

На правах рукописи



Неврюев Александр Михайлович

**ОЦЕНКА АТМОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
И СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ
К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ЛАНДШАФТНО-
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА (НА ПРИМЕРЕ Г. САРАТОВА)**

Специальность 1.6.21. Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Саратов 2025

Диссертационная работа выполнена на кафедре физической географии и ландшафтной экологии географического факультета ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского»

Научный руководитель: **Макаров Владимир Зиновьевич**
доктор географических наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», декан географического факультета, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтной экологии (г. Саратов)

Официальные оппоненты: Ямашкин Анатолий Александрович, доктор географических наук, профессор, директор Института геоинформационных технологий и географии ФГБОУ ВО МГУ им. Н. П. Огарева (г. Саранск)

Решетников Михаил Владимирович, кандидат географических наук, начальник отдела Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» (г. Когалым)

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «АГУ им. В. Н. Татищева» (г. Астрахань)

Защита состоится 06 марта 2026 года в _____ на заседании диссертационного совета 99.0.075.03 при ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова» по адресу: г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а (ГФИ ВНЦ РАН).

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации) просим высылать по адресу: 346051, г. Грозный, пр. Х. Исаева, д. 100, на имя ученого секретаря диссертационного совета 99.0.075.03 З. Ш. Гагаевой. E-mail: geodissovets@mail.ru. Тел./факс 8(8712)223607.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: https://gstou.ru/science/dissertation_council/ и vak.minobrnauki.gov.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 99.0.075.03 (Д 999.228.03)
кандидат географических наук



З.Ш. Гагаева

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Современные города, являясь сложными и динамичными территориальными системами, сталкиваются с множеством проблем, связанных с ростом населения, загрязнением природных сред городской территории, накоплением и переработкой отходов промышленности и коммунального хозяйства, что еще более усугубляется в условиях климатических изменений. В связи с этим пространственный анализ городской среды становится особенно актуальным. Одним из ключевых инструментов пространственного анализа городской территории являются геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют анализировать и интегрировать пространственные данные, моделировать процессы, происходящие в городской среде и визуализировать результаты.

Саратов, как один из важнейших промышленных и культурно-исторических центров на севере Нижней Волги с высокой степенью природно-ландшафтной и градостроительной неоднородности городского ландшафта, представляет собой важный и интересный объект для градоэкологического, точнее, атмоэкологического исследования, так как он сочетает в себе разнообразные природные и антропогенные факторы, влияющие на формирование городской среды и определяющие ее атмоэкологическое состояние.

Под атмоэкологическим состоянием городской среды мы понимаем комплексную характеристику качества воздушного бассейна, включающую определение уровня и динамики загрязнения приземных слоев атмосферы выбросами от стационарных и мобильных источников, а также факторов и условий образования устойчивых зон загрязнения, представляющего опасность для здоровья человека и оказывающего влияние на качество жизни. Сравнительный анализ атмоэкологического состояния городской среды в разных урболандшафтных районах позволит определить наиболее проблемные зоны, а также оценить эффективность существующих мер по улучшению городской среды. Такой анализ является необходимым для понимания специфики каждого урболандшафтного района и разработки целенаправленных рекомендаций санитарно-гигиенического и градопланировочного характера, которые могут быть реализованы на уровне местного самоуправления.

Данная работа направлена на комплексную оценку урбоклиматических и атмоэкологических характеристик города Саратова с использованием ГИС-технологий. Результаты исследования помогут не только в понимании текущего состояния городской среды, но и в разработке рекомендаций по ее улучшению, что, в свою очередь, будет способствовать повышению качества жизни горожан и устойчивому развитию города в целом.

Несмотря на то, что Саратов хорошо изучен с градоэкологических позиций, издано несколько монографий и десятки научных статей, посвященных изучению загрязнения воздушного бассейна Саратова, ежегодно публикуются официальные доклады профильного комитета (министерства) областного правительства о состоянии воздуха в Саратове, до настоящего

времени не было проведено обобщающего исследования о качестве воздушной среды в Саратове за последнее тридцатилетие, в котором были бы проанализированы причины и факторы формирования и устойчивого сохранения геохимических аномалий в приземном слое городского воздуха, а также детально обоснованы и разработаны меры по улучшению атмосферной экологической ситуации.

Исследование «Оценка атмосферной экологической ситуации и степени устойчивости городской среды к загрязнению атмосферы на основе ландшафтно-экологического подхода (на примере г. Саратов)» является особенно актуальным в условиях современного городского управления, когда эффективное планирование городской инфраструктуры и улучшение качества жизни населения становятся приоритетными задачами. Анализ урбоклиматических характеристик и атмосферной экологической ситуации в г. Саратове с использованием ГИС технологий позволяет выявить территориально локализованные экологические проблемы и риски. Теоретические аспекты пространственного моделирования, представленные в диссертации, могут стать основой для дальнейших разработок в русле обозначенной проблематики, а научно обоснованные рекомендации – послужить основанием для практического применения полученных данных и разработке мер по улучшению городского климата и атмосферной экологической ситуации в целом.

Работа соответствует научной специальности 1.6.21. «Геоэкология» по направлениям: «Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов, функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем» и «Моделирование геоэкологических процессов и последствий хозяйственной деятельности для природных комплексов и их отдельных компонентов. Современные методы геоэкологического картирования, ГИС-технологии и информационные системы в геоэкологии», указанным в паспорте научной специальности.

Цель исследования. Оценка атмосферной экологической ситуации и степени устойчивости городской среды к загрязнению атмосферы на основе природно-ландшафтного, урбоэкологического, урбоклиматического моделирования; разработка рекомендаций по улучшению экологического состояния воздушного бассейна г. Саратова.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие **задачи** исследования:

1. Систематизировать и обобщить научные данные по теории и практике пространственного моделирования городских территорий, методам урболандшафтных исследований, данные предыдущих работ по загрязнению воздушной среды г. Саратова.

2. По имеющимся эмпирическим данным за последние 30 лет: результатам снегогеохимических съёмок на разных модельных полигонах и участках территории Саратова, анализа концентрации загрязняющих веществ в депонирующих средах (снеге, тканевых материалах, листве деревьев), анализа данных о концентрации пыли и химическом составе воздуха, полученных

методом прямого измерения, а также данных стационарных постов наблюдения построить математико-картографическую модель устойчивых геохимических ореолов загрязнения атмосферы города.

3. На основе цифровой модели рельефа и климатических данных с применением методов геоинформационного моделирования построить модель естественного потенциала проветриваемости территории города, обусловленного особенностями рельефа и преобладающими направлениями ветров.

4. На основе цифровых крупномасштабных карт города и данных дистанционного зондирования (ДДЗ) создать урбоклиматическую модель города, отражающую аэрационный потенциал городской застройки с выделением городских каньонов и коридоров вентиляции различной степени продуваемости при ветрах разных направлений.

5. Создать полиструктурную атмоэкологическую модель городской среды, позволяющую определить характер диффузии загрязняющих веществ в воздушной среде, с учетом результатов природно-ландшафтного и урбоклиматического моделирования выделить устойчивые зоны аккумуляции загрязняющих веществ, провести зонирование территории города по степени подверженности загрязнению воздушной среды.

6. На основании анализа полиструктурной атмоэкологической модели городской среды разработать рекомендации по реконструкции старых микрорайонов города и планировке новых с целью минимизации загрязнения приземного городского воздуха в зонах отдыха и жилой застройки г. Саратова.

Объект исследования: приземный слой атмосферы в структуре урболандшафта города Саратова.

Предмет исследования: факторы и закономерности образования устойчивых зон загрязнения воздушной среды в зависимости от урболандшафтных и урбоклиматических характеристик территории г. Саратова.

