

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского»

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
Владимир Зиновьевич Макаров
доктор географических наук, профессор

Саратов – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УРБОДИАГНОСТИКЕ.....	12
1.1. Исторический обзор методов пространственного моделирования.....	12
1.2. Основные направления пространственного моделирования.....	15
1.3. Методы пространственного моделирования в урбодиагностике.....	19
1.3.1. Методы урбоклиматического моделирования.....	19
1.3.2. Методы атмозкологического моделирования.....	20
1.3.3. Методы ландшафтного моделирования.....	22
1.4. Современные тенденции в пространственном моделировании городской среды.....	24
ГЛАВА 2. ПРИРОДНО-ЛАНДШАФТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	29
2.1. Особенности рельефа: ярусность, ступенчатость, котловинность, соседство с водохранилищем, расчлененность балками и ущельями.....	29
2.2. Влияние рельефа на градостроительство и территориальное планирование.....	33
2.2.1. Влияние рельефа на транспортную инфраструктуру.....	35
2.2.2. Влияние рельефа, подземных вод и литологии на инженерные коммуникации.....	36
2.2.3. Влияние рельефа на застройку и использование земель.....	37
2.3. Естественный потенциал проветриваемости воздушного бассейна.....	39
ГЛАВА 3. МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ.....	47
3.1. Материалы и методы исследования.....	47
3.2. Факторы и условия загрязнения воздушного бассейна крупного промышленного города.....	47
3.3. Структура и динамика загрязнения воздушного бассейна Саратова за последние двадцать лет.....	53
3.4. Выделение ореолов загрязнения по данным многолетних наблюдений.....	58
ГЛАВА 4. УРБОКЛИМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ.....	77
4.1. Выделение «островов тепла».....	77
4.2. Выделение городских каньонов.....	83
4.3. Аэрационный режим городских каньонов.....	89
4.4. Определение аэрационного потенциала городской застройки.....	92
4.4.1. Направления городских каньонов.....	93
4.4.2. Коридоры вентиляции городской территории.....	94
4.4.3. Индекс открытости небосвода.....	95
4.4.4. Построение модели аэрационного потенциала городской территории.....	97
ГЛАВА 5. ПОСТРОЕНИЕ ПОЛИСТРУКТУРНОЙ АТМОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ.....	101
5.1. Алгоритм создания интегральных карт, отражающих атмозкологическое	

состояние и степень устойчивости городской территории к загрязнению атмосферы	101
5.2. Анализ атмоэкологического состояния городской территории.....	103
5.3. Районирование территории города по степени подверженности загрязнению воздушной среды	105
5.4. Предложение комплекса мер по улучшению атмоэкологической ситуации	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	122
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	146

ВВЕДЕНИЕ

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 [19]. 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 [5, 18, 27, 60, 66, 67, 72-76, 83-85, 109, 111, 112, 118 и др.], 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 атмоэкологической ситуации.

Исследование «Оценка атмоэкологического состояния и степени устойчивости городской среды к загрязнению атмосферы на основе ландшафтно-экологического подхода (на примере г. Саратова)» 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 атмоэкологической 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, что, в свою очередь, будет способствовать разработке мер по улучшению городского климата и 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 экологического состояния 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 листве 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, другие опубликованные и фондовые материалы (Карта фактического материала. Приложение 1).

В ходе исследования применялись **методы:** ландшафтно-экологического и ландшафтно-геохимического анализа, методы геоинформационного картографирования, дешифрирования высокоточных космоснимков городских и пригородных территорий, методы математико-картографического моделирования.

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. Будыко, 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 [72, 75], концепция «городского каньона» [138, 140].

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.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УРБОДИАГНОСТИКЕ

1.1. Исторический обзор методов пространственного моделирования

Пространственное моделирование имеет богатую историю, уходящую корнями в древние времена. Эволюция методов пространственного моделирования тесно связана с развитием картографии, математики, географии и других смежных дисциплин.

Первые попытки пространственного моделирования можно проследить еще в работах древнегреческих ученых. Например, Птолемей во II веке н.э. в своем труде «География» заложил основы картографической проекции и координатной системы, что можно считать одним из первых шагов в становлении пространственного моделирования. Его работа оказала значительное влияние на развитие картографии и географии в последующие столетия. В эпоху Возрождения произошел значительный прогресс в области пространственного моделирования. Леонардо да Винчи создал первый известный план города с высоты птичьего полета для Имолы в 1502 году, что можно рассматривать как прообраз современных трехмерных моделей городов. Этот план демонстрирует не только художественное мастерство, но и глубокое понимание пространственных отношений и структуры городской среды.

XVIII-XIX века ознаменовались совершенствованием количественных методов в географии и градостроительстве. Важным этапом в развитии пространственного моделирования стало появление тематического картографирования. Одним из ярких примеров применения пространственного анализа для решения городских проблем стала работа Джона Сноу по картированию вспышки холеры в Лондоне в 1854 году. Сноу использовал карту для визуализации распространения заболевания и выявления его источника, что можно считать одним из первых примеров применения пространственного анализа в эпидемиологии и городском планировании. В XIX веке также начали

развиваться методы статистического анализа пространственных данных. Французский инженер Шарль Жозеф Минар создал ряд инновационных карт, включая знаменитую карту похода Наполеона в Россию, которая объединяла пространственные и временные данные. Эти работы заложили основу для развития современных методов визуализации пространственных данных. Начало XX века характеризуется появлением первых теоретических моделей пространственной организации городов и регионов.

Одной из наиболее влиятельных теорий стала «теория центральных мест» Вальтера Кристаллера, предложенная им в 1933 году [15]. Эта теория описывает иерархическую систему расселения и предлагает геометрическую модель пространственной организации городов и их зон влияния. Хотя модель Кристаллера была идеализированной и не учитывала многие факторы реального мира, она все же стала важным шагом в развитии пространственного моделирования в области городского и регионального планирования.

Еще одной важной вехой в эволюции пространственного моделирования стала модель концентрических зон Эрнеста Бёрджесса [26]. Данная модель описывала структуру города как серию концентрических колец, каждое из которых соответствовало определенному типу землепользования. Стоит отметить, что модель Бёрджесса была основана на наблюдениях за отдельными городами и не могла претендовать на универсальность. Однако она явилась одной из первых попыток математического описания структуры городского пространства. В 1939 году Гомер Хойт предложил секторную модель города, которая развивала идеи Бёрджесса, но при этом учитывала влияние транспортных коридоров на развитие городской структуры [113]. Эта модель лучше отражала реальность многих американских городов того времени и стала важным шагом в развитии пространственного моделирования городской среды.

Середина XX века ознаменовалась «количественной революцией» в географии и смежных дисциплинах. Этот период характеризуется активным совершенствованием математических методов анализа пространственных данных и появлением первых компьютерных моделей. Одним из важных достижений

этого периода стало развитие теории пространственного взаимодействия. Модель гравитационного взаимодействия, предложенная Уильямом Рейли в 1931 году [69] и дополненная Джорджем Ципфом в 1940-х годах [70], стала широко применяться для моделирования пространственных взаимодействий между городами и регионами. Эта модель, основанная на аналогии с законом всемирного тяготения, позволяла оценивать интенсивность взаимодействия между пространственными объектами в зависимости от их «массы» (например, численности населения) и расстояния между ними. В 1960-х годах появились первые компьютерные модели городских систем. Одной из наиболее известных моделей стала «модель Лоури», разработанная Айрой Лоури в 1964 году [61]. Эта модель представляла собой систему уравнений, описывающих взаимосвязи между размещением жилья, рабочих мест и транспортной системой города. Модель Лоури послужила прототипом для многих последующих моделей городских систем и впоследствии широко применялась в городском планировании.

Другим важным направлением пространственного моделирования стало развитие методов пространственной статистики. В 1950-х годах Патрик Морэн разработал индекс пространственной автокорреляции, который позволял оценивать степень сходства пространственно распределенных признаков [86]. Этот индекс и его модификации стали широко применяться в анализе пространственных данных, в том числе в исследованиях городской среды.

Революционные изменения в пространственном моделировании произошли с развитием геоинформационных систем (ГИС) в 1960-х годах. ГИС позволили интегрировать пространственные данные из различных источников, проводить сложный пространственный анализ и создавать динамические модели пространственных процессов. Одним из важных направлений развития пространственного моделирования в этот период стало применение методов фрактальной геометрии к анализу городских структур. Работы Майкла Бэтти и Пола Лонгли [62] в 1990-х годах показали, что многие аспекты городской морфологии могут быть описаны с помощью фрактальных моделей. Данное направление открыло новые возможности для анализа и моделирования сложных

пространственных структур городов.

Другим важным направлением стало развитие агент-ориентированных моделей (АОМ) в пространственном моделировании. АОМ позволяют моделировать комплексные системы, состоящие из множества взаимодействующих агент-факторов, что особенно полезно при моделировании динамики типов землепользования или транспортных потоков.

В начале XXI века получили развитие методы пространственной эконометрики, что позволило учесть пространственные аспекты экономических моделей территорий.

Работы Люка Анселина [78] и других исследователей открыли новые возможности для универсальных методов анализа пространственных и экономических процессов.

1.2. Основные направления пространственного моделирования

Городская среда является комплексной сложной системой, в которой взаимодействуют различные компоненты: здания, дороги, зеленые насаждения, атмосферные факторы, водные ресурсы и пр.

Существующие исследования в области пространственного моделирования охватывают широкий спектр тем: от урбо-климатического до атмозкологического и ландшафтного моделирования. На данный момент активно используются математические и компьютерные модели для анализа городских процессов и явлений.

Одним из первых направлений, заслуживающим особого внимания, следует выделить *урбоклиматическое моделирование*, которое изучает влияние городской застройки на климатические условия. Городские территории, как правило, всегда имеют свои уникальные климатические характеристики, отличающиеся от окружающих сельских районов, что связано с явлением, известным как «городской остров тепла» (Urban Heat Island, UHI): температура в городах оказывается выше, чем в пригородах или сельской местности [23, 59, 102, 107, 114, 120, 134, 143, 147].

