабанова [и др.] // Материалы VII Всерос. съезда гигиенистов и санитарных врачей. – М., 1991. – С. 31-33.
35. Винокур И.Л. Методические подходы к изучению влияния комплекса факторов окружающей среды на здоровье человека / И.Л. Винокур, Р.С. Гильденскиольд, Т.Н. Ершова // Гигиена и санитария. – 1989. – № 5. – С. 4-7.
36. Владимиров В.А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью / В.А. Владимиров. – М. : Деловой экспресс, 2002. – 184 с.
37. Воронеж : среда обитания и зоны экологического риска / С.А. Куролап, С.А. Епринцев, О.В. Клепиков [и др.]. – Воронеж : Истоки, 2010. – 207 с.

38. Воронов Г.А. Экология человека с основами медицинской географии : учеб. пособие / Г.А. Воронов, М.С. Оборин, С.М. Малхазова, И.Н. Гаврилова. – Пермь: Пермск. гос. нац. исслед. ун-т, 2014. – 329 с.
39. Габдуллина Л.А. Научно-методические аспекты разработки и использования ГИС для геоэкологической оценки территории : на примере Ижевска : дис. ... канд. геогр. наук. : 25.00.36 / Габдуллина Любовь Александровна. – Ижевск, 2007. – 166 с.
40. Генеральный план городского округа г. Воронеж : Экологические аспекты. – ОАО «Воронежпроект», 2006. – 2 т. – 226 с.
41. Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды / Под ред. В.И. Федотова, С.А. Куролапа. – Воронеж : Изд-во «Квадрат», 1996. – 328 с.
42. Геоэкологический анализ состояния природно-социально-производственных систем / А.А. Ямашкин [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – 260 с.
43. Геоэкологическое картографирование : учебное пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / Б.И. Кочуров, Д.Ю. Шишкина, А.В. Антипова, С.К. Костовска; под ред. Б.И. Кочурова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский центр «Академия», 2012. – 224 с.
44. Гершензон В.Е. Информационные технологии в управлении качеством среды обитания / В.Е. Гершензон [и др.]. – М. : Академия, 2003. – 288 с.
45. Гильденскиольд Р.С. Гигиеническое ранжирование территории промышленного города как элемент управления здоровьем населения / Р.С. Гильденскиольд [и др.] // Современные гигиенические проблемы охраны окружающей среды и здоровья населения. Сб. науч. тр., посвященный к 75-летию санэпид. службы. – 1997. – С. 55.
46. Гичев Ю.П. Современные проблемы экологической медицины / Ю.П. Гичев. – Новосибирск : Изд-во СО РАМН, 1996. – 174 с.
47. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест. – М. : Минздрав России, 2003. – 61 с.; ГН 2.1.6.1983-05. Дополнение и изменения 2 к ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест. – М. : Минздрав России, 2006. – 5 с.
48. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
49. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году». – М., 2013. – 483 с.
50. Голубев Г.Н. Геоэкология : учебник для студентов вузов / Г.Н. Голубев. – М. : ГЕОС, 1999. – 338 с.
51. Городская среда : геоэкологические аспекты : монография /

В.С. Хомич [и др.] – Минск : Беларус. навука, 2013. – 301 с.

52. Григорьевская А.Я. Флора города Воронежа / А.Я. Григорьевская. – Воронеж : ВГУ, 2000. – 200 с.

53. Гусейнова Н.О. Экологический мониторинг Дагестана с использованием дистанционного зондирования и ГИС-технологий (на примере г. Махачкалы) / Н.О. Гусейнова, Н.М. Булаева, Б.И. Магомедов, С.Я. Аскеров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Вып. 5. – Т.2. – С. 477-482.

54. Даутов Ф.Ф. Изучение связи между загрязнением воздушной среды и уровнем заболеваемости детского населения города / Ф.Ф. Даутов, И.А. Яруллин // Гигиена и санитария. – 1993. – № 8. – С. 4 – 6.

55. Дерябкина Л.А. Мониторинг микробиоценоза почв селитебных территорий индустриального города / Л.А. Дерябкина. – М., 2000. – С. 239 – 243.

56. Джувеликян Х.А. Экология, город, человек / Х.А. Джувеликян. – Воронеж, 1996. – 104 с.

57. Джугарян О.А. Экотоксикология техногенного загрязнения: монография / О.А. Джугарян. – Смоленск : Ойкумена, 2000. – 280 с.

58. Добровольский Г.В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв: учебник / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – 2-е изд., уточн. и доп. – М. : Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. – 298 с.

59. Доклад о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2012 г. / [редкол. : Ю.В. Яковлев, В.Н. Дрыгин] – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2012. – 57 с.

60. Доклад о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2013 г. / [редкол. : Ю.В. Яковлев, В.Н. Дрыгин] – Воронеж : Изд-во «Цифровая полиграфия», 2014. – 66 с.

61. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в городском округе город Воронеж в 2013 году» / М.И. Чубирко, Ю.И. Стёпкин. – Воронеж : Управление Роспотребнадзора по Воронежской области, 2014. – 107 с.

62. Епринцев С.А. Изучение параметров качества окружающей среды урбанизированных территорий в условиях повышенной антропогенной нагрузки / С.А. Епринцев, С.В. Шекоян // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10. – Вып. 2. – С. 520-525.

63. Епринцев С.А. Оценка влияния городской застройки и загрязнения воздушного бассейна на здоровье населения г. Воронежа / С.А. Епринцев, С.А. Куролап, О.В. Клепиков // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. – 2009. – Т. 14. – Вып. 3. – С. 600-604.

64. Епринцев С.А. Оценка качества городской среды с использова-

нием ГИС-технологий (на примере г. Воронежа) / С.А. Епринцев, С.А. Куролап, О.В. Клепиков // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях при техногенных катастрофах : материалы научно-практ. конф. – Воронеж, 2006. – С. 161-163.

65. Епринцев С.А. Формирование зон экологического риска в промышленно-развитом городе (на примере г. Воронежа) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. : 25.00.36 / Епринцев Сергей Александрович. – Воронеж, 2007. – 24 с.

66. Жердев В.Н. Геоинформационный метод комплексного картирования при мониторинге земель / В.Н. Жердев, В.М. Умывакин // Современные проблемы землепользования Центрального Черноземья России: (землеустройство, кадастр и мониторинг земель). – Воронеж, 1997. – С. 58-65.

67. Жердев В.Н. Интегральные оценки экологического риска антропогенной деятельности в проблемах мониторинга и управления земельными ресурсами в ЦЧР / В.Н. Жердев, П.С. Русинов, В.М. Умывакин // Вестник Воронеж. отд. Рус. географ. о-ва. – 2000. – Т. 2, вып. 1. – С. 63-65.

68. Жуков В.Т. Компьютерное геоэкологическое картографирование / В.Т. Жуков, Б.В. Новаковский, А.Н. Чумаченко. – М. : Научный мир, 1999. – 128 с.

69. Затыгалова В.В. Мониторинг нефтяных загрязнений в море с помощью ГИС-технологии [Электронный ресурс] / В.В. Затыгалова, А.Ю. Иванов // Материалы 8-ой Всероссийской научно-практ. конф. «Геоинформатика в нефтегазовой и горной отраслях». – 2007. – Режим доступа: <http://gisa.ru/35856.html>.