Фактический материал и методы исследования. При подготовке диссертации использовались данные, полученные автором в ходе полевых работ (инструментальные замеры пылевого загрязнения воздуха), а также опубликованные и фондовые материалы о состоянии воздушного бассейна г. Саратова за 1993-2023 гг.:

- научные отчёты и публикации о снегогеохимических съёмках за последние тридцать лет;
- отчёты о загрязнённости городского воздуха, предоставленные сотрудниками мобильной экологической лаборатории СГУ в 2013 г.;
- наблюдения разных лет за пыленакоплением на листьях деревьев, на тканых материалах опубликованные сведения о метеорологической обстановке и опасных метеоявлениях в городе в разные сезоны года;
- данные о загрязнении воздуха со стационарных постов наблюдения за состоянием атмосферы;
- данные об интенсивности транспортного потока на улицах Саратова за разные годы, полученные в лаборатории урбоэкологии и регионального анализа географического факультета СГУ и др. материалы.

Теоретические и методологические основы

Теоретической базой исследования явились работы: В.И. Вернадского, К.Г. Гофмана, В.Н. Сукачева, Н.Ф. Реймерса, Карла Тролля, В.Г. Горшкова, Б.И. Кочурова, М.И. Бudyко, М.Е. Берлянда, В.Е. Зуева, А. И. Родионова, В. Н. Клушина, В. Г. Систера, Ю. Л. Матвеева, Ю. П. Переведёнцева, В. Д. Тудрия, Ф. П. Ступина, О. В. Таткова, Я. А. Экбы, А. К. Ахсалба, А. Ю. Щербакова, В. П. Тищенко, А.С. Викторова, В.Т. Трофимова, Г.Н. Голубева, Н.А. Ясманова, А.А. Букатова, Е.А. Козловского, В.Б. Сочавы, В.З. Макарова, А.Н. Чумаченко и др.

Методологической основой исследования послужила методология комплексного ландшафтно-экологического изучения урбанизированных территорий с применением ГИС-технологий и данных высокоточных космоснимков (Макаров, 2001; Макаров, Новаковский, Чумаченко, 2003), концепция «городского каньона» (Nunez, Oke, 1977; Masson, 2000).

Научная новизна работы

На основе тридцатилетних исследований атмоэкологического состояния территории города Саратова, включающих многократные снегогеохимические съёмки, изучение пылевых выпадений на тканые материалы и листву деревьев, инструментальный отбор воздушных проб, расчет интенсивности транспортных потоков, создана математико-картографическая модель геохимических ореолов загрязнения воздушного бассейна города за разные десятилетия в различных участках урболандшафтного пространства.

С использованием инструментов геоинформационного моделирования была построена карта естественного потенциала проветриваемости территории города, отражающая зоны с различными аэрационными условиями при разных направлениях ветра с учетом их повторяемости в условиях естественного рельефа вне зависимости от городской застройки.

На основе широкого использования ГИС-инструментария и данных ДЗЗ построена модель атмоэкологического состояния городской среды, отражающая локальные устойчивые ореолы загрязнения атмосферы, сформированные в различных аэрационных условиях городской застройки. Воздушный бассейн города представлен как динамическая потоковая система со своими структурно-динамическими и локально-климатическими свойствами (индекс открытости небосвода, класс «продуваемости» городских каньонов при различных направлениях ветра).

Создана полиструктурная атмоэкологическая модель городской среды, отражающая устойчивость территории к загрязнению атмосферы с учетом естественного потенциала проветриваемости территории, аэрационного потенциала существующей городской застройки, сформировавшихся постоянных ореолов загрязнения атмосферы. По результатам анализа атмоэкологической модели предложен комплекс планировочных мер по улучшению состояния воздушной среды в городе.

Положения, выносимые на защиту:

1. Наиболее значимыми факторами формирования устойчивых зон загрязнения атмосферного воздуха в крупном промышленном городе степной зоны являются: естественный потенциал проветриваемости территории, объемы выбросов загрязняющих веществ, аэрационный потенциал городской застройки.

2. Аэрационный потенциал городской застройки определяется на основе анализа коридоров вентиляции при различных направлениях ветра, индекса открытости небосвода, коэффициента повторяемости ветров и позволяет выявить участки с наиболее или наименее благоприятными условиями для перемещения воздушных потоков.

3. Полиструктурная атмоэкологическая модель городской среды, основанная на оценке естественного потенциала проветриваемости, аэрационного потенциала городской застройки и фактического уровня загрязнения, отражает устойчивость городской территории к загрязнению атмосферы.

4. Атмоэкологическая ситуация крупного промышленного города степной зоны может быть улучшена при условии внедрения комплекса планировочных мер рекомендательного и ограничительного характера, разработанных с учетом степени устойчивости городской территории к загрязнению атмосферы и направленных на сохранение, оптимизацию и улучшение аэрационного режима путем уменьшения плотности застройки, расширения площадей озеленения и создания пешеходных зон.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов и рекомендаций при разработке перспективных планов реконструкции и застройки городских территорий с учетом их подверженности загрязнению воздушной среды, разработке архитектурных решений, позволяющих минимизировать загрязнение приземного слоя атмосферы в зонах жилой застройки, социальных объектов и отдыха, а также при планировании размещения постоянных и передвижных пунктов контроля за состоянием воздуха.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации были доложены на конференциях: XII всероссийская научно-практическая конференция «географические науки и образование». Астрахань, 25 марта 2019 года; V Международная научно-практическая конференция Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество. Волгоград, 01-04 октября 2019 года; II Международная научно-практическая конференция Современные исследования в науках о земле: ретроспектива, актуальные тренды и перспективы внедрения. Астрахань, 22-23 мая 2020 года; III Международная научно-практическая конференция «Природные опасности:

связь науки и практики», посвященная 150-летию Михаила Ивановича Сумгина. Саранск, 18-19 мая 2023; на ежегодных научных конференциях преподавателей и сотрудников географического факультета СГУ в 2023, 2024, 2025 гг.

Личный вклад автора состоит в сборе и систематизации опубликованных и фондовых материалов по загрязнению атмосферы г. Саратова, самостоятельных полевых исследованиях, камеральной обработке данных, картографическом моделировании, разработке рекомендаций по улучшению экологической ситуации в городе.

Структура и объем работы. Работа включает введение, 5 глав (одну теоретическую и четыре практических), заключение, список использованных источников и приложения, содержащие 30 тематических карт.

Публикации. Всего по теме диссертации автором опубликовано лично и в соавторстве – 11 работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК.

Основное содержание работы

Глава 1. Теоретические аспекты пространственного моделирования в урбодиагностике

В первой главе рассматриваются этапы становления методов пространственного моделирования, как одного из важнейших инструментов для изучения городского пространства, основные теории пространственной организации городов, направления пространственного моделирования, современные тенденции его использования в урбодиагностике.

Наиболее полное представление о взаимодействии различных факторов в городской среде с возможностью прогнозного моделирования позволяет получить сочетание различных методов (урбоклиматического, урболандшафтного, экологического) с интеграцией разнообразных данных: климатических, экологических, статистических, ДДЗ и т.д.

Проведенный анализ методологии пространственного моделирования в урбодиагностике позволяет утверждать, что одним из наиболее актуальных и востребованных направлений геоэкологических исследований городов является изучение особенностей циркуляции воздушных потоков и выявление связанных с ними закономерностей накопления и рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы.

Глава 2. Природно-ландшафтное моделирование городской территории

Во второй главе работы рассматриваются особенности рельефа города Саратова (ярусность, ступенчатость, котловинность, соседство с водохранилищем, расчлененность балками и ущельями), влияние рельефа

города на его пространственную и функциональную организацию (градостроительство и территориальное планирование, транспортную инфраструктуру, инженерные коммуникации, застройку и использование земель), а также на характер ветрового режима территории.

Рельеф территории города является одним из главных природных факторов, определяющим особенности его исторического развития, направленность и скорость урбогенеза. Рельеф Саратова отличается разнообразием: перепад высот составляет до 200 м. Историческая часть города расположена в Приволжской котловине, ограниченной с юго-востока Волгоградским водохранилищем, с северо-запада – денудационным уступом Лысогорского плато (рис. 1).