Среди методов, используемых для урбоклиматического моделирования, широкий спектр занимают численные модели (модели микроклимата), а также статистические методы, которые позволяют анализировать взаимосвязи между климатическими параметрами и характеристиками городской среды.

Численные модели, основанные на закономерностях и балльной оценке, позволяют проводить глубокий анализ распределения непрерывных показателей, таких как температура, скорость ветра и другие смежные параметры. В то же время, статистические методы регрессионного анализа, позволяют автоматизировано оценивать веса и вклады климатических факторов в прогнозную величину на основе различных баз данных.

Урбоклиматические исследования особенно актуальны в условиях глобального потепления, когда урбанизированные территории сталкиваются с новыми вызовами, связанными с повышением температуры и экстремальным и погодными явлениями в целом [24, 95].

Атмозкологическое моделирование играет важную роль в решении комплексной задачи городского планирования и оценки городской среды. Данное направление нацелено на изучение особенностей взаимодействия между атмосферой и городской инфраструктурой, включая оценку выбросов загрязняющих веществ и их влияние на здоровье населения.

Существует ряд глобальных моделей климата, например модели качества воздуха, такие как CALPUFF и AERMOD, которые позволяют исследовать распространение загрязняющих веществ. Все эти модели, основанные на многолетних данных, могут быть использованы для оценки влияния проектируемых объектов на качество воздуха [68, 101, 106, 116].

Ландшафтное моделирование составляет еще один важный аспект пространственного моделирования городской среды. Этот метод направлен на изучение взаимодействия природных и антропогенных пространственных структур, характеристики землепользования, оценку состояния экосистем в городской среде и их устойчивости к изменениям. Особое внимание уделяется пространственному расположению источников загрязнения и динамике

распространения загрязнителей, обусловленной особенностям местного ландшафта.

Методы ландшафтного моделирования позволяют исследовать изменения в городской застройке, определять степень и направленность их воздействия на окружающую среду.

Такие модели могут помочь в разработке стратегий по сохранению биоразнообразия и восстановлению экосистем в условиях урбанизации. Многие исследования сосредоточены на оценке влияния зеленых насаждений на микроклимат и качество жизни в городах. Например, работы, проведенные в рамках проектов по озеленению, показывают, что увеличение площади зеленых зон имеет прямую корреляцию с улучшением качества воздуха [51; 82, 88, 91]. Модели, учитывающие эти аспекты, могут помочь в планировании зеленых пространств и оценке их воздействия на здоровье населения. Исследования также подтверждают, что наличие зеленых насаждений связано с повышением уровня физической активности и снижением уровня стресса у жителей городов [91, 115; 131, 144]. Урболандшафтные могут быть использованы для разработки эффективных стратегий управления городской средой, направленных на улучшение качества жизни [55]. Методы ландшафтного моделирования помимо прочего включают в себя использование экологических индексов и показателей устойчивости, что позволяет оценить влияние различных факторов на экосистемы городов. Результаты исследований, полученные с использованием методов ландшафтного моделирования, способствуют более эффективному планированию и управлению городской средой.

Одним из наиболее распространенных методов пространственного моделирования является *географическое информационное моделирование* (ГИС). Геоинформационные системы представляют собой комплекс программных и аппаратных средств, которые используются для сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных. Основной целью ГИС является создание пространственных моделей, которые могут быть использованы для принятия решений в области градостроительства, экологии и управления природными

ресурсами. ГИС позволяют анализировать данные на различных уровнях, начиная с микроуровня (отдельные здания и улицы) и заканчивая макроуровнем (городские районы, города, регионы), что делает их крайне полезными для решения задач разработки стратегий устойчивого развития городов [65].

Методы пространственного моделирования в ГИС можно разделить на несколько категорий.

Первая категория включает методы, основанные на статистическом анализе пространственных данных, что позволяет выявлять закономерности и тренды природных и антропогенных процессов в городской среде. Например, с помощью статистической обработки можно выявить формулу распределения зеленых насаждений в городе и численно оценить их воздействие на микроклимат.

Вторая категория включает методы, основанные на моделировании различных процессов (например, трехмерное динамическое моделирование потоков тепла или загрязняющих веществ) [117].

Наиболее распространенным методом комплексного анализа городской территории является моделирование на основе регулярной сетки. К этой же категории методов относятся растровые модели. Метод предполагает разбиение территории города на небольшие ячейки и их последующий анализ, что позволяет оценить характер влияния различных факторов на городскую среду. Данный метод особенно эффективен при исследованиях крупных промышленных городов, таких как Саратов, характеризующийся разнообразием природно-ландшафтных условий и типов землепользования [110].

Важной частью пространственного моделирования является создание трехмерных моделей городской среды для грамотного управления и развития территории. Трехмерное моделирование используется для анализа световых потоков, шумового загрязнения, аэрации и других факторов, влияющих непосредственно на жизнедеятельность человека. Так, например, можно оценить, как высота зданий влияет на распределение солнечного света в городских кварталах, что имеет значение при планировании зеленых насаждений и общественных пространств.

Необходимо подчеркнуть, что различные методы моделирования могут быть интегрированы для более полного анализа городской среды. Модели, используемые для урбоклиматического, атмоэкологического и ландшафтного моделирования, могут быть объединены в единую систему, что позволит исследователям получить более полное представление о взаимодействии различных факторов.

Важным аспектом использования ГИС в пространственном моделировании является возможность проведения сценарного анализа. Этот метод позволяет оценить последствия увеличения плотности застройки, изменения использования земель или внедрения новых транспортных систем.

Несомненно, ключевым направлением исследований в области атмоэкологического и городского моделирования в целом, является разработка интегральных моделей, которые смогут учитывать различные аспекты урбанизированных геосистем и их адаптивность к изменениям.

Выбор метода моделирования во многом зависит от масштаба модели. Многие исследования направлены на узкоспециализированные методы оценки среды в рамках отдельных микрорайонов, реже городов, что ограничивает их применение в реальных условиях. Другими словами, модель идеальной территории может дать лишь приблизительную оценку развития географических процессов. В связи с этим важной задачей на этапе моделирования является выделение всех факторов, влияющих на изучаемый процесс или явление, и дальнейшая нормализация всех значений до единого масштаба для корректности сравнения и анализа.

1.3. Методы пространственного моделирования в урбодиагностике

1.3.1. Методы урбоклиматического моделирования

Современные методы урбоклиматического моделирования основаны на гибридных подходах с использованием геоинформационных технологий, методов математико-картографического моделирования, статистических методов с учетом

климатических факторов [50, 57].

Геоинформационное обеспечение позволяет анализировать пространственные данные о городской инфраструктуре, а также в оперативном режиме находить взаимосвязь температуры, осадков и ветровых характеристик. Кроме того, ГИС-системы могут быть использованы для анализа исторических изменений климата, что, в свою очередь, может быть полезно для понимания долгосрочных тенденций и трендов [94].

Другим не менее важным аспектом является использование спутниковых данных. Технологии космического зондирования, позволяют собирать информацию о температуре, влажности, облачности и других климатических параметрах на обширных территориях. Такие глобальные данные могут быть использованы для калибровки и валидации численных моделей, для мониторинга изменений в городской среде, в частности, выявления островов тепла и аномалий температуры [48].

Стоит отметить, что понятие урбоклиматического моделирования связано не только с технологической сферой, но также требует учета социальных, экономических и культурных факторов, которые могут влиять на адаптацию городской среды к климатическим изменениям.

Таким образом, методы урбоклиматического моделирования представляют собой эффективный инструмент для изучения характера взаимодействия между городской средой и климатом. Они позволяют не только оценивать текущую ситуацию, но и прогнозировать ее изменения, что особенно актуально для долгосрочного планирования развития городских территорий.

1.3.2. Методы атмозкологического моделирования

Атмозкологическое моделирование основано по большей части на решении уравнений, описывающих физические процессы в атмосфере, такие как конвекция, солнечная радиация, химические реакции, воздушные потоки и др.

В зависимости от характера исследований, можно выделить глобальные и региональные уровни моделирования. Глобальные модели охватывают всю

планету и позволяют оценить общие тенденции изменения климата, тогда как региональные модели сосредоточены на более узких географических объектах. Примером глобальных климатических моделей является модель WRF (Weather Research and Forecasting), основанная на методах машинного обучения, которая широко используется для прогнозирования погоды, [114].

Атмозкологическое моделирование, помимо прочего, предполагает использование спутниковых данных для мониторинга состояния атмосферы, что позволяет получать данные о загрязнении атмосферы на больших площадях.

Среди методов атмозкологического моделирования можно выделить модели рассеяния загрязняющих веществ в городском пространстве. Динамические модели позволяют проследить путь распространения загрязняющих веществ в атмосфере, их химическое взаимодействие, изменение концентраций в зависимости от скорости ветра, температуры, влажности, геометрии пространства. При этом часто используется метод регрессионного анализа, позволяющий прогнозировать загрязнение в зависимости от изменения условий [64]. Так как методы любого моделирования подразумевают комплексный продукт на выходе, нужно учитывать многофакторность входных параметров. Например, точность модели напрямую будет зависеть от того какие метеорологические параметры (скорость и направление ветра, температура и влажность) будут введены в модель и какие веса существенно влияют на динамику загрязнения. Модели типа CMAQ (Community Multiscale Air Quality) чаще всего используются для оценки влияния источников загрязнения на качество воздуха, их можно использовать для валидации и нахождения корреляционных зависимостей [105].

Важным направлением в атмозкологическом моделировании является использование алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ). Технологии ИИ позволяют обрабатывать большие объемы данных (Big Data) и выявлять сложные нелинейные зависимости. Например, алгоритмы машинного обучения могут использоваться для прогнозирования уровней загрязнения воздуха на основе исторических и статистических данных,

метеорологических условий, рельефа и других параметров.

Модели, учитывающие связь между качеством воздуха и здоровьем населения, позволяют оценить потенциальные риски и спрогнозировать возможные проблемы как в городском планировании, так и в смежных отраслях (например медицинской географии).