70. Захаров В.М. Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход) / Захаров В.М. – М. : Наука, 1987. – 216 с.

71. Захаров В.М. Биотест. Интегральная оценка здоровья экосистем и отдельных видов / В.М. Захаров, Д.М. Кларк. – М. : Московское отд. Междунар. фонда «Биотест», 1993. – 68 с.

72. Здоровье и среда обитания населения Воронежской области : Атлас / М.И. Чубирко [и др.]. – Воронеж : Издат-Черноземье, 2006. – 212 с.

73. Зиброва Н.В. Геоэкологические основы мониторинга кумулятивного эффекта при локальном загрязнении воздушной среды / Н.В. Зиброва // Воронеж. высш. воен. авиац. инж. учил. – М. : ЦВНИ МО РФ, 2005. – 20 с. – Деп. в ВИНТИ 20.12.04, № 5857.

74. Иванников А.Д. Геоинформатика / А.Д. Иванников, В.П. Кулагин, А.Н. Тихонов. – М. : МАКС-Пресс, 2001. – 349 с.

75. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 376 с.

76. Казьмина И.Г. Создание экологического веб-атласа Воронежской области на основе ГИС-технологий / И.Г. Казьмина, Н.В. Мозговой, Л.Т. Рязанцева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 3(47). – С. 76-84.
77. Канцельсон Б.А. Оценка риска как инструмент социально-гигиенического мониторинга / Б.А. Канцельсон, Л.И. Привалова, С.В. Кузьмин. – Екатеринбург : Изд-во АМБ, 2001. – 244 с.
78. Карлович И.А. Геоэкология : учебник для высшей школы / И.А. Карлович. – М. : Академический Проект Альма-матер, 2005. – 512 с.
79. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий / А.П. Карпик. – Новосибирск : Изд-во СГГА, 2004. – 260 с.
80. Карташева Г.Г. Химический состав деревьев и кустарников, произрастающих на уступах угольного разреза / Г. Г. Карташева // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. / МВ и ССО РСФСР, Урал. гос. ун-т ; [отв. ред. Т. С. Чибрик]. – Свердловск, 1984. – С. 72-77.
81. Касимов Н.С. Атласная изученность экологического состояния территории России / Н.С. Касимов, В.С. Тикунов, Т.В. Котова // Украинський географічний журнал. – 2013. – № 1. – С. 53–59.
82. Касимов Н.С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). 2. Ландшафтно-геохимическая карта / Н.С. Касимов, Е.М. Никифрова, Н.Е. Кошелева, Т.С. Хайбрахманов Т.С // Геоинформатика. – 2013. – № 1. – С. 28-32.
83. Кириллов С.Н. Комплексная геоэкологическая оценка территории Волгограда / С.Н. Кириллов, Ю.С. Половинкина // Вестник Волгоградского гос. университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2011. – № 1. – Т. 3. – С. 239-245.
84. Киселев А.В. Оценка риска здоровью / А.В. Киселев, К.Б. Фридман. – СПб. : Межд. институт оценки риска здоровью, 1997. – 102 с.
85. Клепиков О.В. Проекты оценки риска для здоровья населения: учебно-методическое пособие для вузов / О.В. Клепиков, С.А. Куролап. – Воронеж : ВГУ, 2006. – 49 с.
86. Комплексное определение антропогенной нагрузки на водные объекты, почву, атмосферный воздух в районах селитебного освоения: метод. рекомендации (от 26.02.96 № 01-19/17-17) / под ред. Р.С. Гильденскиольда [и др.] – М. : ГКСЭН РФ, 1996. – 35с.
87. Кондратьева Т.И. Зарубежный опыт геоэкологической оценки территории / Т.И. Кондратьева // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: Материалы V Межд. науч. конф. – М.-Белгород, 2013. – С. 78-81.

88. Корчагина В.А. Геоэкологическая экспресс-оценка качества поверхностных водных ресурсов Ближнего Подворонежья / В.А. Корчагина, Т.И. Прожорина, С.А. Куролап // Вестник Воронежского гос. университета: Серия География. Геоэкология. – 2008. – №2. – С. 64-70.
89. Костылева Л.Н. Геоэкологический анализ и оценка риска загрязнения атмосферы (на примере г.Воронежа) : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.00.36 / Костылева Людмила Николаевна. – Воронеж, 2009. – 24 с.
90. Кочуров Б.И. Подходы к теории землеустройства / Б.И. Кочуров, Ю.Г. Иванов // Проблемы региональной экологии. – 1998. – № 3. – С. 114-121.
91. Кочуров Б.И. Пространственный анализ экологических ситуаций : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.11 / Кочуров Борис Иванович. – М., 1994. – 39 с.
92. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие : учеб. пособие / Б.И. Кочуров. – М., 2003. – 384 с.
93. Кошелева Н.Е. Геохимия ландшафтов Улан-Батора / Н.Е. Кошелева, Н.С. Касимов, О.И. Сорокина и др. // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 5. – С. 111-126.
94. Кошкарев А.В. Геоинформатика / А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов. – М. : Картгеоцентр Геодезиздат, 1993. – 213 с.
95. Крючков А.Н. Геоэкологический мониторинг промышленного центра с использованием дистанционных методов и ГИС-технологий : дис. ... канд. геогр. наук. : 25.00.36 / Крючков Андрей Николаевич. – СПб., 2012. – 184 с.
96. Кузьмина Д.А. Информационные системы поиска и оценки проектов в области радиоэкологии : дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.35 / Кузьмина Дарья Александровна. – М., 2006. – 168 с.
97. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных / А.П. Кулаичев. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 512 с.
98. Куролап С.А. Геоэкологические основы мониторинга и эколого-гигиеническое зонирование городской среды / С.А. Куролап, В.И. Федотов // Вестник Воронежского гос. университета. Серия География. Геоэкология. – 2000. – № 4. – С. 120-123.
99. Куролап С.А. К вопросу о взаимосвязях экологической ситуации с заболеваемостью детского населения в пределах урбанизированных территорий / С.А. Куролап, Н.Т. Барвitenко, В.Н. Агафонов // Проблема использования и захоронения производственных и бытовых отходов : тезисы научно-практ. конф. – Воронеж, 1993. – С. 47-48.
100. Куролап С.А. Медико-экологические аспекты оценки комфортности городской среды / С.А. Куролап, Н.Т. Барвitenко // Геоэкологические проблемы устойчивого развития городской среды. – Воронеж,

1996. – С. 154-156.

101. Куролап С.А. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды / С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков. – Воронеж: ВГУ, 2006. – 220 с.

102. Куролап С.А. Экологическая экспертиза и оценка риска здоровью / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, С.А. Епринцев. – Воронеж : Изд-во «Научная книга», 2012. – 108 с.

103. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / [В. А. Алексеев, О. Г. Чертов, С. А. Сергейчик и др.] / ; Под ред. В. А. Алексеева; АН СССР, Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова. – Ленинград : Наука : Ленингр. отд-ние, 1990. – 197 с.

104. Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова. – М. : Высшая школа, 1998. – 287 с.

105. Луканин В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда: учеб. пособие для вузов / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев. – М. : ИНФРА - N, 1998. – 408 с.

106. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование / И.К. Лурье. – М. : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2008. – 423 с.