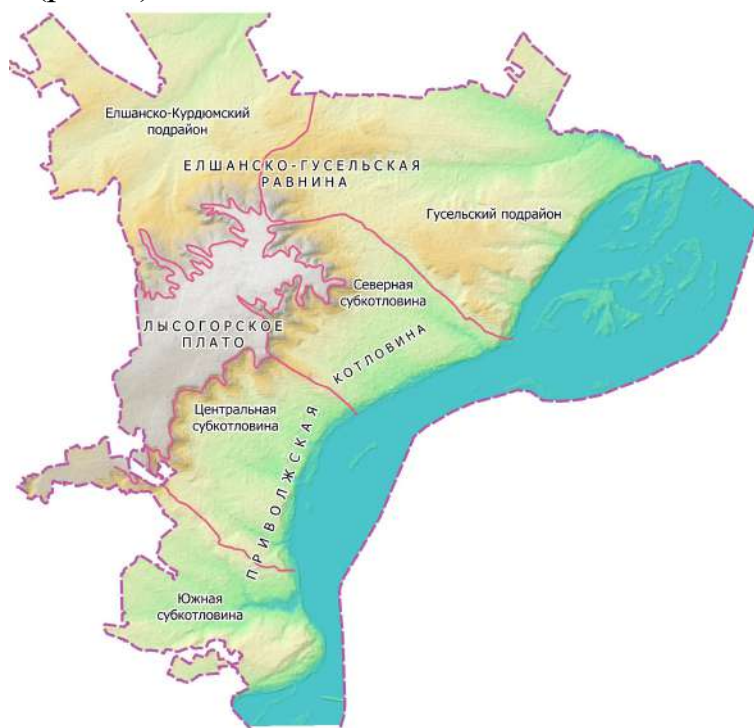


Рис. 1. Ландшафтное районирование территории г. Саратова

Котловинный характер, плотность застройки, прямоугольная сетка улиц, недостаточная площадь озеленения в историческом центре создают неблагоприятные условия для проветриваемости и самоочищения городского воздуха.

Естественный потенциал проветриваемости территории города определяется особенностями ветрового режима, который, в свою очередь зависит от условий рельефа, скорости и преобладающих направлений ветра.

При помощи природно-ландшафтного моделирования на основе карт углов наклона и экспозиции склонов с учетом коэффициентов изменений скорости ветра в различных формах рельефа и повторяемости ветров различных направлений была построена модель естественного потенциала проветриваемости территории города (рис. 2).

Анализ карты показал, что наибольшим потенциалом проветриваемости (без учета застройки) обладают склоны Лысогорского плато и Соколовогорский массив, относящийся к наиболее возвышенной части Елшанско-Гусельской

равнины, наименьшим – долины малых рек (Елшанки, Гуселок) и оврагов, а также центральная и южная приволжские субкотловины, в которых в настоящее время расположены центральные районы города (Волжский, Фрунзенский, центральная часть Кировского) и Заводской район.

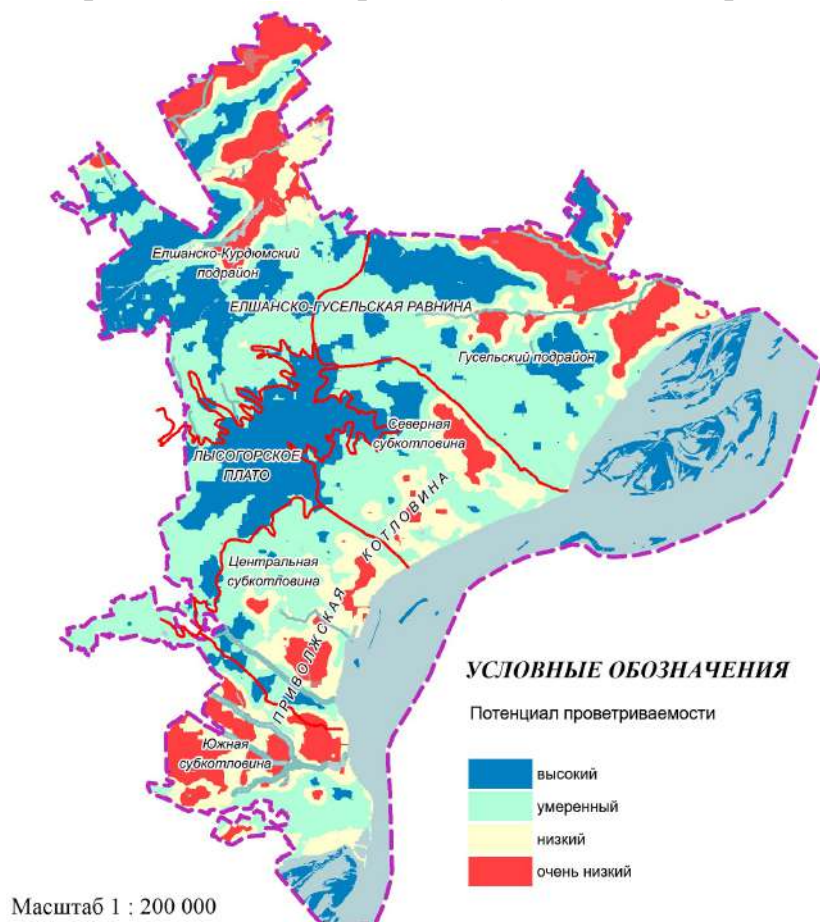


Рис. 2. Карта естественного потенциала проветриваемости

Глава 3. Математико-картографическое моделирование геохимических ореолов загрязнения атмосферы

В третьей главе приводится анализ факторов и условий загрязнения воздушного бассейна города Саратова, рассматриваются структура и динамика загрязнения за последние двадцать лет. На основе данных многолетних наблюдений выделены устойчивые зоны загрязнения приземных слоев атмосферы территории города.

В качестве исходных данных для построения модели были использованы материалы о состоянии атмосферного воздуха Саратова, публикуемые в ежегодных «Докладах о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области» за 2004 – 2023 гг., фондовые и полевые материалы лаборатории урбоэкологии и регионального анализа географического факультета Саратовского университета, опубликованные научные работы, данные инструментальных замеров химического состава воздуха, выполненных с участием автора в 2017 г., данные стационарных постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ).

Использовались следующие материалы:

- данные снегохимического анализа за 1992, 1994, 1997 гг.;
- данные по пылевой нагрузке на разные депонирующие среды за 2010, 2011, 2013 гг.;
- данные инструментальных замеров состава атмосферного воздуха мобильной экологической лабораторией СГУ за 2013 г.;
- данные с ПНЗ по запыленности и загрязнению атмосферного воздуха основными загрязнителями (диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, хлорид водорода, аммиак, фенол, формальдегид) за 1992-1996, 2020-2023 гг.;
- данные по концентрации пыли (взвешенных веществ) в Саратове по данным инструментальных замеров в 2017 и 2024 годах.

Установлено, что наибольшая часть вредных выбросов в атмосферу (до 80%) приходится на автомобильный транспорт, при этом максимальные концентрации загрязняющих веществ из отработанных газов (CO , NO_2 , C_nH_m) наблюдаются в зоне перекрестков на узких улицах с интенсивным движением в условиях неблагоприятной дорожной ситуации. Концентрация загрязняющих веществ возрастает на участках с пониженным рельефом, особенно в вечерние часы пик, при этом в зимнее время загрязнение атмосферы ниже, чем в летнее.

В Саратове функционирует 28 промышленных предприятий, обязанных осуществлять мониторинг атмосферного воздуха согласно ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" №96-ФЗ от 04.05.1999 г. (рис. 3). Большая часть предприятий относится к строительной, нефтегазодобывающей, химической отраслям и энергетике (таблица 1).



Рис. 3. Схема расположения крупных промышленных предприятий

Как видно из схемы, крупные промышленные предприятия располагаются, по большей части, в пределах Приволжской котловины, характеризующейся низким и очень низким потенциалом естественным потенциалом проветриваемости (рис. 2), что, очевидно, оказывает негативное воздействие на экологическую ситуацию в этой части города.