Очевидно, методы атмозкологического моделирования представляют собой многофункциональный комплекс, сочетающий в себе использование как традиционного математического аппарата, так и современных тенденций картографирования и машинного обучения. В условиях глобальных изменений климата и урбанизации атмозкологическое моделирование позволяет более точно оценивать состояние атмосферы, выявлять зоны загрязнения, представлять тренды развития территории и разрабатывать стратегии развития городской среды.

1.3.3. Методы ландшафтного моделирования

Для ландшафтного моделирования ключевыми методами выступают стандартные методы картографии и географии. Использование технологий географических информационных систем (ГИС) открывает широкие возможности автоматизации и более углубленного пространственного анализа территорий на разных уровнях масштаба.

Например, можно проанализировать влияние изменения типов землепользования на местные экосистемы, оценить риски наводнений или разработать сценарий ущерба от загрязняющих веществ.

Важным аспектом использования ГИС является возможность визуализации данных в виде карт, что значительно облегчает интерпретацию результатов и их представление заинтересованным сторонам.

Еще одним важным методом ландшафтного моделирования является использование численных моделей, которые позволяют проводить количественный анализ процессов, происходящих в ландшафтах [58].

Среди методов ландшафтного моделирования широко используются так

называемые объектно-ориентированные модели, которые представляют собой аналитику и оценку элементов экосистемы, их эмерджентность и прогноз. Такие модели позволяют исследовать, как индивидуальные действия факторов-объектов, так и их комплексное взаимодействие в общей динамике системы. Данный подход позволяет учитывать разнообразие реакций и адаптаций, которые могут возникнуть в ответ на изменения, и дает более детализированное представление о сложных взаимодействиях в ландшафтных системах [56].

Стоит отметить методы, основанные на статистическом анализе и пространственной аналитике с применением данных дистанционного зондирования. Бесконтактные методы, связанные с получением информации по спутникам, особенно полезны в условиях ограниченных данных, когда прямое измерение и моделирование затруднено. Пространственная статистика, в свою очередь, позволяет оценивать степень автокорреляции, которая проявляет прямые, обратные связи и даже их отсутствие на мезомасштабных уровнях.

Методы, положенные в основу ландшафтных подходов с использованием числового и пространственного моделирования, позволяют выявлять закономерности и тенденции в рядах данных, что, в свою очередь, дает возможность сформировать общий тренд процесса и прогнозировать его развитие для исследуемых территорий.

Важным аспектом ландшафтного моделирования является также использование разработки различных сценариев развития территории и рисков для оценки землепользования и разработки стратегии в области охраны окружающей среды.

Наконец, следует отметить, что качество модели всегда зависит от качества и доступности исходных данных. Актуальные релевантные данные являются основой для комплексного и узкоспециализированного моделирования.

Таким образом, ландшафтное моделирование представляет собой каркас пространственного моделирования, располагающий различным набором инструментов и подходов, позволяющих решать наиболее актуальные задачи, связанные с взаимодействием природных и антропогенных компонентов

городской среды, прогнозировать ее изменения и разрабатывать стратегию устойчивого развития городов.

1.4. Современные тенденции в пространственном моделировании городской среды

Современные тенденции в развитии пространственного моделирования связаны с анализом больших массивов данных и активным внедрением методов машинного обучения, позволяющими учитывать в создаваемых моделях влияние самых разнообразных факторов на городскую среду.

В настоящее время одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений пространственного моделирования является концепция «цифрового двойника» города, предложенная Батти (2018) [123], которая предполагает создание виртуальной копии города, интегрирующей данные о застройке, инфраструктуре, транспортных потоках, экологической обстановке и социально-экономических процессах. Виртуальная цифровая модель городской среды позволяет моделировать различные процессы и прогнозировать изменение ситуации на основе интеграции множества данных и факторов.

Наиболее актуальным направлением пространственного моделирования является моделирование загрязнения приземных слоев атмосферы и прогнозирование изменения качества атмосферного воздуха на основе комплексного анализа факторов загрязнения. Например, исследование Санчес-Родригес и соавторов (2018) [146] демонстрирует применение системно-динамического моделирования для анализа взаимосвязей между землепользованием, транспортной системой и качеством воздуха в городской среде [154]. Исследование, проведенное группой ученых из Сибирского федерального университета [13], демонстрирует эффективность использования непараметрического метода ядерной аппроксимации для моделирования содержания примесей в атмосферном воздухе города. Авторы предложили модель, которая дополнительно учитывает плотность городской застройки, определяемую с помощью анализа спутниковых снимков. Результаты

моделирования позволили выявить области с наибольшей концентрацией загрязняющих веществ, таких как диоксид азота и формальдегид.

Важным аспектом моделирования загрязнения воздуха является учет влияния городской морфологии на распространение загрязняющих веществ. Исследования показывают, что геометрия улиц и зданий может существенно влиять на концентрацию и распространение загрязнителей. Так, в работе Брюнера и соавторов (2013) [124] представлена модель, учитывающая влияние городских каньонов на распространение загрязняющих веществ от автомобильного транспорта.

Рельеф играет важную роль в формировании городской среды, влияя на расположение застройки, транспортной инфраструктуры и микроклимат. Современные методы пространственного моделирования позволяют детально учитывать особенности рельефа при планировании развития города. Цифровые модели рельефа (ЦМР) стали ключевым инструментом в анализе влияния топографии на городскую среду. Использование лазерного сканирования и фотограмметрических методов позволяет создавать высокоточные ЦМР, которые служат основой для различных видов анализа. Например, исследование Ли и соавторов (2017) [135] демонстрирует применение ЦМР для оценки потенциала солнечной энергии в городской среде, учитывающего затенение от зданий и особенности рельефа.

Другим перспективным направлением моделирования является моделирование влияния рельефа на гидрологические процессы в городской среде. Работа Чжу и соавторов (2019) [155] представляет комплексную модель городского стока, учитывающую как естественный рельеф, так и антропогенные изменения поверхности. Эта модель позволяет прогнозировать риски затопления и оптимизировать систему городского водоотведения.

Городской климат существенно отличается от климата окружающих территорий, что делает климатическое моделирование одним из наиболее важных направлений пространственного анализа городской среды. В рамках микроклиматического моделирования особое внимание уделяется феномену

городского острова тепла и его влиянию на комфорт и здоровье жителей. Исследование Оке и соавторов (2017) [142] представляет комплексный подход к моделированию городского климата, учитывающий многофакторное взаимодействие в городской среде: между застройкой, зелеными насаждениями и атмосферой. Авторы предлагают концепцию «локальных климатических зон» (LCZ), которая позволяет классифицировать городские территории по их микроклиматическим характеристикам.

Важным направлением является моделирование влияния городской морфологии на ветровой режим. Работа нидерландских и бельгийских ученых (2017) [150] демонстрирует применение методов вычислительной гидродинамики (CFD) для анализа ветровых потоков в городской среде и их влияния на тепловой комфорт горожан.

Существует ряд отечественных исследований [104, 4-12, 54, 80-81], направленных на изучение аэрационного режима, распределения загрязнения в пределах городской застройки, анализ инфраструктуры и загрязнения в комплексе. В рамках этих исследований проводятся различные натурные обследования объектов транспортной инфраструктуры в крупных городах и моделирование процессов рассеивания отработанных газов автомобилей в воздухе с использованием моделей жилых зданий и зелёных насаждений. В этих работах описываются закономерности формирования режима аэрации городских улиц и рассеивания загрязняющих веществ, оцениваются оптимальные варианты планировки, застройки и озеленения магистральных улиц, обеспечивающие снижение загазованности пешеходных зон, общественных пространств и территории жилых образований. Работы доказывают, что учет аэрационного режима при застройке территорий является неотъемлемой частью рационального градостроительства [6-12].

Однако стоит отметить, что все подобные работы используют либо исключительно математическое моделирование, либо рассматривают локальные структуры в рамках архитектурного анализа, либо подробное моделирование загазованности на искусственных модельных площадках, не исследуя при этом

комплексное влияние природных, метеорологических и техногенных факторов.

Современные подходы и методы моделирования урбанизированных территорий характеризуются учетом взаимосвязей между загрязнением воздуха, рельефом, климатом и другими компонентами городской среды. Такой интегральный подход позволяет создавать комплексные модели, способные отражать индивидуальную сложность городских систем.

Таким образом, современные тенденции пространственного моделирования городской среды связаны с:

- 1) использованием ГИС-технологий для комплексного анализа городских систем;
- 2) применением методов дистанционного зондирования Земли для получения актуальных данных о городской среде;
- 3) развитием методов трехмерного моделирования городского пространства;
- 4) интеграцией больших данных (BigData) в модели развития города;
- 5) использованием методов машинного обучения и искусственного интеллекта для прогнозирования городских процессов.

ВЫВОДЫ

1. Основными направлениями геопро пространственного моделирования являются: урбоклиматическое, атмоэкологическое, ландшафтное, географическое информационное моделирование (ГИС), которое, в свою очередь, оперирует несколькими категориями методов – пространственной статистики, пространственного анализа, ячеистых структур. Каждое из направлений имеет свои преимущества и ограничения, поэтому целесообразность использования того или иного направления и методов определяется спецификой аналитических задач.

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

3. Одной из ключевых составляющих в пространственном моделировании городов в геоэкологических исследованиях служит 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

2.1. Особенности рельефа: ярусность, ступенчатость, котловинность, соседство с водохранилищем, расчлененность балками и ущельями

Рельеф территории города – один из главных факторов в его историческом развитии. Морфология рельефа, специфика геоморфологических процессов, взаимодействие с другими компонентами городского ландшафта определяет направленность и скорость урбогенеза. В Саратове рельеф непростой. Наблюдаются двухсотметровые перепады относительных и абсолютных высот: от уреза воды Волгоградского водохранилища до верхних отметок Лысогорского плато всего 2-3 км. Это факт обуславливает большую энергию рельефа – линейную и плоскостную водную эрозию, обвально-осыпные процессы вдоль уступа Лысогорского плато, наличие древних и современных оползней по склонам Лысогорского и Соколовогорского плато, долинам малых рек и крупных балок.