107. Мазуров С.Ф. Комплексное геоинформационное картографирование административных и хозяйственных территорий и их структур (на примере Байкальского региона) : дис. ... канд. технич. наук : 25.00.33 / Мазуров Сергей Федорович. – Новосибирск, 2014. – 99 с.

108. Макаров В.З. Эколого-географическое картографирование городов / В.З. Макаров, Б.А. Новаковский, А.Н. Чумаченко. – М. : Научный мир, 2002. – 196 с.

109. Мамчик Н.П. Автоматизированное информационное обеспечение в оценке риска для здоровья населения / Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков, Е.А. Романова // Благополучная среда обитания – залог здоровья населения / Научные труды ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана – Воронеж, 2004. – Вып. 12. – С. 230-235.

110. Мамчик Н.П. Комплексный подход оценки состояния окружающей среды и риска для здоровья в системе обеспечения гигиенической безопасности населения / Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков, В.И. Чернов, П.В. Чернов // Прикладные информационные аспекты медицины. – Т2. – № 2. – Воронеж, 1999. – С. 6-11.

111. Марков Д.С. Геоинформационные технологии оценки качества городской среды / Д.С. Марков, Н.В. Яковенко. – Шуя: Изд-во ФГБОУ ВПО «ШГПУ», 2012. – 154 с.

112. Маслова М. О. Эколого-аналитическая оценка качества вод рекреационных зон Ближнего Подворонежья / М. О. Маслова, Т. И. Прожорина, Н. И. Якунина // Вестник Воронежского гос. университета. Серия

География. Геоэкология. – 2014. – №4. – С. 48-56.

113. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). – М.: Росэкология, 2003. – 25 с.

114. Милич В.Н. Построение цифровой картографической основы для муниципальных и региональных ГИС / В.Н. Милич, А.И. Мурынов // ГИС-Обзор. – 1998. – № 2. – С. 21-24.

115. Михайлов Н.И. Региональные проблемы природопользования / Н.И. Михайлов, И. Е. Тимашев, Л. Н. Щербакова. – М. : Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1996. – 152 с.

116. Михеева М.А. Оценка состояния городской среды по уровню асимметрии морфологических структур березы повислой (*Betula Pendula* Roth.) / М.А. Михеева, Е.В. Ульянова // География: история, современность, перспективы. К 90-летию юбилею Г.С. Гужина. – Краснодар, 2012. – С. 319-326.

117. Моисеев Д.В. Использование ГИС при проведении экологического мониторинга на шельфе Баренцева моря / Д.В. Моисеев // Нефть и газ арктического шельфа-2004 : Материалы межд. конф. (Мурманск). – Мурманск, 2004. – С. 205-207.

118. Мониторинг и методы контроля окружающей среды : учеб. пособие в двух частях. Часть 2. Специальная / Под ред. Ю.А. Афанасьев, С.А. Фомин, В.В. Меньшиков [и др.] – М. : Изд-во МНЭПУ, 2001. – 337 с.

119. Муртазов А.К. Экологический мониторинг. Методы и средства : учебное пособие. Часть 1 / А.К. Муртазов. – Рязань : Рязанский гос. университет им. С.А. Есенина, 2008. – 146 с.

120. Назаренко А.В. Классификация синоптических процессов в целях геоэкологического мониторинга воздушного бассейна / А.В. Назаренко // Вестник Воронежского гос. университета. Серия География. Геоэкология. – 2006. – №1. – С. 39-46.

121. Назаренко Н.Н. Биоиндикация почвы транспортных зон г.Воронежа / Н.Н. Назаренко, И.И.Корецкая, И.Д.Свистова // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия География. Геоэкология. – 2015. – №1. – С.46-50.

122. Негрбов О.П. Экологические основы оптимизации и управления городской средой. Экология города / О.П. Негрбов, Д.М. Жуков, Н.В. Фирсова. – Воронеж : ВГУ, 2000. – 271 с.

123. Никифорова Е.М. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских ландшафтов (на примере ВАО Москвы) / Е.М. Никифорова, Н.Е. Кошелева, И.А. Лабутина, Т.С. Хайбрахманов // ИнтерКарто/ИнтерГИС-17 Устойчивое развитие территорий : теория ГИС и практический опыт. Материалы межд. науч. конф. – 2011. – С. 248-254.

124. Николаева О.Н. Опыт применения ГИС в эколого-гигиеническом картографировании окружающей среды промышленного центра / О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова, О.А. Волкова // ИнтерКарто/ИнтерГИС-17 Устойчивое развитие территорий : теория ГИС и практический опыт. Материалы межд. науч. конф. – 2011. – С. 270-272.

125. Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды : Постановление Правительства РФ от 6 июня 2013 г. № 477 // Собрание законодательства Рос. Федерации. – 2013. – № 24. – Ст. 3000. – С. 85-94.

126. Онищенко Г.Г. Актуальные проблемы методологии оценки риска здоровью и ее роль в совершенствовании системы социально-гигиенического мониторинга / Г.Г. Онищенко // Гигиена и санитария – №2. – 2005. – С.3-6.

127. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений : Учебное пособие / М.Г. Опекунова. – СПб. : Изд-во С.-Петербургского университета, 2004. – 266 с.

128. Основы геоинформатики : в 2 т. / под ред. В.С. Тикунова. – М. : Академия, 2004. – 352 с. – 1 т.

129. Основы геоинформатики : в 2 т. / под ред. В.С. Тикунова. – М. : Академия, 2004. – 352 с. – 2 т.

130. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко [и др.]; под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М. : НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

131. Охрана окружающей среды на территории муниципальных образований : материалы Межрег. научно-практ. конф. / под ред. А.Т. Козлова [и др.]. – Воронеж : Кривичи, 2006. – 278 с.

132. Оценка риска для здоровья населения от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха в г. Клин (рабочий доклад) / О.В. Пономарева [и др.]. – М. : Консультат. центр по оценке риска, 1997. – 55 с.

133. Павлова Е.Н. Экология транспорта / Е.Н. Павлова, Ю.В. Буралев : учебник для вузов. – М. : Транспорт, 1998. – 232 с.

134. Плитман С.И. О комплексной оценке гигиенического неблагополучия территории / С.И. Плитман, Ю.В. Новиков, А.В. Тулакин // Гигиена и санитария. – 1996. – №3. – С. 36-38.

135. Постановление Администрации города Воронежа от 06.04.2004 N 531 "Об утверждении улично-дорожной сети города Воронежа" (вместе с "Положением о присвоении категориям улиц и автомобильных дорог города Воронежа шифров и кодов"). – Воронеж, 2004. – 179 с.

136. Почва, город, экология / под общ. ред. Г.В. Добровольского. – М. : Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 320 с.