Таблица 1

Промышленные предприятия г. Саратов, обязанные осуществлять мониторинг атмосферного воздуха

Номер п/п	Название
1	Муниципальное унитарное предприятие «Дорожник Заводского района»
2	Общество с ограниченной ответственностью "Саратоворгсинтез"
3	Общество с ограниченной ответственностью "Газпром ПХГ"
4	Публичное акционерное общество "Саратовский НПЗ". Основная площадка
5	Публичное акционерное общество "Саратовский НПЗ". Площадка Увекской нефтебазы
6	Акционерное общество «Саратовстройстекло»
7	Акционерное общество "Электроисточник"
8	Акционерное общество "ЕПК САРАТОВ"
9	Акционерное общество "Научно-производственное предприятие "Алмаз"
10	Акционерное общество "Саратовский завод энергетического машиностроения"
11	Общество с ограниченной ответственностью «Мебельная фабрика Мария»
12	Акционерное общество «Саратовский агрегатный завод». Промплощадка №1 (основная)
13	Акционерное общество «Саратовский агрегатный завод». Промышленная площадка
14	Общество с ограниченной ответственностью комбинат "ДУБКИ"
15	Общество с ограниченной ответственностью "ЛукБелОйл"
16	Общество с ограниченной ответственностью "РЭТ"
17	Общество с ограниченной ответственностью "Концессии водоснабжения-Саратов"
18	Общество с ограниченной ответственностью "Завод керамического кирпича"
19	Акционерное общество "Саратовский институт стекла"
20	Общество с ограниченной ответственностью "Композит Волокно"
21	Общество с ограниченной ответственностью Саратовский химический завод акриловых полимеров "АКРИПОЛ"
22	Публичное Акционерное Общество Нефтегазовая компания "РуссНефть". УППН "Гусельский"
23	Публичное Акционерное Общество Нефтегазовая компания "РуссНефть". УППН "Колотовский"
24	Публичное Акционерное Общество Нефтегазовая компания "РуссНефть". УППН "Соколовогорский". Головные сооружения
25	Общество с ограниченной ответственностью "Русагро-Саратов"
26	ООО Завод электроагрегатного машиностроения "СЭПО-ЗЭМ" АО "Саратовское электроагрегатное производственное объединение"
27	Публичное акционерное общество "Т Плюс". Саратовская ГРЭС
28	Публичное акционерное общество "Т Плюс". Саратовская ТЭЦ-2

Атмосфера Саратова характеризуется чрезвычайно высоким уровнем пылевого загрязнения в течение как минимум последних тридцати лет. Так, по данным снегомерных съемок, проведенных в начале 90-х годов, объем выпадающей пыли исчисляется несколькими сотнями тонн на квадратный километр в год, а инструментальные замеры 2013 и 2024 годов, подтверждают превышение ПДК по пыли в разные годы вплоть до двадцатикратных значений.

Среди основных определяемых химических загрязнителей атмосферного воздуха наиболее неблагоприятная ситуация в Саратове наблюдается по

формальдегиду (превышение ПДК в разные годы достигает почти шестикратных значений), фенолу (3-4 ПДК), диоксиду азота (до 5,5 ПДК).

По материалам многолетних наблюдений построены карты, отражающие пылевое и химическое загрязнение воздушного бассейна города в разные годы, выраженное в превышениях над фоном (на картах пылевого загрязнения снежного покрова), кратностях ПДК (на картах пылевого загрязнения воздуха) и ИЗА₅ (на картах химического загрязнения атмосферы).

По результатам проведенных исследований построена интегральная модель устойчивых ореолов загрязнения городского воздуха (рис. 4).

Выделены два основных ореола с очень высоким уровнем загрязнения, сохраняющимся в течение многих лет: первый охватывает северо-восточную часть северной субкотловины Приволжской котловины и переходит на юго-западный склон Гусельского подрайона Елшанско-Гусельской равнины; второй расположен в западной части Гусельского подрайона Елшанско-Гусельской равнины.

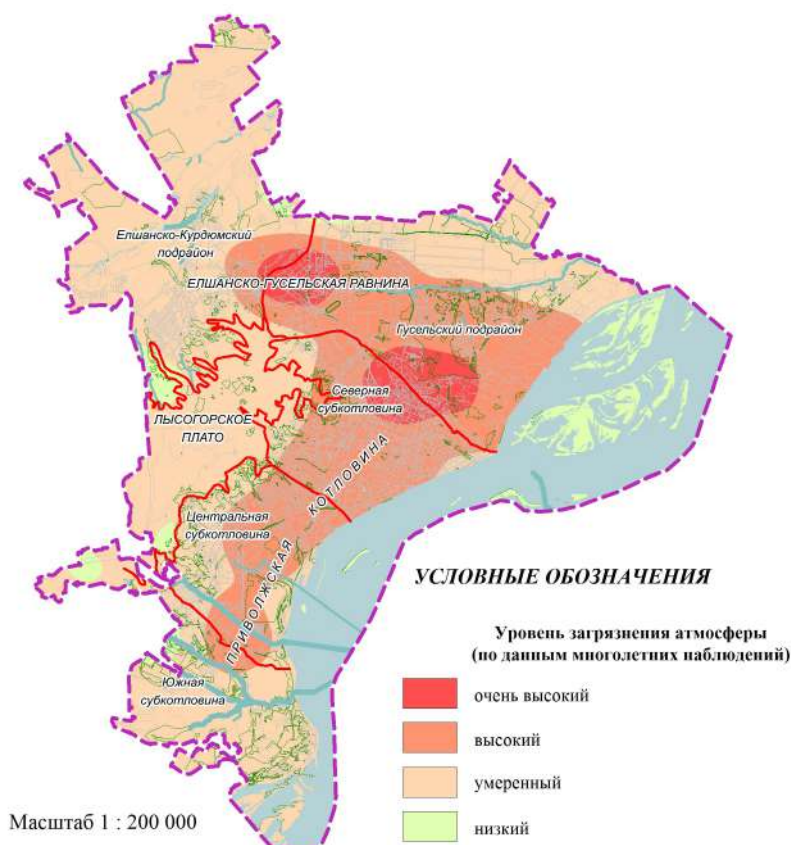


Рис. 4. Карта устойчивых ореолов загрязнения городского воздуха

Глава 4. Урбо-климатическое моделирование городской среды

В четвертой главе проводится анализ территории города с точки зрения ее урбо-климатических характеристик: температурных аномалий и особенностей ветрового режима, связанных с застройкой. С использованием ДДЗ, цифровой модели местности, цифровых крупномасштабных карт городской застройки с помощью гис-инструментов созданы модели: «островов тепла», типов и направлений городских каньонов, индекса открытости

небосвода. Определены фактические коридоры вентиляции территории города при различных направлениях ветра.

Выделение средствами пространственного моделирования каньонов разных типов и направлений позволило определить участки территории города, на которых естественное движение воздушных потоков в значительной степени трансформируется: при направлении ветра, отклоняющемся от продольного, в каньоне образуется обратный вихрь, который увлекает загрязняющие вещества к подветренной стороне фасадов и, таким образом, препятствует рассеиванию примесей и приводит к их накоплению вблизи застройки. Объединение однонаправленных каньонов в линейную сеть позволило выделить элементы городской застройки, функционирующие в качестве коридоров вентиляции при различных направлениях ветра, с учетом того, что при продольных направлениях скорость ветра в каньоне сохраняется, а, в ряде случаев, и усиливается.

Возможность беспрепятственного горизонтального перемещения воздушных масс в приземном слое атмосферы определяет аэрационный потенциал городской застройки. Модель аэрационного потенциала городской застройки (рис. 5), построенная на основе коридоров вентиляции для разных направлений ветра, с учетом индекса открытости небосвода и коэффициента повторяемости ветров, позволила выявить участки, на которых в силу характера застройки сложились различные условия для перемещения воздушных потоков.