Саратов относится к городам с весьма выразительным рельефом. Начиная со среднего плейстоцена, рельеф территории Саратова сохраняет следы разнообразных геоморфологических процессов, обусловленных спецификой литогенеза, неотектоническими процессами, многообразными палеоклиматическими событиями, обусловленными чередованием ледниковых и межледниковых эпох, трансгрессиями и регрессиями Каспия, гравитационными и абразионными процессами в долине Волги, на восточном крутом склоне Приволжской возвышенности и ее разновысотном плато.

На протяжении плейстоцен – голоценового морфогенеза, то есть за сотни тысяч лет вдоль волжского побережья, на наклонной к Волге котловинообразной делювиальной поверхности, разделенной на три части четко выраженными водоразделами и на склонах олигоценовой равнины верхнего плато, называемого в пределах Саратова Лысогорским, сформировался целый набор разнообразных морфоструктур и морфоскульптур разного порядка: от плоских и выпуклых

водоразделов, уступов разной крутизны и ориентации, до крупных и мелких оврагов, балок, долин малых речек, линейных и округлых водоразделов, изоморфными в плане котловинами, эрозионно-денудационными ступенчатыми склонами, с оползевыми телами, эрозионными цирками, понижениями, плоскими аккумулятивными террасами, поймами и пролювиальными шлейфами [75] (рис. 2.1.1). Однако в целом рельеф территории Саратова в исторической вдоль волжской части города представляет своеобразный природный амфитеатр, верхний ярус которого это останцовое Лысогорское плато, отделенное от «партера», то есть котловин, спускающихся к волжским террасам и урезу плато обрывается к котловинам крутым денудационным уступом. Уступ полигенетичен и расчленен крупными залесенными балками с водотоком, глубокими оврагами, промоинами, изобилует оползнями разного возраста и площади.

Отдаленные от Волги на 5 - 10 км северо-западная, северная и северо-восточная части территории Саратова представляют денудационную равнину раннеплейстоценового возраста, служащую водосбором малых речек, впадающих в Волгу и её притоки и даже в речки донского, например, река Латрык, берущая начало на Лысогорском плато и впадающая в Идолгу, приток р. Медведицы.

Анализ морфоструктурного своеобразия территории Саратова позволяет выделить и подчеркнуть её микроклиматическое своеобразие, обусловленное рельефом на разных урболандшафтных участках с разным риском накопления загрязняющих веществ и формирования техногенных геохимических ореолов.

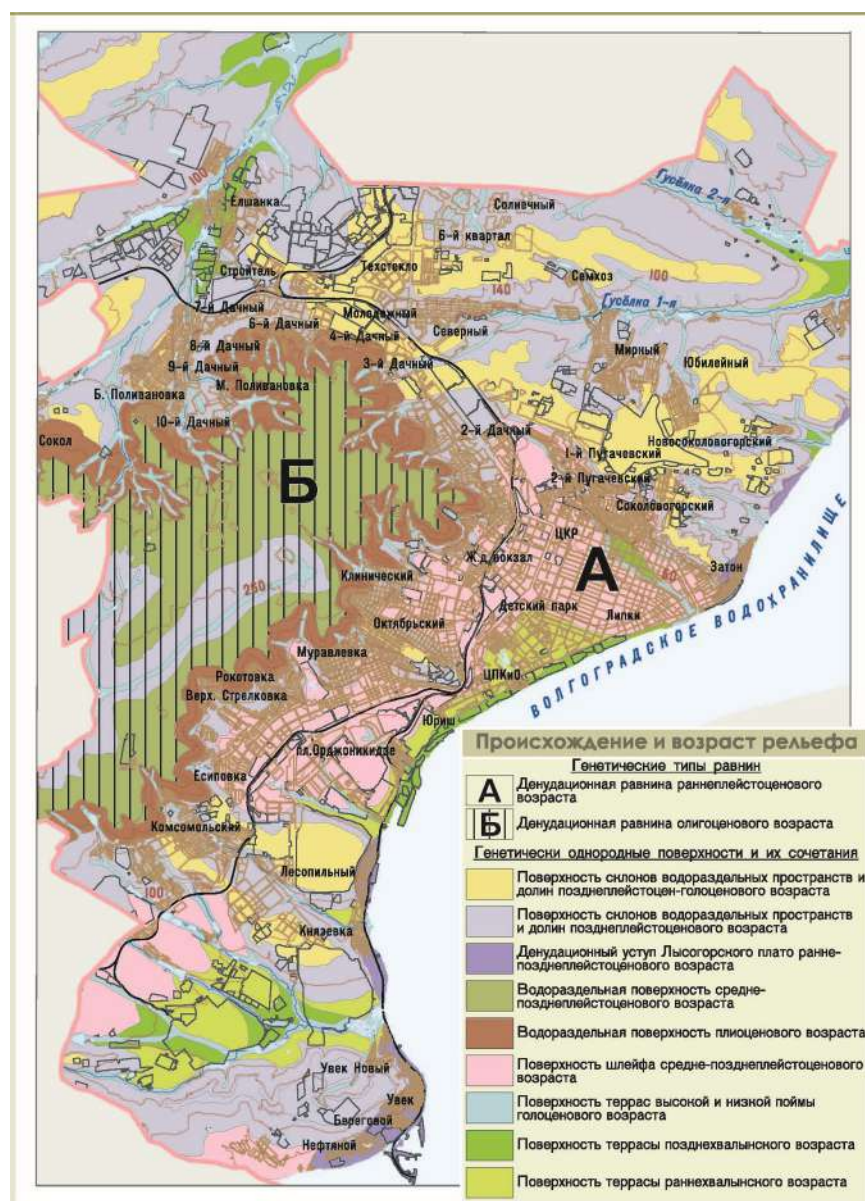


Рис. 2.1.1. Геоморфологическая карта г. Саратов [109]

Территория староосвоенной исторической части города между Волгоградским водохранилищем и нижней частью денудационного уступа Лысогорского плато, называемое **Приволжской котловиной** [72] имеет три особенности:

- «котловинность», то есть вогнутость рельефа»;
- общий уклон к Волге, с перепадом абсолютных высот от 140 до 15 метров над урезом воды»
- расчлененность крупными балками и оврагами с водотоком и многими притоками – отвершками оврагов, ныне засыпанными на протяжении освоения территории города;

Приволжская котловина выделяется в отдельный геоморфологический и урболандшафтный районы. Она подразделяется на три субкотловины – *Северную, Центральную и Южную*, тянущиеся вдоль Волги примерно на 30 км.

В субкотловинах, особенно в Северной, наиболее плотно застроенной и транспортно загруженной, вследствие плохой проветриваемости, большого объема транспортных и промышленных выбросов, преобладают плохо и очень плохо проветриваемые участки [75].

Выше субкотловин расположен *денудационный уступ*, опоясывающий Лысогорское плато полукольцом. Его абсолютные отметки от 140 до 240 метров. Перепад высот достигает 60 - 100м. Визуально это наиболее выразительный элемент саратовского морфоструктурного амфитеатра. Его крутизна достигает 25 и даже 30 градусов. Уступ расчленен оврагами, промоинами и залесенными крупными балками - «ущельями», придающими уступу «горный» вид. Многочисленны древние эрозионно- оползневые цирки шириной до 1-2 километров. Балки, овраги, цирки разделены мысообразными вытянутыми к Волге и длинными ступенчатыми склонами, окаймляющими крупные водораздельные массивы. Ориентация склонов балок подступной верхней части субкотловин преимущественно преи мкщественнор северо-восточная и юго-восточная [75]. Надступная часть городской территории представляет древнюю неровную олигоценую поверхность северо-восточного простирания, покрытую липово-кленово-дубовым лесом, с крупными по площади полянами из разнотравья, садово-дачных массивов многочисленных лесных просек, асфальтированных и грунтовых дорог, территорий детских оздоровительных лагерей и прочих объектов [75].

Следующий крупный геоморфологический и урболандшафтный район городской территории – *Елшанско-Гусельская равнина*. Междуречная равнина расположена в северной части города на среднем этаже городского рельефа между Приволжской котловиной и Лысогорским плато и является водосбором двух небольших рек, впадающих в Волгу – реками Елшанкой и Гуселкой. Равнина расчленена оврагами, балками и долинами малых рек.

Елшанско-Гусельский урболандшафтный район подразделяется на две части: Курдюмо-Елшанский подрайон и Гусельский подрайон.

Северная часть – Курдюмо-Елшанский подрайон обладает чертами «котловинности». Данная особенность рельефа подчеркивается близостью четко выраженного уступа в северной части Лысогорского плато, наличием в подступной части крупных участков междувражных пониженных ступенчатых водоразделов и комплексом надпойменных террас р. Елшанки.

Рельеф Гусельского подрайона более контрастен. Он выше Курдюмо-Елшанского и по абсолютным отметкам и относительным превышениям высот. Наиболее возвышенная его часть – Соколовогорский водораздельный массив имеет отметки высот в 160 метров, а устье Гуселки – 15 метров. Южный и восточный склоны Соколовой горы осложнены оползнями, осыпями, описанными в исторической литературе и обрывающимися к Глебучеву оврагу – крупной балке с водотоком в пределах уже Северной субкотловины и заложенной по тектоническому разлому – Елшано-Сергиевской флексуре [75].

Западная часть подрайона представляет междуречье 1-ой и 2-ой Гуселок. Оно не столь разнообразно по рельефу и расположено на более низких абсолютных отметках. Значительную площадь здесь занимают надпойменные террасы и пойма низовий Гуселок, представляющие единый пойменно-террасовый устьевой комплекс [75].

2.2. Влияние рельефа на градостроительство и территориальное планирование

Рельеф и климат – природные факторы во многом определяющие развитие и судьбу города. С учетом, конечно, и выгоды местоположения по отношению к крупным рекам, а также близости или удаленности от морских побережий, важных административных и экономических центров.