137. Практикум по агрохимии : учеб. пособие / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, О. А. Амелянчик и др. ; МГУ им. М.В. Ломоносова, Фак. почвоведения ; Под ред. В.Г. Минаева . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2001. – 687с.
138. Прожорина Т.И. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа по состоянию снежного покрова / Т.И. Прожорина, Н.И. Якунина // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 1(27). – С. 111-114.
139. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и природопользование в России / В.Ф. Протасов, А.В. Молчанов. – М. : Финансы и статистика, 1995. – 525 с.
140. Прохоров Б.Б. Медико-демографическая ситуация в России и состояние окружающей среды / Б.Б. Прохоров, Б.А. Ревич // Рабочие доклады ИПЗ РАН. – М., 1992. – С. 6-25.
141. Прохоров Б.Б. Экология человека и территориально дифференцированная политика. / Б.Б. Прохоров // Прогнозное социальное проектирование и город. – М., 1995. – кн. 1. – С. 89-101.
142. Пых Ю.А. Об оценке состояния окружающей среды / Ю.А. Пых, И.Г. Малкина-Пых // Экология. – 1996. – № 5. – С. 323-329.
143. Ратанова М.П. Медико-географические аспекты загрязнения воздушного бассейна крупной городской агломерации (методические подходы к выявлению зон повышенной опасности) / М.П. Ратанова, И.П. Петрова, Л.С. Остапенко и др. // Урбоэкология. – М., 1990. – С. 134-132.
144. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (РД 52.04.186-89). - М. : Минздрав СССР, 1991. – 768 с.
145. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04). – М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
146. Савинцева Л.С. Оценка урбаносреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой / Л.С. Савинцева, Т.Л. Егошина // Вестник Удмуртского университета. – 2012. – Вып. 3. – С. 31-37.
147. Саэт Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин [и др.] – М. : Недра, 1990. – 335 с.
148. Салищев К.А. Картография : учебник / К.А. Салищев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.
149. Семашко К.И. Некоторые закономерности распределения ветрового потока / К.И. Семашко // Оздоровление окружающей среды городов. – М., 1973. – С. 99-108.
150. Сиденко А.В. Теория статистики / А.В. Сиденко, В.В. Вишняков, С.М. Исаев. – М. : МАКС Пресс, 2011. – 462 с.

151. Скрипальщикова Л.Н. Биоиндикационные показатели стабильности развития насаждений в нарушенных ландшафтах / Л.Н. Скрипальщикова, В.В. Стасова // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 2. – С. 62-72.
152. Сладкопевцев С.А. Геоэкологическая картография / С.А. Сладкопевцев. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1996. – 108 с.
153. Соболева С.В. Оценка сезонных накоплений тяжелых металлов в коре тополя различных районов г. Красноярска / С.В. Соболева, Л.И. Ченцова, И.С. Почекутов // Вестник Красноярского гос. аграрного университета. – 2011. – № 12. – С. 144-148.
154. Сорокина О.И. Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан-Батора: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. : 25.00.23 / Сорокина Ольга Игоревна. – М., 2013. – 24 с.
155. Социально-гигиенический мониторинг в Воронежской области. Информационно-аналитические аспекты / М.И. Чубирко, Н.П. Мамчик, С.А. Куролап [и др.] – Воронеж : ВГУ, 1997. – 364 с.
156. Стурман В.И. Экологическое картографирование: учеб. пособие / В.И. Стурман. – М. : Аспект-Пресс, 2003. – 251 с.
157. Тигеев А.А. Структура региональной экологической ГИС Тюменской области / А.А. Тигеев // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2009. – № 10. – С. 210-213.
158. Тикунов В.С. Устойчивое развитие территории: картографо-геоинформационное обеспечение / В.С. Тикунов, Д.А. Цапук. – М.-Смоленск : Изд-во СГУ, 1999. – 176 с.
159. Трифонова Т.А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях: учеб. пособие для вузов по экологическим специальностям / Т.А. Трифонова, Н.В. Мищенко, А.Н. Краснощеков. – М. : Академический проект, 2005. – 352 с.
160. Трофименко Ю.В. Экология: Транспортные сооружения и окружающая среда / Ю.В. Трофименко, Г.И. Евгеньев. – М.: «Академия», 2006. – 400 с.
161. Туровцев В.Д. Биоиндикация : учебное пособие / В.Д. Туровцев, В.С. Краснов. – Тверь : Тверской гос. университет, 2005. – 260 с.
162. Умывакин В.М. Графо-аналитический подход к экологическому картированию (районированию) и его программная реализация / В.М. Умывакин // Методология экологического нормирования : тез. докл. Всесоюз. конф., 16-21 апр. 1990г. – Харьков, 1990. – С. 185-186.
163. Федорова А.И. Причины суховершинности и усыхания пирамидальных тополей в г. Воронеже / А. И. Федорова, Е. В. Шунелько, М.А. Михеева // Вестник Воронежского гос. университета. Серия Химия. Биология. Фармация. – 2010. – № 1. – С. 106-114.

164. Федотов В.И. Региональные модели карт комфортности природной среды / В.И. Федотов, К.С. Затулей, Ю.А. Нестеров // Вестник Воронежского гос. университета. Серия География. Геоэкология. – 2001. – №1. – С. 3-15.
165. Хайбрахманов Т.С. Картографическая база данных по качеству городской среды (на примере Восточного административного округа г. Москвы) // Инженерные изыскания. – 2012. – № 11. – С. 42-49.
166. Хузина Г.Р. Характеристика флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа липы мелколистной (*Tilia cordata* L.) / Г.Р. Хузина // Вестник Удмуртского университета. – 2011. – Вып. 3. – С. 47-52.
167. Черкашин А.К. Геоинформационная система управления территорией / А.К. Черкашин, А.Д. Китов, И.В. Бычков и др. – Иркутск : Иркутск : Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2002. – 151 с.
168. Чубирко М.И. Методические подходы к разработке социально-гигиенического мониторинга / М.И. Чубирко // Современные гигиенические проблемы охраны окружающей среды и здоровья населения в регионах России. – Воронеж, 1997. – С. 111-113.
169. Чубирко М.И. Химическое воздействие воздушной среды и здоровье населения / М.И. Чубирко, Н.М. Пичужкина; под ред. акад. РАМН, проф. А.И. Потапова. - Воронеж: Изд-во «Истоки», 2004. – 224 с.
170. Швер Ц.А. Климат Воронежа / Ц.А. Швер, С.А. Павлов. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 104 с.
171. Шумилова М.А. Исследование загрязненности снежного покрова на примере города Ижевска / М.А. Шумилова, О.В. Садиуллина, В.Г. Петров // Вестник Удмуртского университета. Серия Физика. Химия – 2012. – Вып. 2. – С. 83-89.
172. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. – М. : Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1995. – 336 с.
173. Экологическая оценка и картографирование состояния городской среды : Сб. науч. статей / Под общ. ред. С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. – Воронеж, 2014. – 167 с.
174. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира / И.П.Герасимов; отв. ред.: А.Л. Яншин; АН СССР, Ин-т географии. – М. : Наука, 1985. – 247 с.
175. Экология, охрана природы и экологическая безопасность / Под общ. ред. В.И. Данилова-Данильяна. – М. : Изд-во МНЭПУ, 1997. – 744 с.
176. Экология человека : учебное пособие / Под ред. Б.П. Прохорова. – М. : Изд-во МНЭПУ, 2001. – 440 с.
177. Эколого-аналитические методы исследования окружающей среды: учебное пособие / Т.И. Прожорина, Н.В. Каверина, А.Н. Никольская [и др.]. – Воронеж: Истоки, 2010. – 304 с.