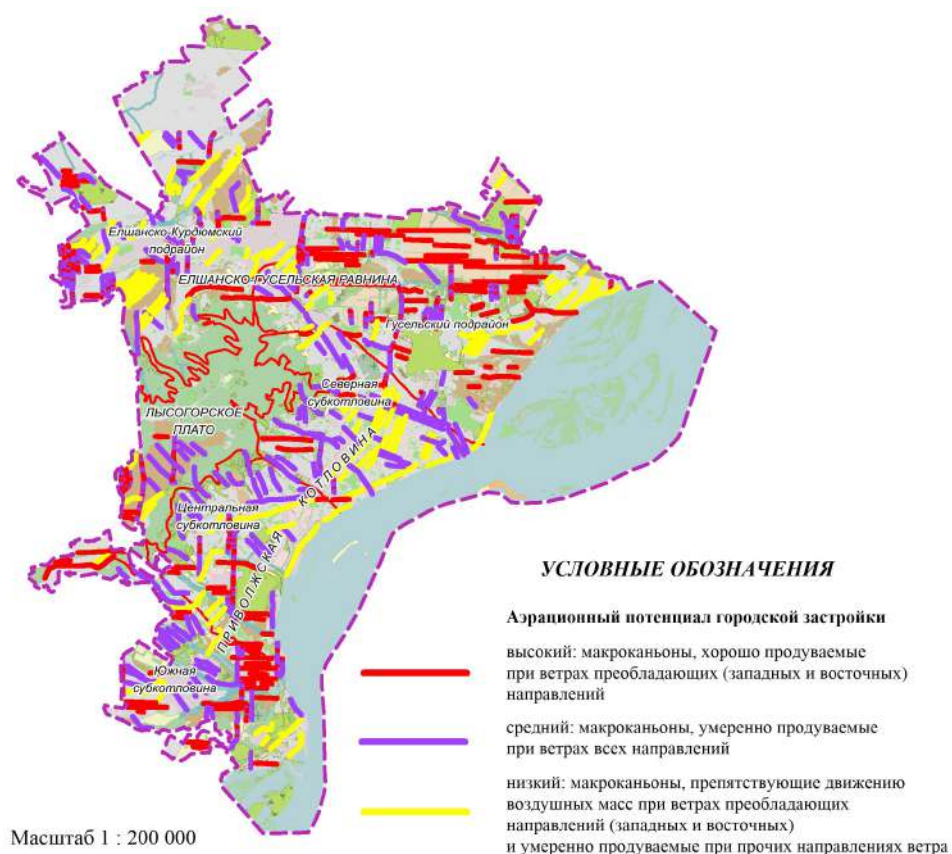


Рис. 5. Карта аэрационного потенциала городской застройки

Согласно полученной модели наибольшим аэрационным потенциалом обладают районы, расположенные на возвышенностях с макроканьонами, ориентированными с запада на восток («Солнечный», «Юбилейный», «Увек»), наименьшим – расположенный в котловине исторический центр с макроканьонами, ориентированными с северо-востока на юго-запад и с северо-запада на юго-восток.

Глава 5. Построение полиструктурной атмоэкологической модели городской среды

В пятой главе описывается алгоритм создания полиструктурной атмоэкологической модели городской среды, включающей две базовые составляющие: модель атмоэкологического состояния городской среды и модель степень устойчивости городской среды к загрязнению атмосферы, проводится анализ атмоэкологического состояния и районирование территории города по степени подверженности загрязнению воздушной среды, предлагается комплекс мер по улучшению атмоэкологической ситуации.

В основу создания атмоэкологической модели положены оценочные модели, относящиеся к трем блокам: природно-ландшафтного моделирования, моделирования геохимических ореолов загрязнения атмосферы и урбоклиматического моделирования (рис. 6), описанные в главах 2-4.

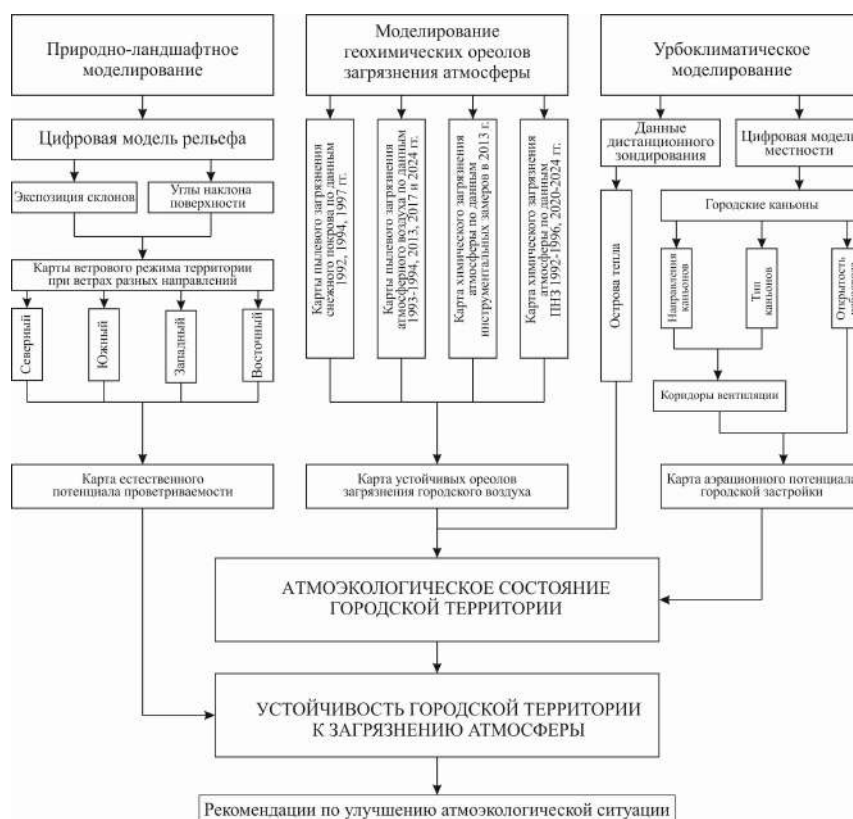


Рис. 6. Структура атмоэкологической модели городской среды

Атмоэкологическое состояние города (рис. 7) характеризуется двумя основными показателями: аэрационным потенциалом застройки и локализацией устойчивых зон загрязнения.

Наибольший уровень загрязнения наблюдается на участках с низким

аэрационным потенциалом и высокой транспортной нагрузкой в сочетании с недостаточным озеленением и расположением в пониженных участках рельефа; наименьший – в микрорайонах с высоким аэрационным потенциалом при различных уровнях транспортной нагрузки. Расположение коридоров вентиляции (макроканьонов) вдоль преобладающих ветровых румбов (западных и восточных) способствует рассеиванию загрязняющих веществ, тогда как макроканьоны, сформированные в направлениях юго-запад – северо-восток и север-юг этому препятствуют.

Устойчивые зоны очень высокого загрязнения воздуха в городе локализованы на двух участках: участок вокруг пересечения ул. Шехурдина и пр. Строителей на севере, зона севернее рынка «Сенной» в центре. В определенной мере сочетание неблагоприятного расположения коридоров вентиляции и участков устойчивого загрязнения наблюдается и в центральной и южной части Заводского района, а также на севере города в мкр. Елшанка. Здесь сочетаются направления коридоров «юго-запад – северо-восток» и «юг-север», снижающие аэрационный потенциал местности с высоким и средним уровнем загрязнения атмосферы. Вряд ли эти территории можно отнести к испытывающим наиболее серьезный стресс, но ситуация здесь также далека от идеальной.