Рельеф города и благо, и источник многих трудностей в жизнедеятельности города. При освоении территории застраиваются, прежде всего, участки с ровным рельефом: плоскоместные междуречные и межбалочные водоразделы, пологие

склоны, надпойменные речные террасы, участки с близ расположенными источниками воды, хорошо дренируемые, без постоянных сильных ветров, но и достаточно хорошо проветриваемые. Подчеркнем первостепенное значение имеют площадки с ровным рельефом и устойчивыми грунтами.

Саратов – яркий пример постепенного прагматичного последовательного освоения территории со сложным рельефом. Первоначально были освоены волжские надпойменные террасы, и слабо наклонные к Волге городские котловины на пролювиальном и делювиальном шлейфах. Северная субкотловина, северная граница которой ограничена подошвой Соколовой горы и включает долину Глебушева оврага была первой исторической площадкой рождающегося нового города на Волге. С середины XIX века постепенно начала осваиваться Центральная субкотловина, а в начале XX века и Южная субкотловина. Междуречья рек Елшанки и Гуселок на средней и нижних ступенях выравнивания Приволжской возвышенности стали осваиваться с 30-х годов XX века.

Застройка осуществлялась в Северной субкотловине постепенно и повсеместно сначала деревянными, затем кирпичными двух-трехэтажными жилыми и специализированными под торговлю, ремесло домами согласно плану поквартальной застройки города, присланному из Санкт-Петербурга в начале XIX века. Крупные и мелкие овраги и их отвержки постепенно засыпались. Застройка была плотной, мелкоквартальной. Так постепенно возник современный городской облик исторической части города с его площадями, торговыми рядами, базарами, храмами. В Центральной и Южной субкотловинах освоение сельскохозяйственных пригородных земель – садов, огородов осуществлялось линейно и очагово. Вдоль Астраханского тракта, вокруг строящихся предприятий машиностроения, нефтехимии, нефтепереработки и нефтехранения. Застройка была малоэтажной слободской поселковой и среднеэтажной. Так постепенно с 1930-х годов в двух южных субкотловинах формировалась *Южная промышленная зона*, ставшая к концу XX столетия одной из самых экологически неблагоприятных в городе.

К северу, северо-западу от Северной субкотловины, вдоль восточного и северного склонов Лысогорского плато в линейно вытянутой депрессии рельефа, маркирующей направление Елшано-Сергиевской тектонической флексуры вдоль подошвы склона плато и железной дороги, где издавна находился Московский тракт с 1940-х годов постепенно создавался новый промышленный район с предприятиями точного машиностроения, приборостроения, пищевой промышленности. Далее к северу, на междуречье рр. Елшанка и 2-ая Гуселка в 1950-х гг. было построено крупное предприятие по производству технического стекла. Вдоль проспекта Строителей и на террасах р. Елшанки создали несколько заводов панельного домостроения. Поселок Елшанка.

Междуречья 1-ой и 2-ой Гуселок и на их террасах в 1960-х и 1990-е годы возникли крупные жилые массивы средней и повышенной этажности: поселки «5 квартал», «6 квартал», «Солнечный -1», «Солнечный -2». Коттеджные поселки на террасах 1-й Гуселки, значительно расширились еще довоенные поселки «Северный». Сформировалась Северная промышленная зона и крупнейшие в городе спальные массивы с высотной 9-12 этажной застройкой.

Ныне активно осваивается под жилье северо-восточное направление на второй поверхности выравнивания к северу от Соколовой горы – поселок Юбилейный и многочисленные коттеджные строения вдоль Усть-Курдюмского тракта и в низовьях долины Гуселок.

2.2.1. Влияние рельефа на транспортную инфраструктуру

Функционально-структурная целостность современного Саратова обеспечивается основными городскими и вылетными автомагистралями и железной дорогой с городской электричкой. Их трассы соответствуют исторически сложившимся линиям трактов, связывающих веками Саратов с Астраханью и Москвой. На московском направлении они проложены в депрессии рельефа между склоном Лысогорского плато и склонами нижних поверхностей выравнивания Приволжской возвышенности. В южном направлении дороги построены на надпойменной террасе Волги и делювиальном шлейфе всех трех

Саратовских субкотловин с постепенным выходом магистралей на нижнее и среднее плато Приволжской возвышенности.

2.2.2. Влияние рельефа, подземных вод и литологии на инженерные коммуникации

Территория Саратова имеет разнообразную литологическую структуру. *Котловинная часть* города сложена вдоль Волги аллювиальными отложениями голоцена и насыпными грунтами. Основная часть *днища котловин*, слабо наклонных к Волге, сформирована аллювиально-пролювиальными, делювиальными, пролювиальными суглинистыми, глинистыми породами средне- и верхнеплейстоценового возраста. *Подступная часть* состоит из пород разного механического состава, имеющих разный генезис – от оползневых до делювиальных и морских. *Междуречье рр. Елшанки и Гуселок* сложено породами верхнего и нижнего мела и верхней и нижней юры. Они глинисты, тяжелосуглинисты, местами представляют опесчаненные глины, суглинки и супеси. Длительность работы подземных водонесущих коммуникаций, как водоснабжающих, так и теплонесущих и канализационных на плоских участках и на слабо наклонных поверхностях зависит, прежде всего, от их возраста и инженерно-геологических свойств грунтов. Поэтому в *котловинной части* города основной фактор нарушения герметичности подземных коммуникаций – степень их изношенности и техногенная суффозия, то есть просадки в насыпных почвогрунтах, вызванных утечками воды и рыхлостью.

На Елшано-Гусельском междуречье нижнего и среднего плато, где рельеф не столь сложный, как в подступной части, главный фактор риска для подземных коммуникаций, это близкое залегание подземных вод и верховодки, что приводит к быстрой коррозии труб и их разрушению. Водоупорный маастрихский карбонатно-терригенный горизонт местами трещиноват и обводнен водами сызранского водоносного горизонта. Поэтому требуется вокруг значимых объектов кольцевой дренаж. Поэтому тепловые сети от ТЭЦ-5 городские власти вынуждены были вынести на поверхность, нарушая эстетику городской среды.

2.2.3. Влияние рельефа на застройку и использование земель

Городская территория по своему функциональному использованию, что отражается в генеральном плане города и других градорегулирующих документах, представляет территории занятые жильем, общественно-торговыми и производственными объектами, земли под транспортной и инженерной инфраструктурой, специальные земли, рекреационные и сельскохозяйственные земли, земли под горными отводами и месторождениями полезных ископаемых, городские пустыри, бедленды, полигоны твердых бытовых отходов, отстойники, кладбища, военные полигоны, общественные гаражи и некоторые другие участки.

В Саратове, который с недавних пор стал вторым по площади городом России, благодаря включению в его административную границу всего сельского Саратовского муниципального района, имеет чрезвычайно редкую площадь освоения. Поэтому мы не будем рассматривать территорию Саратова вместе с Гагаринским районом (бывшее название Саратовского сельского муниципального района), а ограничимся традиционными границами города в его 310 кв. км.

Старый исторический Саратов расположен в Северной субкотловине. Её площадь примерно 35,3 кв.км. то есть чуть более 11% современной территории города.

Это наиболее освоенная и урбогенно измененная часть Саратова. Более 70% территории субкотловины занято жилой застройкой. Она преимущественно мало- и среднеэтажная. В старом Саратове мало зелени, сетка улицы прямоугольная. Имеются промышленные площадки небольших предприятий разного профиля. Для Северной субкотловины характерны высокая «запечатанность» в асфальт почвенного покрова и плохая проветриваемость. Более 80% территории старого города не способно к самоочищению. Загрязняющие вещества концентрируются в воздухе, почве, поверхностных и подземных водах.

В Центральной субкотловине одноэтажное жилье сосредоточено в подуступной части в при заводских поселках, возникших в годы индустриализации и Великой Отечественной войны. Мало-и среднеэтажное

жилье сосредоточено по обе стороны железной дороги, пересекающей среднюю часть Центральной субкотловины. Многоэтажное жилье занимает не более 7 % площади субкотловины. Площадки крупных машиностроительных заводов, предприятий теплоэнергетики составляют 25% общей площади. Гаражи, карьеры, пустыри составляют также около четверти всей площади центральной субкотловины. Лесополосы, садовые участки занимают примерно 15% территории. Слободская застройка носит полосчатый характер и сосредоточена вокруг промышленных площадок бывшего авиационного завода, заводов зубострогальных и зуборезных станков подшипникового завода, речного грузового порта, завода щелочных аккумуляторов. В годы работы этих предприятий на полную мощность в советское время они были крупными источниками разнообразных выбросов соединений тяжелых металлов, пыли, окислов углерода.

Южная субкотловина была освоена позже других приволжских субкотловин. Жилье, преимущественно, одноэтажное и малоэтажное здесь занимает не более 10% площади. На водораздельных межбалочных участках и пологих склонах расположены крупные площадки нефтехимического и нефтеперерабатывающего заводов. В долинах рек Назаровка, Березина Речка много сельскохозяйственных земель, теплиц. В верхней части субкотловины и в тальвегах оврагов и балок встречаются лесные массивы. Лесополосы. В нижней части субкотловины размещены садовые участки и огороды. Они занимают примерно треть территории Южной субкотловины. Другая треть территории представляет пустыри, бедленды, свалки, кладбище, пруды. Нефтеперерабатывающий завод и завод по производству синтетических материалов являются источниками выбросов загрязняющих летучих органических веществ, тяжелых металлов, которые, как установлено нашими исследованиями, переносятся южными ветрами в холодное время года вдоль Волги в центр города в Северную субкотловину.

Три четверти территории *междуречья Елианки и Гуселок в Курдюмо-Елианском и Гусельском урболандшафтных* подрайонах занято бедлендами,

сельскохозяйственными землями, дачными массивами, горными отводами под нефтедобывающие и газодобывающие производства, полигонами хранения ТБО, складскими базами, птицефабриками, теплицами, кладбищами. Крупные предприятия строительной индустрии и точного машиностроения размещены на водоразделе рр. Елшанка и 2-я Гуселки (завод «Техстекло»), на террасах р. 2-ая Гуселка и 1-ая Гуселка, и в депрессии рельефа между нижней северо-восточного и северного склонов Лысогорского плато и западными и юго-западными склонами Соколовогорского плато. Соколовогорский массив представляет восточный фрагмент нижнего плато Приволжской возвышенности и выходит восточным и южным крутым склоном к берегу Волги и долине обширной речке-балке Глебучев овраг [75].