178. Эколого-гигиенические основы мониторинга и охраны городской среды / Н.П. Мамчик С.А. Куролап, О.В. Клепиков [и др.]. – Воронеж: ВГУ, 2002. – 332 с.
179. Якушев А.Б. Геоэкологический аспект проектирования автомобильных дорог в городских условиях / А.Б. Якушев, С.А. Куролап // Вестник Воронежского гос. университета. Серия География. Геоэкология. – 2011. – № 1. – С. 111-117.
180. Якушев А.Б. Экологическая оценка воздействия автотранспорта на воздушный бассейн городов Центрального Черноземья / А.Б. Якушев, С.А. Куролап, М.А. Карпович. – Воронеж : Изд-во «Научная книга», 2013. – 207 с.
181. Ямашкин А.А. Геоэкологический анализ хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии / А.А. Ямашкин. – Саранск : Изд-во Мордов. университета, 2001. – 232 с.
182. Barr R. Data, information and knowledge in GIS / R. Barr // GIS Europe. - Mar., 1996. - V.5. - N.3. - P. 14-15.
183. Bityukov N.A. GIS-based Environmental Monitoring of Mountain Forest Ecosystems in Protected Areas / N.A. Bityukov, N.M. Pestereva, L.M. Shagarov // European Researcher. – 2012. – Vol. 27. – № 8-2. – P. 1293-1297.
184. Burden F.R. Environmental monitoring handbook / F.R. Burden, D. Donnert, T. Godish, I. McKelvie – McGraw-Hill Companies, 2004. – 629 p.
185. Environmental Information Systems in Russian Federation. An OECD Assessment. – Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 1996. – P. 3-15.
186. Global Environment Outlook. – N.Y.-Oxford : Oxford University Press, 1997. – 264 p.
187. Goodchild, M.F. Geographical information science / M.F. Goodchild // Int. J. Geogr. Inform. Systems. – 1992. – Vol. 6. – № 1. – P. 31-45.
188. Green, Y.M. Retrieving the human place in nature / Y.M. Green // Environmental ethics. – 1995. – Vol. 17. – № 4. – P. 381-396.
189. Integrated Risk Information System (IRIS). – Cincinnati : US.EPA, 1997. – P. 257-263.
190. Kolejka J. Physical geography and crisis management – a topical challenge for applied geographic research / J. Kolejka // Moravian geographical Reports – 2007. – Vol. 15. – № 3. – P. 11-24.
191. Kondratyev K. Ya. Finding a solution for pollution / K. Ya. Kondratyev, L. P. Bobylev, V. K. Donchenko // GIS Europe. – 1996. – Vol. 5. – № 8.
192. Learmonth, A. Disease Ecology: an introduction / A. Learmonth. – Oxford : Basil Blackwell Ltd, 1988. – 456 p.

193. Melville N.P. Information systems innovation for environmental sustainability / N.P. Melville, S.M. Ross // MIS Quarterly. – 2010. – Vol. 34. – №. 1. – P. 1-21.
194. Perle, E.D. Structural change in urban ecology / E.D. Perle // 27th Int. Geogr. Congr. – Washington (D.C.), 1992. – P. 498-499.
195. Pfirman S. Complex Environmental Systems; Synthesis for Earth, Life and Society in the 21st Century. A report summarizing a 10-year outlook for the National Science Foundation / Pfirman S. – NSF Advisory Committee for Environmental Research and Education, 2003. – 68 p.
196. Present-day landscapes of the World (1:15 000 000). – M., 1993.
197. Thomas, K.M. Geomedical systems: intervention and control / K.M. Thomas. – London : Routledge, 1992. – 287 p.
198. Wilson R. Simple Area Source Algorithm for Risk Assessment Screening / R. Wilson // Memorandum to P. Cirrone. – 1990. – P. 135-137.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1.** Перечень статистических показателей геоинформационной системы «ЭКОГИС города Воронежа».

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2.** Основные промышленные и транспортные вкладчики в загрязнение атмосферы города Воронежа.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

### Перечень статистических показателей геоинформационной системы «ЭКОГИС города Воронежа»

№ п/п	Наименование	Единицы измерения	Первичный источник или расчетная формула
<b>ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ</b>			
<b>1</b>	<b><i>Промышленные объекты/стационарные источники/</i></b>		
1.1	суммарный выброс загрязняющих веществ (ЗВ) 1 класса опасности	т/год и % от общегородского выброса ЗВ	Управление Росприроднадзора по Воронежской области, расчетные данные авторов /С.А. Куролап, О.В. Клепиков, П.М. Виноградов/
1.2	суммарный выброс загрязняющих веществ (ЗВ) 2 класса опасности		
1.3	суммарный выброс загрязняющих веществ (ЗВ) 3 класса опасности		
1.4	суммарный выброс загрязняющих веществ (ЗВ) 4 класса опасности		
1.5	суммарный выброс загрязняющих веществ (ЗВ), обладающих канцерогенным эффектом (СР)		
1.6	суммарный выброс загрязняющих веществ (ЗВ) /все классы опасности/		
<b>2</b>	<b><i>Транспортные сооружения (улично-дорожная сеть)</i></b>		
2.1	интенсивность движения легковых автомобилей	автомобилей/час	расчетные данные авторов с использованием материалов А.Б. Якушева с соавт. (2013) [180] и Постановления Администрации г. Воронежа (2004) [135] /П.М. Виноградов/
2.2	интенсивность движения грузовых автомобилей		
2.3	интенсивность движения автобусов		
<b>ПАРАМЕТРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ</b>			
<b>3</b>	<b><i>Атмосфера</i></b>		
3.1	оксид углерода	мг/м <sup>3</sup>	ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» и ГУ «Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»
3.2	оксид серы IV (диоксид серы)		

Продолжение приложения 1

№ п/п	Наименование	Единицы измерения	Первичный источник или расчетная формула
3.3	оксид азота IV (диоксид азота)	мг/м <sup>3</sup>	ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» и ГУ «Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»
3.4	формальдегид		
3.5	пыль (взвешенные вещества)		
3.6	свинец		
3.7	сажа (углерод)		
3.8	фенол		
3.9	оксид марганца IV		
3.10	оксид железа III		
3.11	оксид хрома VI		
3.12	меди оксид		
3.13	1,3-бутадиен		
3.14	озон		
3.15	акролеин		
3.16	стирол (этинилбензол)		
<b>4</b>	<b><i>Снежный покров</i></b>		
4.1	Ca <sup>2+</sup>	мг/л	полевые и лабораторные исследования авторов /под руководством Т.И. Прожориной/
4.2	Mg <sup>2+</sup>		
4.3	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
4.4	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
4.5	Cl <sup>-</sup>		
4.6	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
4.7	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		
4.8	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
4.9	кадмий		
4.10	свинец		
4.11	медь		
4.12	цинк		
4.13	взвешенные вещества		
4.14	минерализация		
4.15	общая жесткость		
4.16	водородный показатель (рН)	-	
<b>5</b>	<b><i>Почва</i></b>		
5.1	никель (подвижная форма)	мг/кг	ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» с дополнениями авторов /Л.О. Середа, Л.А. Яблонских/
5.2	медь (подвижная форма)		
5.3	цинк (подвижная форма)		
5.4	марганец (подвижная форма)		
5.5	хром (подвижная форма)		