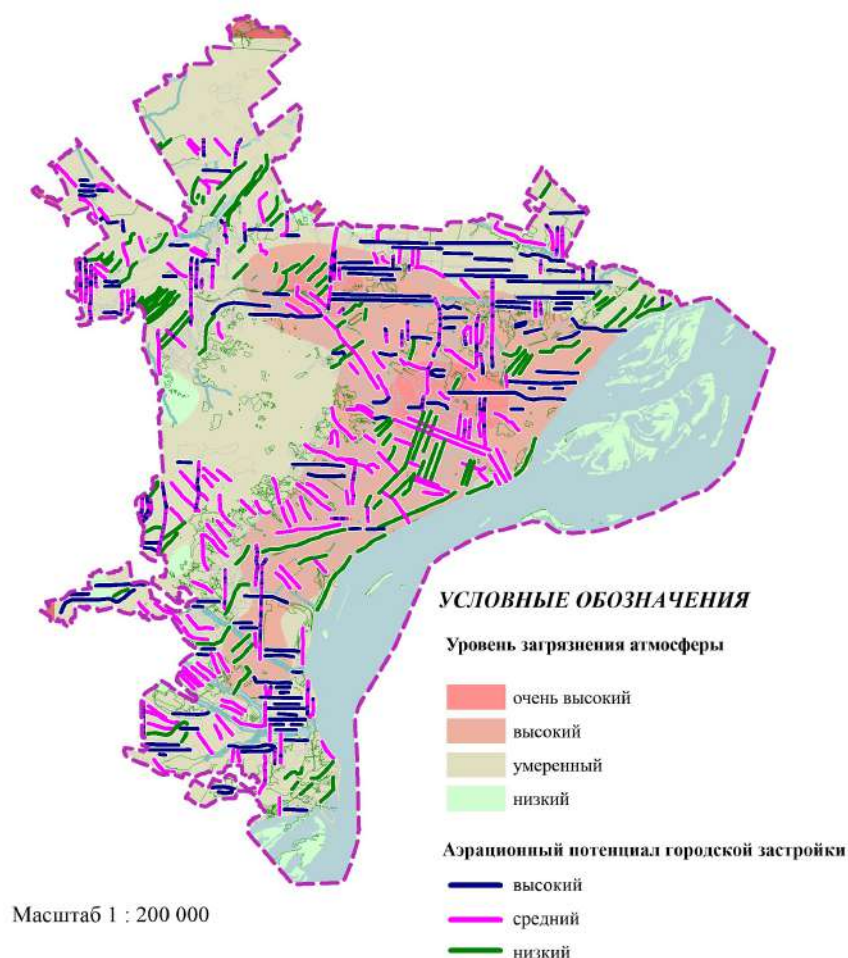


Рис. 7. Атмозкологическое состояние городской территории

Стоит отметить, что в районах новой застройки – мкр. Юбилейный, мкр. Солнечный ситуация с проветриванием согласно моделированию достаточно

благоприятная. Подтверждением этого факта могут являться низкие показатели загрязнения атмосферы на этих участках.

Важно учитывать аэрационный потенциал территории в контексте создания новых микрорайонов: дальнейшей застройки опытных полей НИИСХ «Юго-Восток», участка старого аэропорта. Научно-обоснованный подход к развитию названных территорий особенно важен, т.к. они относятся к сравнительно благоприятным, и с точки зрения загрязнения воздуха, и с точки зрения проветриваемости. Застройка без анализа создаваемых коридоров вентиляции может привести к формированию блокирующих каньонов и аккумуляции загрязнителей.

Устойчивость городской территории к загрязнению атмосферы определяется сочетанием множества факторов, важнейшими из которых являются: естественный потенциал проветриваемости (определяемый природными условиями территории – характером рельефа, ветровым режимом, климатическими характеристиками); аэрационный потенциал городской застройки (связанный, в первую очередь с формированием городских каньонов, которые могут способствовать, либо препятствовать горизонтальному перемещению воздушных масс) и фактическое количество загрязнителей (зависящее, в основном, от интенсивности транспортного потока).

На основе построенных ранее моделей, отражающих перечисленные факторы, была создана модель устойчивости городской среды к загрязнению атмосферы (рис. 8).

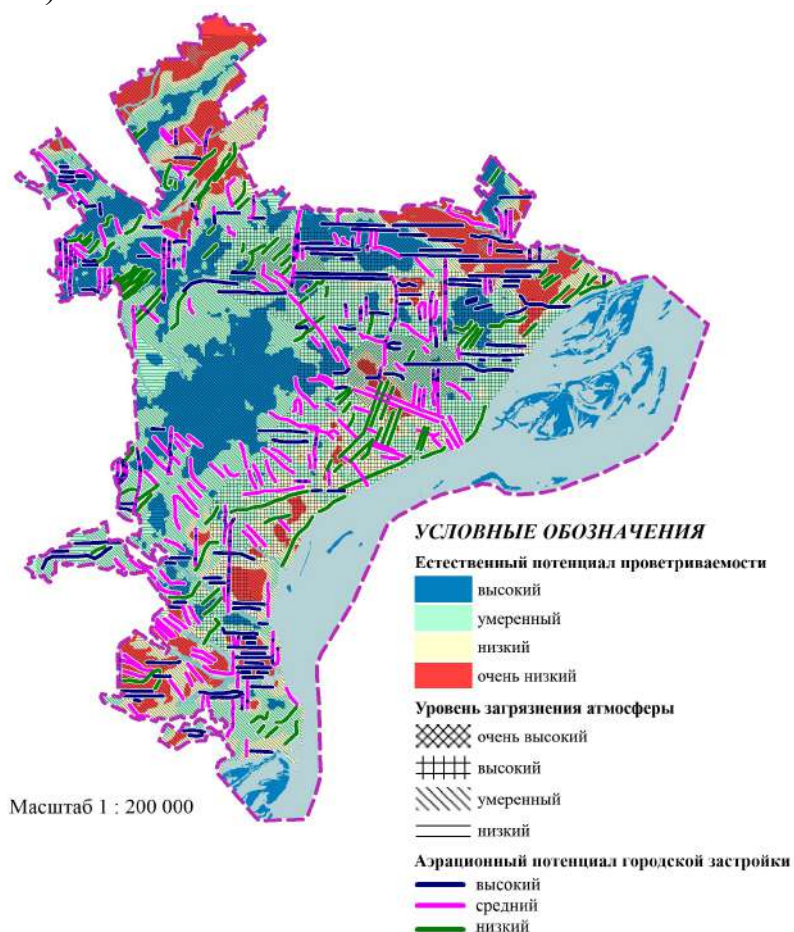
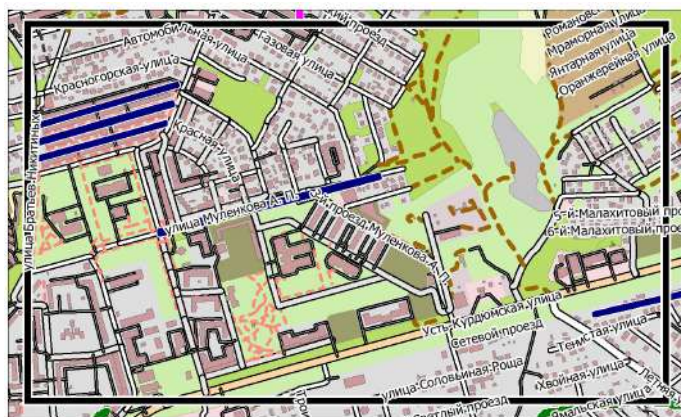


Рис. 8. Устойчивость городской среды к загрязнению атмосферы

Высокоустойчивые территории – это зоны, отличающиеся либо полным отсутствием коридоров вентиляции (макроканьонов), либо наличием коридоров вентиляции с высоким и средним потенциалом при низком уровне загрязнения атмосферы.

В качестве наиболее характерного примера высокоустойчивых территорий можно назвать район ЖК «Изумрудный» в микрорайоне «Юбилейный». Здесь сочетается высокая естественная проветриваемость с высоким аэрационным потенциалом (рис. 10).