Лишь 10-15% территории междуречья занято жильем. Одноэтажные и малоэтажные дома поселков Мирный, Северный, Елшанка, Большая и Малая Поливановка, Нефтяников, Соколовогорский окружены пустырями и погружены в недавно построенные массивы многоэтажной «спальной» застройки в Солнечном -1, Солнечном-2, Юбилейном, на 5-ом, 6-ом кварталах.

Жилые многоэтажные отделены от промзон трансгородскими и вылетными улицами-проспектами и железной дорогой. Это улица Шехурдина, проспекты имени 50-лет Октября, Строителей, улица Усть-Курдюмская. По ним проходит основной поток автотранспорта, создавая основной объем вредных выбросов вдоль транспортных коридоров.

2.3. Естественный потенциал проветриваемости воздушного бассейна

Для оценки природного потенциала проветриваемости территории города были построены карты ветрового (аэрационного) режима при разных направлениях ветра. Сопоставление этих карт позволило определить зоны с высоким, умеренным, низким и очень низким потенциалом проветриваемости воздушного бассейна (Приложение 3).

Карта аэрационного режима представляет собой совокупность участков, характеризующихся различными скоростями ветра. Карты аэрационного режима

необходимы для расчётов и построения карт атмосферных загрязнений, поскольку известно, что процесс атмосферной диффузии и перенос загрязняющих веществ в атмосфере крайне чувствителен к изменениям скорости ветра в пространстве воздушного бассейна [97].

Рельеф местности вносит существенные изменения в аэрационный режим территорий, которые состоят в том, что воздушный поток, обтекающий различные формы рельефа, трансформируется как по скорости, так и по направлению движения. Изменение ветровых характеристик зависит от положения рассматриваемого участка в рельефе: на водоразделе, в низине, на склоне. При этом особое значение имеет то, в какой части склона находится участок (верхней, средней, нижней) и какое положение он занимает относительно преобладающего ветра (наветренное, подветренное, параллельное).

Расчет аэрационного режима включает в себя:

- 1) генерализацию рельефа местности;
- 2) построение карт экспозиции склонов и углов наклона;
- 3) разбивку территории города на участки по формам рельефа, экспозиции склонов, положению на склоне на следующие категории [93]:
 - плоские водоразделы;
 - плоские котловины;
 - донные части долин, котловин, оврагов, продуваемых или непродуваемых ветром;
 - холмы с плоскими вершинами и пологими склонами;
 - верхние, средние, нижние части склонов, ориентированных относительно преобладающего направления ветра (наветренные, подветренные, параллельные ветру);
- 4) определение коэффициентов изменения скорости ветра в различных условиях рельефа;
- 5) построение итоговой карты ветрового режима территории.

При построении карты ветрового режима ключевыми параметрами являются направление и скорость ветра. В зависимости от целей исследования

отдельно учитываются преобладающие направления и скорости ветра, характерные для различных периодов года. Так, в целях оценки территории с точки зрения биоклиматической комфортности при архитектурно-климатическом анализе необходимо решать одновременно две задачи – защиту от ветра и холодового стресса в зимнее время и обеспечение аэрации и комфортных микроклиматических условий летом [49]. В этом случае при построении карты ветрового режима используются данные о наибольшей повторяемости ветров в теплый и холодный периоды.

При оценке ветрового режима территории с целью определения потенциальных возможностей приземного слоя атмосферы к самоочищению в первую очередь следует учитывать направление ветра в период с наиболее неблагоприятными атмосферными условиями, способствующими накоплению загрязняющих веществ. В летний сезон концентрация почти всех исследуемых специфических примесей (аммиака, фенола, формальдегида, хлористого водорода, сероводорода) увеличивается с повышением температуры [60], а способность атмосферы к самоочищению снижается [66]. Вместе с тем преобладающие ветры не всегда способствуют переносу значительного количества вредных веществ, а наибольшее загрязнение воздуха в некоторых случаях формируется при ветрах малой повторяемости. [60]. Поэтому в целях определения естественного потенциала проветриваемости территории были построены четыре карты ветрового режима, учитывающие ветра четырех основных направлений – северного, южного, западного и восточного. При этом за направление принимался румб в 60° , то есть направление «север» включает не только собственно северное, но также северо-восточное и северо-западное направления и т.д. (приложение 3). Показатель скорости ветра выражался в коэффициентах ветра на рельеф [93].

Величина коэффициента ветра на рельеф отражает изменение скорости ветра в различных условиях рельефа по сравнению с ровной открытой местностью и варьируется от 0,6 до 1,45, где 1 – коэффициент скорости ветра для ровных открытых участков, 0,6 – для наименее продуваемых мест, 1,45 –

наиболее продуваемых. Высокие значения коэффициента означают, что в данных формах рельефа создаются лучшие условия для аэрации при низкой скорости ветра. Наивысшие коэффициенты присваиваются участкам на верхней части склонов при скорости ветра 3-5 м/с, коэффициенты для подветренных склонов ниже, что отражает менее благоприятные условия проветриваемости.

Продуваемые ветром долины и овраги имеют более высокие коэффициенты, что указывает на лучшие условия для аэрации, однако эти условия характерны только в случае совпадения направления ветра и направления балок и оврагов.

Высокие баллы на вершинах холмов при скорости ветра 3-5 м/с указывают на хорошие условия для аэрации.

Таким образом, наиболее благоприятным условиям продуваемости соответствуют вершины открытых возвышенностей, наветренные склоны и продуваемые долины при низкой скорости ветра (3-5 м/с).

Наименее благоприятные условия продуваемости характерны для подветренных склонов, непродуваемых долин и замкнутых оврагов.

Для построения картографических моделей, отраженных на *картах ветрового режима территории* был использован программный комплекс QGIS 3.40 с использованием дополнительных модулей на языке программирования Python.

Первым этапом являлось построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (ЦМР) на территорию г. Саратова, для этого была скачана глобальная цифровая модель рельефа FABDEM [128], которая корректировалась с учетом топографических карт и планов крупного масштаба.

На основе ЦМР для территории города Саратова необходимо построить модель экспозиции склонов и углов наклона (рис. 2.3.1.)

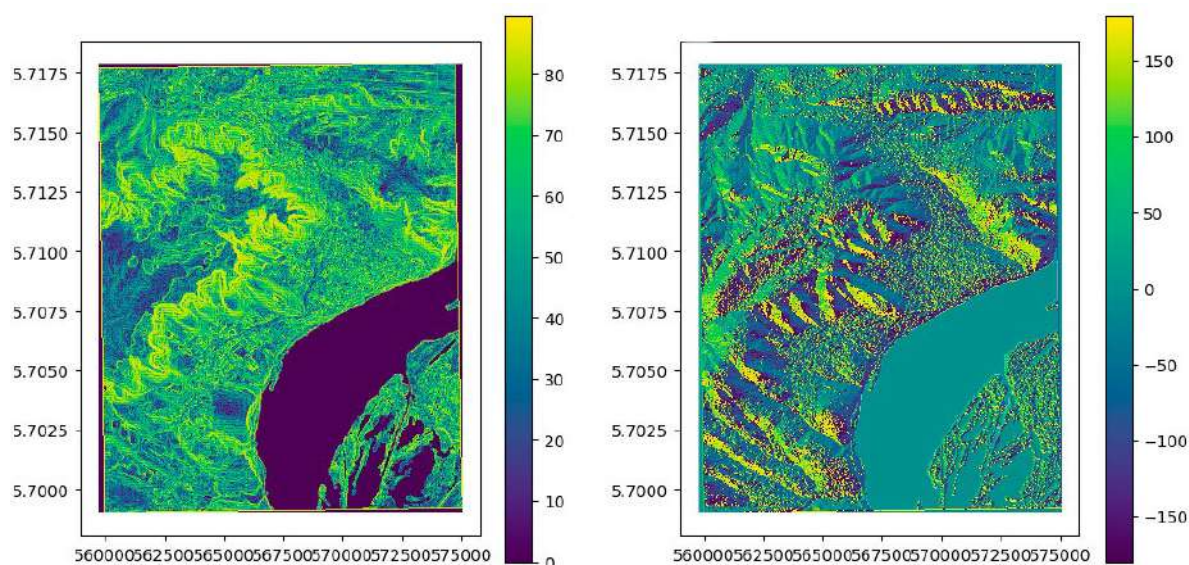


Рис. 2.3.1. Карты углов наклона и экспозиции склонов на территорию г. Саратова

Перед началом построения карты углов наклона местности вырабатывается легенда с градацией углов наклона земной поверхности. Согласно «Временной инструкции по производству экспедиционных почвенно-эрозионных исследований равнинных областей СССР» [100], рекомендуется следующая градация:

- до 2° ,
- от 2° до 8° ,
- от 8° до 12° ,
- от 12° до 18° ,
- свыше 18° .

Если необходимо более детальное изображение углов наклона земной поверхности, используется другая шкала: до 8° – с интервалом в 1° , до 12° – с интервалом в 2° , далее – с интервалом в 3° и т. д.

После этого определяются наветренные и подветренные склоны в зависимости от направления ветра и его скорости. Классификация склонов производится с учетом наклона, расчлененности, экспозиции и высоты.

Далее совмещаются карты экспозиций склонов и углов наклона местности для выявления необходимых зон. На окончательном этапе отмечаются границы экспозиций склонов и перехода углов наклона. Все склоны разделяются на три

части: верхнюю, среднюю и нижнюю.

Для составления карты аэрации с учетом зон продуваемости используется характеристика ветрового режима анализируемой территории, полученная из материалов наблюдений ближайшей метеостанции. Учитываются скорость и направление ветра, характерные для наиболее дискомфортного периода года (в большинстве районов это зимний период).

На основе совмещенных карт и поправочных коэффициентов на рельеф выделяются участки с различным режимом аэрации.