Продолжение приложения 1

№ п/п	Наименование	Единицы измерения	Первичный источник или расчетная формула
5.6	свинец (подвижная форма)	мг/кг	ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» с дополнениями авторов /Л.О. Серeda, Л.А. Яблонских/
5.7	кадмий (подвижная форма)		
5.8	бенз(а)пирен		
5.9	нефтепродукты		
5.10	водородный показатель (рН)		
<b>БИОТИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ КРИТЕРИИ («ИНДИКАТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ»)</b>			
<b>6</b>	<i><b>Древесные растения</b></i>		
6.1	интегральный показатель стабильности развития березы повислой	безразмерный относительный показатель	полевые исследования и аналитические измерения авторов /М.А. Клевцова, П.М. Виноградов/
6.2	интегральный показатель стабильности развития тополя пирамидального		
<b>7</b>	<i><b>Заболеваемость детского населения</b></i>		
7.1	общая заболеваемость	число случаев на 1000 детей	ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»
7.2	инфекционные и паразитарные болезни		
7.3	новообразования		
7.4	болезни эндокринной системы, расстройства питания		
7.5	заболевания крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм		
7.6	болезни нервной системы		
7.7	болезни органов дыхания		
7.8	болезни органов пищеварения		
7.9	болезни мочеполовой системы		
7.10	болезни кожи и подкожной клетчатки		
7.11	болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани		
7.12	болезни системы кровообращения		
7.13	болезни перинатального периода		
7.14	врожденные аномалии		
7.15	травмы и отравления		

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

### Основные промышленные и транспортные вкладчики в загрязнение атмосферы города Воронежа ( $I_{\text{сумм}} > 0,1$ % от общегородского выброса)

#### 2.1. Промышленные вкладчики

№	Наименование предприятия	Индексы опасности выбросов загрязняющих веществ от промышленных вкладчиков (% от общегородского выброса)						
		$I_{1\text{кл}}^*$	$I_{2\text{кл}}$	$I_{3\text{кл}}$	$I_{4\text{кл}}$	$I_{\text{сумм}}$	$I_{\text{CR}}^{**}$	$I_{\text{прм}}$
1	ООО «Воронежские дрожжи»	<0,01	0,04	0,16	0,14	0,34	<0,01	0,14
2	ЗАО «Воронежский шинный завод»	<0,01	0,07	0,33	0,68	1,08	0,14	0,38
3	ЗАО «ВПЖТ»	<0,01	0,01	0,11	0,02	0,14	<0,01	0,07
4	ООО «Пром-Нефть-Сервис»	<0,01	0,01	<0,01	0,30	0,31	0,01	0,08
5	ОАО «Квадра» ТЭЦ-1	<0,01	5,30	24,33	12,89	42,51	0,20	18,92
6	ОАО «Квадра» ТЭЦ-2	<0,01	0,01	7,65	2,88	10,54	<0,01	4,55
7	«ВМЗ» - филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»	<0,01	0,01	1,09	1,63	2,73	0,04	0,96
8	ОАО «Электроприбор»	<0,01	0,02	0,17	0,29	0,48	0,07	0,17
9	ОАО «Воронежсинтезкаучук» - Основное производство	0,01	0,27	1,23	3,75	5,26	0,28	1,74
10	ОАО «Воронежсинтезкаучук» - Цех Д-1 – склад дивинила	<0,01	<0,01	0,01	0,13	0,14	<0,01	0,04
11	ОАО «Воронежсинтезкаучук» - Цех №61 – очистные сооружения	<0,01	0,02	<0,01	0,42	0,45	0,02	0,12
12	ООО Производственная компания «Ангстрем» площадка №1	<0,01	0,01	0,47	0,34	0,82	0,04	0,33
13	ЗАО «Воронежстальмост»	<0,01	0,01	1,28	0,90	2,19	0,03	0,87
14	ОАО ПКФ «Воронежский керамический завод»	<0,01	<0,01	0,93	1,80	2,74	<0,01	0,92
15	ОАО «Тобус»	<0,01	<0,01	0,08	0,25	0,34	0,01	0,10
16	Ремонтное локомотивное депо Воронеж	<0,01	<0,01	0,02	0,11	0,13	0,03	0,04
17	ОАО завод «Водмашоборудование»	<0,01	<0,01	0,54	0,51	1,05	0,01	0,40
18	Филиал ОАО «Пивоваренная компания «Балтика» – «Балтика-Воронеж»	<0,01	<0,01	0,07	0,18	0,25	<0,01	0,08

Продолжение приложения 2.1

№	Наименование предприятия	Индексы опасности выбросов загрязняющих веществ от промышленных вкладчиков (% от общегородского выброса)						
		И <sub>1кл</sub> *	И <sub>2кл</sub>	И <sub>3кл</sub>	И <sub>4кл</sub>	И <sub>сумм</sub>	И <sub>СР</sub> **	И <sub>прм</sub>
19	Филиал ОАО «ВЕРО-ФАРМ» в г. Воронеже - Промплощадка № 1	<0,01	<0,01	0,04	0,46	0,50	0,30	0,13
20	ОАО «Воронежская кондитерская фабрика»	<0,01	<0,01	0,07	0,19	0,26	<0,01	0,08
21	ОАО «Воронежский экспериментальный комбикормовый завод»	<0,01	<0,01	0,11	0,03	0,14	<0,01	0,06
22	ОАО «Хлебозавод № 5»	<0,01	<0,01	0,03	0,08	0,11	<0,01	0,03
23	ЗАО «Воронеж-Терминал»	<0,01	0,04	0,06	1,77	1,87	0,04	0,50
24	ОАО «Хлебозавод № 7»	<0,01	<0,01	0,07	0,27	0,34	<0,01	0,10
25	ОАО Молочный комбинат «Воронежский»	<0,01	<0,01	0,10	0,20	0,30	<0,01	0,10
26	ОАО «Хлебозавод № 2»	<0,01	<0,01	0,06	0,22	0,28	0,01	0,08
27	ОАО ХК «Мебель Черноземья»	<0,01	<0,01	0,05	0,12	0,18	<0,01	0,05
28	Воронежский ТРЗ ОАО «Желдорремаш»	<0,01	0,01	0,66	0,97	1,63	0,07	0,57
29	Воронежский филиал ФГУП "НИИСК"	<0,01	0,03	0,12	0,22	0,37	0,03	0,14
30	ООО «Машмет»	<0,01	<0,01	0,29	0,21	0,50	0,02	0,20
31	ООО «ТеплоДом» площадка №2	<0,01	<0,01	0,13	0,25	0,38	<0,01	0,13
32	ОАО "Золотой колос"	<0,01	0,02	0,01	0,12	0,15	<0,01	0,05
33	ФГКУ комбинат «Красное знамя»	<0,01	<0,01	0,01	0,22	0,23	0,01	0,06
34	ОАО «Хлебозавод №1»	<0,01	<0,01	0,05	0,11	0,17	<0,01	0,05
35	ОАО «ВАСО»	<0,01	0,05	1,47	2,12	3,63	0,26	1,29
36	ООО « Мебель Плюс» площадка №1	<0,01	0,01	0,17	0,47	0,65	0,03	0,21
37	ОАО «Электросигнал»	<0,01	<0,01	0,32	0,38	0,70	0,02	0,26
38	ООО «РАСКО» Воронежский стеклотарный завод	<0,01	0,01	4,97	0,32	5,30	0,03	2,57