18

Устойчивые территории характеризуются высоким, средним и, реже, низким аэрационным потенциалом застройки при высоком и среднем естественном потенциале проветриваемости и низким, умеренном и, в некоторых случаях, высоком уровне загрязнения атмосферы. Чаще всего это территории склонов возвышенных частей города, а также зоны, прилегающие к высокоустойчивым участкам.

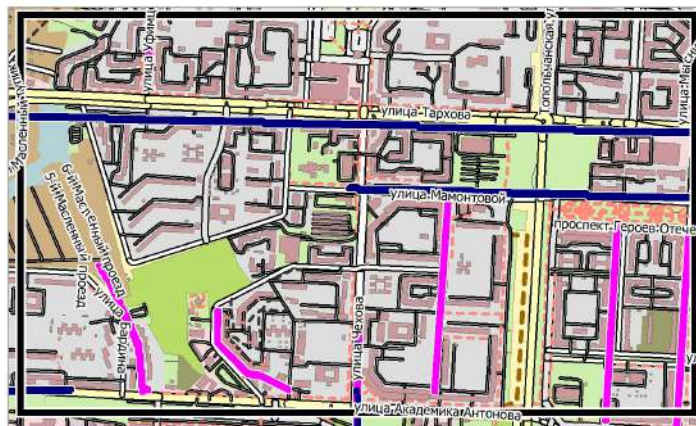


Рис. 11. Территория, относящаяся к зоне 2 – устойчивой к загрязнению атмосферы.
Микрорайон "Солнечный".

В зоне 2, устойчивой к загрязнению атмосферы, вдоль проспекта 50 лет Октября, проспекта Строителей и Московского шоссе находится достаточно обширный кластер с промышленными предприятиями: СЭПО, Жиркомбинат, Алмаз, Институт стекла, Саратовстроястекло и т.п. Данная территория характеризуется различной степенью загрязнения, но достаточно высокой степенью проветриваемости, обусловленной как более возвышенным характером рельефа, так и более грамотным расположением застройки, не препятствующим воздушным потокам.

Неустойчивые территории – это самая обширная группа, характеризующаяся высоким, умеренным и низким естественным потенциалом проветриваемости на фоне очень высокого и высокого загрязнения атмосферы, либо умеренным и низким естественным потенциалом на фоне умеренного и низкого загрязнения атмосферы.

Чаще всего это территории центра города, расположенные вокруг главных осевых улиц (пр. Строителей, ул. Шехурдина, ул. Соколова, ул. Большая Горная, ул. Чернышевского, ул. Ново-Астраханское шоссе, пр. Энтузиастов, ул. Азина), исключая район Сенного рынка и юг Заводского района.

В качестве репрезентативного участка можно указать зону вокруг Глебучева оврага, близ Волгоградского водохранилища. Территория характеризуется высоким загрязнением атмосферы на фоне умеренного или низкого естественного потенциала проветриваемости и среднего или низкого

аэрационного потенциала застройки (рис. 12).

Следует отметить, что расположение достаточно крупных поллютантов – ТЭЦ-2 и ТЭЦ-5. ТЭЦ- 2 оказывает серьезное воздействие на южную и юго-западную часть города, характеризующуюся неустойчивостью к загрязнению атмосферы. ТЭЦ-5 расположена севернее микрорайона Солнечный и, безусловно, оказывает влияние на загрязнение воздуха в Ленинском и Кировском районах города. Тем не менее, достаточно высокий потенциал проветриваемости этой территории несколько нивелирует влияние ТЭЦ-5, и на севере не наблюдается стабильных ореолов загрязнения воздуха.

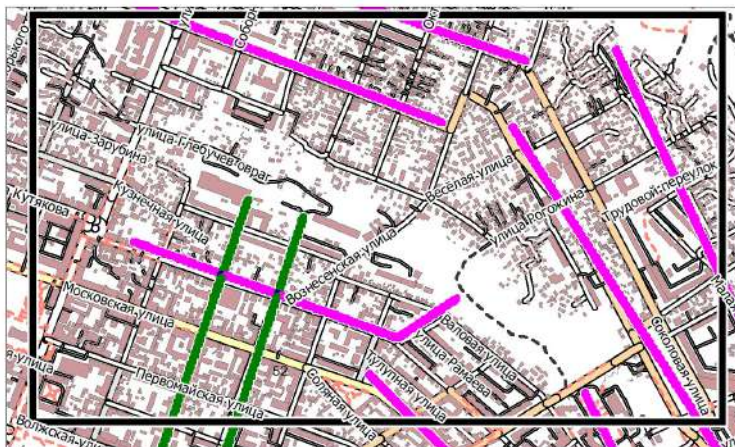


Рис. 12. Территория, относящаяся к зоне 3 – неустойчивой к загрязнению атмосферы. Волжский район. Историческая часть города

Крайне неустойчивые территории характеризуются низким или очень низким естественным потенциалом проветриваемости в сочетании с высоким и очень высоким загрязнением атмосферы.

Эти зоны не слишком обширны. В основном представлены центральной частью города в районе рынка «Сенной», а также крупной территорией на юге и юго-западе Заводского района. Здесь сочетаются все неблагоприятные факторы, рассматриваемые в работе: природные и антропогенные условия проветриваемости, а также высокий уровень фактического загрязнения атмосферы (рис. 13).

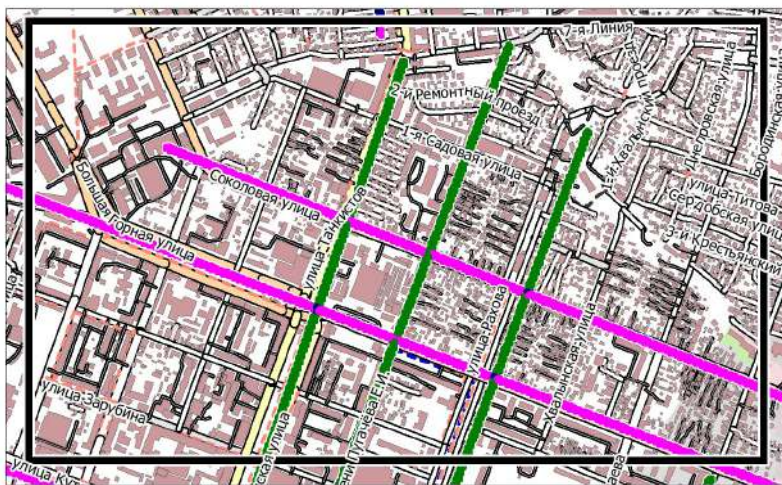


Рис. 13. Территория, относящаяся к зоне 4 – крайне неустойчивой к загрязнению атмосферы. Кировский район (район Сенного рынка)

Неблагоприятная атмосферно-экологическая ситуация в неустойчивых и крайне неустойчивых зонах еще более усугубляется тем, что здесь расположены крупные промышленные предприятия: подшипниковый завод, нефтеперерабатывающий завод, компания по переработке отходов «РЭТ», ООО «Концессии водоснабжения», агрегатный завод, мебельная фабрика «Мария», завод энергетического машиностроения, агрегатный завод, АО «Электроисточник» и др. Перечисленные предприятия находятся в зонах, сочетающих высокое загрязнение с низкой проветриваемостью, обусловленной, как котловинным рельефом, так и особенностями застройки.

Зонирование территории города на высокоустойчивые, устойчивые, неустойчивые и крайне неустойчивые к загрязнению атмосферы участки позволяет определить меры по улучшению атмосферно-экологической ситуации.

Комплекс мер по улучшению атмосферно-экологической ситуации связан с планировочными решениями при проектировании новых микрорайонов и реконструкции старых.

Для высокоустойчивых и устойчивых зон рекомендованы меры по сохранению устойчивости территорий, а именно: проектирование жилых комплексов с учетом естественного ветрового режима и расположение многосекционных зданий параллельно направлениям преобладающих ветров, использование озеленения и малых архитектурных форм, исключающих застой воздуха, применение свободных приемов планировки с соблюдением необходимых разрывов и т.д.