Таким образом, процесс построения карты аэрационного режима для городской территории при разных направлениях ветра включает распределение склонов по экспозициям, определение углов наклона, совмещение карт и учет скоростей ветра, измеряемых в коэффициентах на рельеф [93].

Карта естественного потенциала проветриваемости представляет собой интегральную карту ветрового режима, отражающую зоны с различными аэрационными условиями при разных направлениях ветра с учетом их повторяемости в условиях естественного рельефа вне зависимости от городской застройки и формирования городских каньонов массивами зданий и сооружений (приложение 3).

На основе многолетних данных о повторяемости ветров были вычислены коэффициенты частоты каждого направления (от 0 до 1):

- север – 0,260,
- восток – 0,181,
- юг – 0,269,
- запад – 0,289.

Далее, четыре модели аэрационного режима по каждому направлению ветра были сведены в единую модель с учетом весовых коэффициентов ветров с помощью операций растровой алгебры. Потенциал проветриваемости выражается в условных единицах. Путем разбивки диапазона значений на 4 равных интервала, были выделены зоны с высоким, умеренным, низким и очень низким потенциалом естественной проветриваемости территории города.

Анализ полученной модели естественного потенциала проветриваемости территории города позволяет выявить некоторые закономерности:

- наилучшим образом проветриваются следующие территории – южный и восточный склон Лысогорского плато, возвышенность на севере с полями НИИСХ «Юго-восток», Соколовогорский массив, территория п. Поливановка на севере города.

- наихудшее проветривание в естественных условиях наблюдается в долинах местных рек (Гуселка, Елшанка), а также нескольких оврагов впадающих в Волгоградское водохранилище в центральной части города;

- следует отметить коридор с относительно неплохим проветриванием от южного склона Соколовогорского массива, до п. Техстекло и п. Солнечный, что в современной ситуации соответствует одной из осей развития г. Саратова: ул. Большая Горная, ул. Соколова, ул. Шехурдина, пр. Строителей, Московское шоссе.

ВЫВОДЫ

1. 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.

2. Освоение территории со сложным рельефом и постепенное разрастание города происходили последовательно: от плоских надпойменных террас Волги и слабонаклонных приволжских субкотловин в центре и на юге до междуречья рек Елшанки и двух Гуселок в северной части города, застройка которой активно ведется и в настоящее время.

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

воздуха.

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

ГЛАВА 3. МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

3.1. Материалы и методы исследования

В работе были использованы данные о состоянии воздуха г. Саратова, которые публикуются в «Докладах о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области» за 2004 – 2023 гг. [28-47], результаты исследования лаборатории урбоэкологии и регионального анализа географического факультета Саратовского университета, показатели химического состава воздуха, полученные в ходе полевых работ с участием автора в 2017 г. Кроме того, использовались данные постов наблюдения за загрязнением воздуха (ПНЗ).

3.2. Факторы и условия загрязнения воздушного бассейна крупного промышленного города

Главные загрязнители атмосферного воздуха в городе – это промышленные предприятия и автомобильный транспорт. Сильно различается состав и уровень загрязнения в зависимости от типа предприятия-поллютанта, а также от защитных мер, применяемых при их функционировании. Кроме того, серьезные различия наблюдаются и в зависимости от типа двигателей автомобилей: дизельные двигатели оказывают большее загрязнение, в их выбросах присутствует значимое количество сажи ($0,01\text{--}1,1\text{ г/м}^3$) [2].

В Саратове функционирует 28 промышленных предприятий, обязанных осуществлять мониторинг атмосферного воздуха согласно ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" №96-ФЗ от 04.05.1999 г. (приложение 2). Большая часть предприятий относится к строительной, нефтегазодобывающей, химической отраслям и энергетике (таблица 3.2.1).

Таблица 3.2.1

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

Как видно из схемы (приложение 2), крупные промышленные предприятия располагаются, по большей части, в пределах Приволжской котловины,

характеризующейся низким и очень низким потенциалом естественным потенциалом проветриваемости (приложение 3), что, очевидно, оказывает негативное воздействие на экологическую ситуацию в этой части города

На здоровье людей, кроме загрязнения химическими веществами, также оказывает влияние уровень запыленности воздуха, особенно в аридной и семиаридной зонах. Саратов окружен крупными массивами сельскохозяйственных угодий. Поэтому запыленность города является серьезной проблемой. Природные факторы, которые влияют на этот показатель, – естественная проветриваемость, озелененность и обводненность урбанизированного пространства.

Основной вклад в геохимическую обстановку вносят антропогенные факторы: количество автомобилей, развитость дорожно-транспортной сети, экологичность транспорта, количество, мощность и расположение промышленных узлов, контроль экологической обстановки обществом и др.

Для анализа существующей обстановки и определения ее генезиса имеет смысл провести ретроспективный анализ атмосферы Саратова за последние десятилетия. Все факторы можно условно разделить на два типа: относительно постоянные и динамично меняющиеся.

В качестве одного из наиболее важных условий для оценки геохимической обстановки города выделим рельеф. Саратов расположен на сложной поверхности, включающей в себя как возвышения и склоны, так и котловины.

Историческая часть и промышленная застройка юга города расположена в слабо проветриваемой Приволжской котловине. Она представляет собой крупную структуру, площадью около 120 км², которую разрезают три водораздела на Южную, Центральную и Северную субкотловины. Стоит отметить еще и небольшой наклон форм рельефа к Волге.

Субкотловины пересекаются малыми реками и балками. Особенно это характерно для Южной субкотловины – наиболее плотно застроенной северной части, где город бурно развивался до середины XX века [103].

Осложняют проветриваемость плотная застройка, крупные автомагистрали, промышленные предприятия, железная дорога. Можно предположить, что участки жилой застройки в котловине рядом с крупными загрязнителями могут испытывать проблемы с чистотой воздуха.

Северная и северо-восточная часть города находится за пределами Приволжской котловины на пологом и несколько возвышенном пространстве Елшано-Гусельской равнины. Здесь расположены Ленинский и (частично) Кировский районы Саратова. В основном эта территория застраивалась в середине и конце XX в. Здесь несколько достаточно крупных предприятий пищевой индустрии, машиностроения и строительного сектора. Эта местность открыта с северо-запада и хорошо продувается, а с запада ограничена лесным массивом «Кумысная поляна», являющимся наиболее крупным объектом природно-экологического каркаса города.

Сотрудники географического факультета СГУ, саратовская гидрометослужба накопили многолетние данные о состоянии атмосферы в разных районах города [67, 73, 74, 83, 84, 112 и др.]. Сведения о метеопараметрах и концентрациях вредных веществ в приземной атмосфере, полученные на постах постоянного наблюдения за состоянием воздушной среды, при проведении снегогеохимических работ, данных по пылевым накоплениям на тканых материалах, листьях деревьев [27, 76] свидетельствуют о постоянном атмогеохимическом и атмосанитарном неблагополучии на территориях, расположенных в Приволжской котловине. Критические атмосферные ситуации, как правило, обусловлены сочетанием нескольких факторов: характером погоды в тот или иной сезон года и временем суток, определяющим интенсивность транспортного потока.

Для котловины Саратова характерны температурные инверсии в приземных слоях атмосферы. Это часто приводит к формированию т.н. «задерживающих слоев» (ЗС) [111, с. 14]. Радиозондирование атмосферы в Саратове показывает практически каждую ночь наличие приземных или приподнятых задерживающих слоёв [там же, с. 14]. Начиная с мая по сентябрь формирование задерживающих

приземных слоёв фиксируется в 77 - 88% от всех случаев наблюдений. Данный факт, безусловно, влияет на условия рассеяния и накопления примесей в городской котловине [там же, с 16]. Отсутствие ветра или слабый ветер способствуют концентрации вредных веществ в приземном воздухе. Поэтому штилевые ситуации в летние и раннеосенние сезоны года являются атмоэкоопасными для котловинных и долинных участков, прилегающих к автодорогам с интенсивным движением и промзонам.

Как отмечают специалисты [66, 67, 111], как правило, экстремальные показатели загрязнения воздуха наблюдались при антициклоническом характере погоды, в условиях малоподвижного барического поля.

Таким образом, «...экстремально высокий уровень загрязнения воздуха формируется при антициклоническом характере барического поля, при инверсионном распределении температуры с высотой, при слабом ветре, тумане» [111, с. 96].

По данным лаборатории урбоэкологии СГУ, включающим в себя информацию о радиационном и тепловом балансе, ветровом режиме различных районов города в начале 2000-х была составлена карта проветриваемости урболандшафтных местностей Саратова [75].

Согласно карте наиболее проветриваемыми территориями оказались:

- верхняя часть уступа Лысогорского плато;
- территория близ Волгоградского водохранилища, которая в безморозный период хорошо проветривается ветрами, дующими в результате перепадов температур на воде и на суше;
- местность вдоль южных склонов Лысогорского плато.

Некоторые участки проветриваются хуже, чем предыдущая группа, но все равно сравнительно хорошо:

- спальная застройка на пологой Елшано-Гусельской равнине;
- поверхность Лысогорского плато;
- территории Южной субкотловины, не подвергшиеся застройке.

Отмечены и плохо проветриваемые участки:

- долины рек, оврагов и балок,
- плотная многоэтажная застройка в Центральной и Северной субкотловинах.

Таким образом, наиболее застроенная территория Саратова – Приволжская котловина, по данным предыдущих исследований, проветривается не слишком хорошо. К неблагоприятному рельефу добавляются и климатические факторы: доминирующие в безморозный период антициклоны, малое количество осадков, инверсии температуры, преобладающие ветра. Сопоставление карты проветриваемости разных урболандшафтных местностей Саратова [75]

Сопоставляя имеющиеся данные с построенной нами картой естественного потенциала проветриваемости (приложение 3), можем сделать вывод, что рельеф Приволжской котловины – основной фактор, формирующий предпосылки к ухудшению обстановки с атмосферным воздухом в г. Саратове. Главные причины современной динамики этого процесса – это деятельность человека: плотная застройка и бурная автомобилизация города. Рассмотрим второй показатель (табл. 3.2.2).