Продолжение приложения 2.1

№	Наименование предприятия	Индексы опасности выбросов загрязняющих веществ от промышленных вкладчиков (% от общегородского выброса)						
		И <sub>1кл</sub> *	И <sub>2кл</sub>	И <sub>3кл</sub>	И <sub>4кл</sub>	И <sub>сумм</sub>	И <sub>CR</sub> **	И <sub>прм</sub>
39	ООО «Европак»	<0,01	<0,01	0,05	0,10	0,14	<0,01	0,05
40	ООО «Левобережные очистные сооружения»	<0,01	0,01	0,05	0,86	0,93	0,01	0,25
41	ОАО "Завод по выпуску тяжелых механических прессов"	<0,01	0,01	0,58	1,63	2,22	0,07	0,70
42	МКП «Воронежтеплосеть» промплощадка №1	<0,01	<0,01	0,04	0,09	0,13	<0,01	0,04
43	МКП «Воронежтеплосеть» промплощадка №89	<0,01	<0,01	0,97	0,26	1,23	<0,01	0,55
44	МКП «Воронежтеплосеть» промплощадка №95	<0,01	<0,01	0,25	0,10	0,35	<0,01	0,15
45	МКП «Воронежтеплосеть» промплощадка №114	<0,01	<0,01	0,50	0,16	0,66	<0,01	0,29
46	МКП «Воронежтеплосеть» промплощадка №118	<0,01	<0,01	1,37	0,38	1,75	0,02	0,78
47	МКП «Воронежтеплосеть» промплощадка №126	<0,01	<0,01	0,22	0,09	0,30	<0,01	0,13
48	МКП «Воронежтеплосеть» промплощадка №131	<0,01	<0,01	0,40	0,13	0,53	0,01	0,23
49	МКП «Воронежтеплосеть» промплощадка №132	<0,01	<0,01	0,29	0,07	0,36	0,01	0,16
<b>Итого</b>		<b>0,01</b>	<b>6,0</b>	<b>51,4</b>	<b>39,8</b>	<b>97,2</b>	<b>1,8</b>	<b>39,9</b>

\*) Загрязняющие вещества 1 класса опасности: кадмий сульфат; никель растворимые соли; никель сульфат; ртуть металлическая; свинец и его соединения; хром (хром шестивалентный); пентан; озон; борофтористоводородная кислота; бенз(а)пирен (3,4-бензпирен); бутил хлористый (1-хлорбутан); винилхлорид; тетрахлорметан; диамид угольной кислоты; гидразин гидрат; эмульсол; сульфоэтоксилаты натрия C10-C13; пыль латуни; пыль полиметаллическая.

\*\*\*) Загрязняющие вещества с установленным канцерогенным эффектом, присутствующие в выбросах загрязняющих веществ от стационарных источников: кадмий сульфат; свинец и его соединения; хром (хром шестивалентный); бенз(а)пирен (3,4-бензпирен); формальдегид; сажа; стирол; бензол; этилбензол; трихлорэтилен; эпихлоргидрин; ацетальдегид; акрилонитрил; бензин; масло минеральное нефтяное; пыль древесная; 1,3-бутадиен; мышьяк; никель и его соединения.

## 2.2. Транспортные вкладчики

№	Наименование улицы	Кате- гория	Интенсивность движения (автомобилей/час)			Суммарная интен- сивность движения
			легко- вые	грузо- вые	автобу- сы	
1	ул. 20 лет ВЛКСМ	3А	169	32	16	217
2	ул. 20 лет Октября	2Б	2188	272	278	2738
3	ул. 25 Октября	2Г	948	63	3	1014
4	ул. 30 лет Октября	3Г	61	16	0	77
5	ул. 3 Интернационала	3А	169	32	16	217
6	ул. 45 Стрелковой дивизии	2Б	2188	272	278	2738
7	ул. 60 Армии	2Г	948	63	3	1014
8	ул. 60 лет ВЛКСМ	3Г	61	16	0	77
9	ул. 9 Января	2Б	2188	272	278	2738
10	ул. Антонова-Овсеенко	1Б	1694	802	91	2587
11	ул. Арзамасская	3Г	61	16	0	77
12	ул. Артамонова	3Г	61	16	0	77
13	ул. Багрицкого	3Г	61	16	0	77
14	ул. Базовая	3Б	938	63	8	1009
15	пер. Балтийский	3Д	52	5	0	57
16	ул. Баррикадная	3Г	61	16	0	77
17	ул. Бахметьева	3Б	938	63	8	1009
18	ул. Беговая	2В	816	128	86	1030
19	ул. Березовая Роща	3В	98	7	0	105
20	ул. Бехтерева	3Г	61	16	0	77
21	ул. Богдана Хмельницкого	2Б	2188	272	278	2738
22	ул. Большая Манежная	2В	816	128	86	1030
23	ул. Большая Стрелецкая	3А	169	32	16	217
24	пер. Ботанический	3Д	52	5	0	57
25	ул. Брусилова	2Б	2188	272	278	2738
26	ул. Брянская	3Г	61	16	0	77
27	ул. Варейкиса	3А	169	32	16	217
28	ул. Верещагина	3А	169	32	16	217
29	ул. Веры Фигнер	3Г	61	16	0	77
30	ул. Витрука	3Б	938	63	8	1009
31	ул. Вл. Невского	2Б	2188	272	278	2738
32	ул. Вокзальная	3Г	61	16	0	77
33	ул. Волгоградская	2Б	2188	272	278	2738
34	ул. Володарского	3А	169	32	16	217
35	ул. Волоколамская	3В	98	7	0	105
36	ул. Ворошилова	2Б	2188	272	278	2738
37	ул. Газовая	3А	169	32	16	217
38	ул. Генерала Лизюкова	2Б	2188	272	278	2738
39	ул. Героев Сибиряков	2Б	2188	272	278	2738

Продолжение приложения 2.2

№	Наименование улицы	Кате- гория	Интенсивность движения (автомобилей/час)			Суммарная интен- сивность движения
			легко- вые	грузо- вые	автобу- сы	
40	ул. Героев Стратосферы	2Б	2188	272	278	2738
41	ул. Гора Металлистов	3Г	61	16	0	77
42	ул. Грамши	2Б	2188	272	278	2738
43	ул. Грибоедова	3Г	61	16	0	77
44	ул. Дарвина	3Г	61	16	0	77
45	ул. Деповская	3Д	52	5	0	57
46	ул. Депутатская	3Г	61	16	0	77
47	ул. Димитрова	2Б	2188	272	278	2738
48	ул. Домостроителей	2В	816	128	86	1030
49	ул. Донбасская	2В	816	128	86	1030
50	ул. Дорожная	2Б	2188	272	278	2738
51	ул. Еремеева	3Б	938	63	8	1009
52	ул. Жигулевская	3Г	61	16	0	77
53	ул. Землячки	2В	816	128	86	1030
54	ул. Ильюшина	1Б	1694	802	91	2587
55	ул. Калининградская	2Б	2188	272	278	2738
56	ул. Карла Либкнехта	3А	169	32	16	217
57	ул. Карла Маркса	2Б	2188	272	278	2738
58	ул. Карпинского	2В	816	128	86	1030
59	ул. Кирова	2Б	2188	272	278	2738
60	ул. Колесниченко	2В	816	128	86	1030
61	ул. Кольцовская	2Б	2188	272	278	2738
62	ул. Комиссаржевской	2В	816	128	86	1030
63	ул. Коммунаров	2В	816	128	86	1030
64	ул. Конструкторов	3Б	938	63	8	1009
65	ул. Космонавтов	2Б	2188	272	278	2738
66	ул. Красноармейская	2В	816	128	86	1030
67	ул. Краснодонская	3А	169	32	16	217
68	ул. Краснознаменная	2В	816	128	86	1030
69	ул. Красный Октябрь	3Г	61	16	0	77
70	ул. Кривошеина	3А	169	32	16	217
71	ул. Куйбышева	2В	816	128	86	1030
72	ул. Куколкина	3В	98	7	0	105
73	ул. Кулибина	3Д	52	5	0	57
74	ул. Куцыгина	3В	98	7	0	105
75	ул. Лебедева	2Б	2188	272	278	2738
76	пл. Ленина	2Б	2188	272	278	2738
77	ул. Ленина	1Б	1694	802	91	2587
78	ул. Ленинградская	2Б	2188	272	278	2738
79	пр-кт Ленинский	2Б	2188	272	278	2738
80	ул. Лидии Рябцевой	3Г	61	16	0	77