Для неустойчивых зон рекомендованы меры по оптимизации аэрационного режима: при планировании новых микрорайонов предпочтительно использование малоэтажной застройки с низкой плотностью, застройки башенного типа и отказ от многосекционных зданий, увеличение площади свободных пространств – газонов, площадок, озеленение территории кустарником и высокоштабными деревьями, увеличение ширины улиц и т.д.; при реконструкции старых микрорайонов рекомендован отказ от многоэтажной застройки, увеличение разрывов между зданиями за счет создания зеленых зон после сноса ветхих строений, недопущение вырубки здоровых деревьев, посадка кустарника и т.д.

Для крайне неустойчивых зон рекомендованы меры по улучшению аэрационного режима и уменьшению количества выбросов: недопущение строительства многосекционных зданий, преимущественно малоэтажная неплотная застройка, увеличение площади озелененных территорий, создание пешеходных зон, по возможности отказ от строительства зданий в пользу парков и бульваров.

Заключение

Основные результаты работы.

1. Анализ научной литературы по атмогеоэкологии, урбодиагностике, геопространственному моделированию, а также анализ и систематизация данных о состоянии воздушного бассейна г. Саратова позволил очертить круг проблем, касающихся атмосферно-экологической ситуации в крупном промышленном

городе, выявить ключевые факторы, определяющие степень загрязнения атмосферы города и определить методологию комплексной оценки атмоэкологических и урбоклиматических характеристик Саратова с целью определения путей для улучшения атмоэкологической ситуации.

2. На основе эмпирических данных за последние 30 лет построена модель устойчивых ореолов загрязнения атмосферы территории города. Выявлено, что наиболее загрязненными являются участки с сочетанием негативных факторов: расположенные в понижениях рельефа, включающие перекрестки основных магистралей, характеризующиеся плотной застройкой с минимальными площадями, занятыми древесно-кустарниковой растительностью. Установлено, что по уровню превышения ПДК основную долю загрязнения составляют взвешенные частицы, фенол, формальдегид, диоксид азота.

3. Создана модель естественного потенциала проветриваемости территории города, определяемой природными факторами – особенностями рельефа и ветрового режима. Анализ полученной модели показал, что наибольшим потенциалом проветриваемости (без учета застройки) обладают склоны Лысогорского плато и Соколовогорский массив, наименьшим – долины малых рек (Елшанки, Гуселок) и оврагов, а также центральная и южная приволжские субкотловины, в которых в настоящее время расположены центральные районы города (Волжский, Фрунзенский, центральная часть Кировского) и Заводской район.

4. С использованием цифровых крупномасштабных карт города и данных дистанционного зондирования методами пространственного моделирования создана модель аэрационного потенциала городской застройки, отражающая сложившиеся в силу характера землепользования и застройки различные условия для перемещения воздушных потоков. Согласно полученной модели наибольшим аэрационным потенциалом обладают районы, расположенные на возвышенностях с макроканьонами, ориентированными с запада на восток («Солнечный», «Юбилейный», «Увек»), наименьшим – расположенный в котловине исторический центр с макроканьонами, ориентированными с северо-востока на юго-запад и с северо-запада на юго-восток.

5. Создана полиструктурная атмоэкологическая модель городской среды, отражающая устойчивость городской территории к загрязнению атмосферы на основании сочетания трех основных показателей – естественного потенциала проветриваемости, аэрационного потенциала городской застройки и фактически сложившегося уровня загрязнения. Определены территории, которые могут быть классифицированы как высокоустойчивые, устойчивые, неустойчивые и крайне неустойчивые к загрязнению атмосферы, предложен комплекс мер по улучшению атмоэкологической ситуации для каждой из категорий.

6. В целях улучшения атмоэкологической ситуации в городе при планировании строительства новых микрорайонов и реконструкции старых рекомендованы планировочные меры, направленные на сохранение и

повышение устойчивости территорий к загрязнению атмосферы. В частности, для высокоустойчивых и устойчивых к загрязнению атмосферы зон рекомендовано расположение многосекционных зданий вдоль преобладающих направлений ветров с соблюдением необходимых разрывов, использование ландшафтно-архитектурных форм и приемов озеленения, исключающих застой воздуха и т.п; для неустойчивых и крайне неустойчивых зон – отказ от многосекционных зданий в пользу малоэтажной разреженной застройки, увеличение свободных пространств и площади озеленения, создание пешеходных зон.

Основные выводы.

Ключевыми факторами, влияющими на атмоэкологическую ситуацию в крупном промышленном городе, являются: естественный потенциал проветриваемости, который определяется особенностями рельефа и ветрового режима; аэрационный потенциал городской застройки, зависящий от характера и расположения городских каньонов; фактическое количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Устойчивость городских территорий к загрязнению атмосферы определяется степенью соответствия характера застройки и землепользования возможностям атмосферы к самоочищению: наибольшей устойчивостью обладают территории, на которых застройка не препятствует реализации естественного потенциала проветриваемости, то есть свободному перемещению воздушных масс вдоль коридоров вентиляции, наименьшей – районы с плотной застройкой, расположенные в понижениях рельефа.

Для улучшения атмоэкологической ситуации в городе при строительстве новых микрорайонов и реконструкции старых необходимо принимать меры, разработанные с учетом устойчивости этих территорий к загрязнению атмосферы.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией:

1. Макаров В. З., Гусев В. А., Волков Ю. В., Затонский В. А., Неврюев А. М. Бенз(а)пирен в атмосфере городов Саратовской области // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 1. С. 12-17.
2. Макаров В. З., Неврюев А. М. Анализ загрязнения снежного покрова пылью в Кировском районе г. Саратова // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 101-106.
3. Макаров В. З., Неврюев А. М., Суркова Д. Е., Шарапова Е. М. Детские игровые площадки Саратова: анализ эколого-геохимической ситуации // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 3. С. 159-166.
4. Неврюев А. М., Макаров В. З. Пылевая нагрузка на приземный воздух и уличные дороги в центральной (исторической) части Саратова // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 88-93.

Работы, опубликованные в других изданиях:

5. Волков Ю. В., Гусев В. А., Неврюев А. М. Запыленность воздушного бассейна центральной (исторической) части г. Саратова // Современные проблемы территориального развития. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zapylennost-vozdushnogo-basseyna-tsentralnoy-istoricheskoy-chasti-g-saratova> (дата обращения: 18.03.2025).
6. Неврюев А.М., Атаджанов А.И., Поладов Э.К., Мельникова Е.С. Уровень запыленности и загазованности воздушного бассейна центральной части г. Саратова // Географические науки и образование. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. г. Астрахань, 25 марта 2019 г. С. 93-95.
7. Волков Ю.В., Неврюев А.М., Нерозя О.В. Комфортность велосипедных прогулок в центральной (исторической) части г. Саратова // Актуальные вопросы физического воспитания молодежи и студенческого спорта. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Саратов, 2021. С. 179-186.
8. Кулагин А.С., Поладов Э.К., Мельникова Е.С., Неврюев А.М. Загрязнённость атмосферного воздуха на территории МО город Энгельс // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. Краснодар, 2021. С. 168-171.
9. Неврюев А.М., Поладов Э.К., Мельникова Е.С. Изменение концентрации запыленности воздушного бассейна центральной (исторической) части г. Саратова в осенний и предзимний период // Современные исследования в науках о Земле: ретроспектива, актуальные тренды и перспективы внедрения. Материалы II Международной научно-практической конференции. Астрахань. 22-23 мая 2020 г. С. 68-71.
10. Волков Ю.В., Неврюев А.М., Поладов Э.К. Изменение запыленности атмосферного воздуха в весенне-осенний период в центральной части г. Саратова // Экология: вчера, сегодня, завтра. Материалы всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 111-114
11. Волков Ю.В., Неврюев А.М. Загрязненность оксидом углерода и запыленность атмосферного воздуха в центральной части города Саратова // Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество. Материалы V Международной научно-практической конференции. Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, Волгоградский государственный университет. Волгоград, 2019. С. 17-20.