Продолжение приложения 2.2

№	Наименование улицы	Кате- гория	Интенсивность движения (автомобилей/час)			Суммарная интен- сивность движения
			легко- вые	грузо- вые	автобу- сы	
81	ул. Ломоносова	2В	816	128	86	1030
82	наб. Максима Горького	3А	169	32	16	217
83	ул. Малаховского	3Б	938	63	8	1009
84	ул. Маршака	2В	816	128	86	1030
85	ул. Маршала Жукова	2Б	2188	272	278	2738
86	ул. Маршала Неделина	3А	169	32	16	217
87	ул. Матросова	2Б	2188	272	278	2738
88	ул. Машиностроителей	2В	816	128	86	1030
89	ул. Менделеева	2Б	2188	272	278	2738
90	ул. Минская	3Б	938	63	8	1009
91	ул. Моисеева	2В	816	128	86	1030
92	проезд Монтажный	3Д	52	5	0	57
93	пр-кт Московский	2Б	2188	272	278	2738
94	ул. Народная	3Г	61	16	0	77
95	ул. Никитинская	2В	816	128	86	1030
96	ул. Новосибирская	2Б	2188	272	278	2738
97	ул. Одесская	3А	169	32	16	217
98	ул. Орджоникидзе	3А	169	32	16	217
99	ул. Острогжская	2В	816	128	86	1030
100	ул. Остужева	2Б	2188	272	278	2738
101	пер. Отличников	2Б	2188	272	278	2738
102	ул. Панфилова	2В	816	128	86	1030
103	пр-кт Патриотов	2Б	2188	272	278	2738
104	ул. Переверткина	3Г	61	16	0	77
105	ул. Песчаная	3Г	61	16	0	77
106	ул. Петровская Набережная	3Г	61	16	0	77
107	ул. Пешестрелецкая	2В	816	128	86	1030
108	бульв. Пионеров	3А	169	32	16	217
109	ул. Пирогова	2В	816	128	86	1030
110	ул. Плехановская	2Б	2188	272	278	2738
111	бульв. Победы	1Б	1694	802	91	2587
112	пер. Полтавский	3Г	61	16	0	77
113	ул. Пушкинская	2В	816	128	86	1030
114	ул. Пятницкого	3А	169	32	16	217
115	пр-кт Рабочий	3Г	61	16	0	77
116	пр-кт Революции	2Б	2188	272	278	2738
117	ул. Революции 1905года	2В	816	128	86	1030
118	ул. Розы Люксембург	3Б	938	63	8	1009
119	ул. Ростовская	2В	816	128	86	1030
120	ул. Саврасова	3Г	61	16	0	77

Продолжение приложения 2.2

№	Наименование улицы	Категория	Интенсивность движения (автомобилей/час)			Суммарная интен- сивность движения
			легко- вые	грузо- вые	автобу- сы	
121	ул. Сакко и Ванцетти	2В	816	128	86	1030
122	ул. Свободы	2В	816	128	86	1030
123	ул. Семилукская	3Г	61	16	0	77
124	ул. Серафимовича	3Б	938	63	8	1009
125	ул. Серова	3Г	61	16	0	77
126	ул. Советская	3А	169	32	16	217
127	ул. Солнечная	2В	816	128	86	1030
128	ул. Софьи Перовской	3Г	61	16	0	77
129	ул. Среднемосковская	2В	816	128	86	1030
130	ул. Станкевича	3А	169	32	16	217
131	ул. Стар. Большевиков	3Б	938	63	8	1009
132	ул. Степана Разина	2Б	2188	272	278	2738
133	ул. Студенческая	3А	169	32	16	217
134	ул. Суворова	3Г	61	16	0	77
135	ул. Тамбовская	3Г	61	16	0	77
136	ул. Танеева	3Г	61	16	0	77
137	ул. Таранченко	3А	169	32	16	217
138	ул. Театральная	2В	816	128	86	1030
139	ул. Текстильщиков	3Б	938	63	8	1009
140	ул. Тимирязева	2Г	948	63	3	1014
141	ул. Транспортная	2В	816	128	86	1030
142	пр-кт Труда	2Б	2188	272	278	2738
143	ул. Урицкого	2В	816	128	86	1030
144	ул. Фридриха Энгельса	2В	816	128	86	1030
145	ул. Холмистая	3Б	938	63	8	1009
146	ул. Хользунова	2Б	2188	272	278	2738
147	ул. Циолковского	3Б	938	63	8	1009
148	ул. Чапаева	2В	816	128	86	1030
149	ул. Челюскинцев	3А	169	32	16	217
150	ул. Шишкова	1Б	1694	802	91	2587
151	ул. Электросигнальная	2В	816	128	86	1030
152	ул. Южно-Моравская	2В	816	128	86	1030

## ОБ АВТОРАХ

**Куролап Семен Александрович** – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета (skurolap@mail.ru).

**Клепиков Олег Владимирович** – доктор биологических наук, профессор, заведующий отделением информационных технологий ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», профессор кафедры инженерной экологии Воронежского государственного университета инженерных технологий (klepa1967@rambler.ru).

**Виноградов Павел Михайлович** – кандидат географических наук, преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета (vinpaul89@gmail.com).

**Прожорина Татьяна Ивановна** – кандидат химических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета (coriandre@rambler.ru).

**Клевцова Марина Александровна** – кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета (klevtsova@geogr.vsu.ru).

**Яблонских Лидия Александровна** – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и земельных ресурсов Воронежского государственного университета (lidij-jblonskikh@yandex.ru).

**Акимов Леонид Мусамудинович** – кандидат географических наук, заведующий кафедрой природопользования Воронежского государственного университета (akl63@bk.ru).

**Середа Людмила Олеговна** – аспирантка кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета (ivlud@yandex.ru).

**Маслова Марина Олеговна** – аспирантка кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета (mirummo@gmail.com).

*Научное издание*

**Куролап Семен Александрович  
Клепиков Олег Владимирович  
Виноградов Павел Михайлович  
Прожорина Татьяна Ивановна  
Клевцова Марина Александровна  
Яблонских Лидия Александровна  
Акимов Леонид Мусамудинович  
Середа Людмила Олеговна  
Маслова Марина Олеговна**

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

*Монография*

Общая редакция и компьютерная верстка  
С.А. Куролапа и О.В. Клепикова

---