Таблица 3.2.2

Количество автомобилей в Саратове за 2002 – 2023 гг. [28-47]

Год	Количество автомобилей
2002	190 000
2004	нет данных
2005	203 775
2006	213 266
2007	235 140
2008	248 944
2009	251 901
2010	268 000
2011	284 300
2012	308 100
2013	303 088
2014	316 031
2015	316 499
2016	310 787
2017	326 781
2018	331 697
2019	нет данных
2020	нет данных
2021	нет данных

2022	нет данных
2023	нет данных

Наблюдаем достаточно серьезное увеличение автомобилей в рассматриваемый период – более чем в 1,7 раз. В 2018 году этот показатель достиг удельного значения 394 автомобиля на 1000 жителей. В то время как аналогичное среднее значение по стране составляет 309 [98].

3.3. Структура и динамика загрязнения воздушного бассейна Саратова за последние двадцать лет

Ситуация за последние десятилетия показывает, что доминирующая доля выбросов остается за автомобильным транспортом – более 78%. Кроме того, в городе долгое время функционировал аэропорт, активно используется и железнодорожный транспорт. Можно сделать вывод, что доля загрязнения от объектов транспортной инфраструктуры еще выше.

Поэтому особенно актуальны данные об интенсивности транспортных потоков внутри Саратовской агломерации. Наибольшая плотность потока – более 4000 автомобилей в час – фиксируется на главных магистралях города: ул. Соколовогорская, ул. Московская, ул. Рахова, ул. Астраханская и ул. Большая Горная. Максимальные значения – 4959 автомобилей в час при пиковых нагрузках.

В Ленинском районе плотность потока несколько ниже: ул. Шехурдина – 3600, пр. Строителей – 3300. Чуть меньшая интенсивность движения в центре и Заводском районе: от 1000 до 2000 автомобилей в час.

Другая проблема – большая доля грузового транспорта, который производит больше загрязняющих веществ. На транзитных дорогах показатель достигает 45%, а на центральных оживленных улицах лишь 3–5%.

По этим данным и принятой методике [25] можно рассчитать содержание в воздухе оксида углерода (CO мг/м³). Наибольших значений этот показатель достигает на пересечении крупных улиц в центральной части города: пересечение ул. Московской и ул. Рахова, ул. Соколовогорская, территория рядом с Сенным

рынком. Содержание в воздухе оксида углерода достигает 143,6 мг/м³. Стоит отметить, что этот показатель сравнительно равномерно снижается от центра к периферии, от оживленных улиц к дорогам с незначительной транспортной нагрузкой.

Другие компоненты (диоксид азота NO₂, углеводороды C_nH_m) отработавших газов подвергаются турбулентной диффузии и смешиваются с воздухом. Это отражается в совпадении пространственного и вертикального распределения этих элементов при схожих показателях скорости ветра и плотности потока автотранспорта [3, 4]. Можно сделать вывод, что показатели распределения СО репрезентативно, и его анализ позволяет говорить в целом о закономерностях рассеяния отработавших газов автомобилей в зависимости от интенсивности движения и скорости ветра.

Интересно, что повышение скорости ветра до 5 м/с приводит к очищению воздуха от СО на 70 – 90 % [11]. Этот эффект может быть еще внушительней на дорогах с различной плотностью потока транспорта, что подтверждается данными эмпирических исследований, в частности, исследованиями Э. Ю. Вебры, в которых отмечается, что весьма значительная разница в концентрациях СО на перекрестках и линейных участках, сглаживается, если ветер превышает 3 м/с [16]. Особенно это важно, если учитывать, что «предельно допустимые максимально разовые концентрации ведущих компонентов выхлопных газов (СО, NO₂, C_nH_m) обеспечиваются на 40...70 % общей протяженности магистральных дорог и улиц» [10].

Показатели содержания выхлопных газов коррелируют с выше обозначенными факторами: интенсивностью транспортного потока, плотностью застройки, типом дороги, метеоусловиями (в первую очередь, со скоростью ветра) [85].

На основе обзора литературы, полевых съемок, статистических данных, выполненных в лаборатории урбоэкологии СГУ, можно сделать следующие выводы:

– наиболее важные долговременные природные факторы,

определяющие атмогеохимическое состояние г. Саратова, это котловинный характер рельефа, особенно в исторической части города; значительная расчлененность рельефа долинами малых рек, оврагов и балок; перепады высот в городской черте более 200 м; часто наблюдаемые температурные инверсии и слабое проветривание;

- антропогенные факторы, такие как частая сетка узких улиц в исторической части; большое количество заторов и пробок, малая проветриваемость – приводят к увеличению концентрации загрязняющих веществ в 2-3 раза, по сравнению с хорошо проветриваемыми улицами в периферийной части города, при одинаковой интенсивности движения;

- концентрация загрязняющих веществ имеет максимумы в понижениях рельефа, в нижних частях склонов и у светофоров, где постоянно поддерживается загрязнение выхлопными газами автотранспорта;

- в утренний «час пик» наблюдаются более высокие концентрации загрязняющих веществ, чем в вечерний, т.к. движение воздуха более слабое;

- загрязненность воздуха имеет прямую зависимость от интенсивности движения при скоростях ветра до 1,5 м/с. Если же этот параметр увеличивается (> 2 м/с), то на первый план выходят показатели, влияющие на рассеивание: геометрия и плотность застройки, ширина проезжей части, озеленение, перепады высот);

- концентрации CO и NO₂, поступающих в атмосферу только от автотранспорта, имеют малую зависимость от высоты. В домах, расположенных близко к проезжей части с высокой интенсивностью движения, на последнем этаже и у поверхности будут наблюдаться примерно равные концентрации этих загрязнителей. Лишь на расстоянии около 100 м от оживленных магистралей существенно снижается загазованность;

- летнее загрязнение воздуха гораздо выше, чем зимнее.

Рассмотрим долговременный показатель загрязнения атмосферы в городе – ИЗА – индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей и рассчитываемый по значениям среднегодовых концентраций ЗВ. В соответствии с

существующими методами оценки уровень загрязнения воздуха считается низким, если ИЗА ниже 5; – повышенным – при ИЗА от 5 до 6; – высоким при ИЗА от 7 до 13 и очень высоким при ИЗА больше 14 [90].

В основном территория Саратова характеризуется повышенными значениями ИЗА. Следует отметить интересный факт: после 2005 г. показатель ИЗА, рассчитанный по официальным данным резко уменьшился от 23,93 - 28,73 (очень высокое загрязнение) до 5,81 – 4,66 (повышенное и низкое загрязнение) в 2015-2016гг. [28-29, 39-40].

Причиной такого радикального улучшения качества воздуха, к сожалению, явилось не уменьшение выбросов, масштабное озеленение или улучшение условий проветриваемости, а формальное изменение показателей ПДК в 2014 г. Например, по имеющему очень большое значение для оценки качества воздуха формальдегиду предельно допустимые концентрации повысились на 200% – от 0,003 до 0,01 мг/м³ [21]. Т.е. наблюдается интересная картина: абсолютные значения загрязнения увеличиваются, а показатели, их характеризующие, уменьшаются в 5 раз. На бумаге воздух очищается, а на самом деле показатели загрязнения продолжают оставаться очень высокими [28-47].

В 2021 г. Постановлением главного государственного санитарного врача Российской Федерации значения ПДК были вновь пересмотрены в сторону смягчения требований [96]. Так, например, среднесуточные ПДК по диоксиду азота, одному из основных загрязнителей городского воздуха, были изменены с 0,04 до 0,1 мг/м³ со снижением класса опасности с 2-го до 3-го, среднесуточные ПДК по аммиаку – также повышены с 0,04 до 1,0 мг/м³. И даже рассчитанные с учетом новых ПДК показатели ИЗА к 2021, 2022, 2023 гг. вновь выросли и составили 12,4, 10,24 и 9,21, соответственно (табл. 3.3.1), что считается высоким уровнем загрязнения [90].

Большой проблемой является отсутствие четкой системы защиты и улучшения атмогеохимической обстановки в Приволжской котловине Саратова. Кроме того, дополнительно осложняют ситуацию современные изменения климата, которые приводят к увеличению числа температурных инверсий [28-47].

Таблица 3.3.1

Индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) в Саратове за 2004 – 2023 гг., рассчитанный по данным Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области [28-47]

Год	ИЗА по ПДК с.с
2004	23,93
2005	28,73
2006	22,65
2007	21,2
2008	16,97
2009	16,2
2010	13,0
2011	12,3
2012	12,6
2013	15,81
2014	7,26
2015	5,81
2016	4,66
2017	5,06
2018	5,77
2019	5,80
2020	5,17
2021	12,4
2022	10,24
2023	9,61

Согласно ежегодным «Докладам» о состоянии окружающей природной среды в Саратовской области, публикуемым профильным региональным министерством [28-47], выбросы от автотранспорта с 2005 года по 2018 год уменьшились в Саратове практически в 2 раза с 129,9 до 65,6 тыс. т (таблица 3.3.1), в то время как число автомобилей в городе за этот же периоды увеличилось в 1,6 раз – с 203 775 до 331 697 единиц (таблица 3.2.1).

Таблица 3.3.1

Выбросы от предприятий и автотранспорта в г. Саратове за 2004 – 2023гг.
(тыс. т) [28-47].

Годы	Количество выбросов от стационарных источников, тыс. т	Количество выбросов от автотранспорта, тыс. т
2004	28,6	141,9
2005	26,2	129,9

2006	23,8	89,7
2007	21,46	119,5
2008	21,0	123,0
2009	18,9	115,9
2010	19,9	67,7
2011	19,7	68,1
2012	20,2	60,1
2013	21,5	67,5
2014	17,3	67,2
2015	16,7	67,2
2016	17,8	63,4
2017	19,4	49,4
2018	18,0	65,6
2019	17,3	нет данных
2020	19,3	нет данных
2021	19,3	нет данных
2022	19,3	нет данных
2023	22,8	нет данных

Это парадоксальное наблюдение может привести к двум выводам: либо в городе в результате каких-то мер кардинально улучшилась экологическая обстановка, либо статистика не соответствует действительности. Все данные, имеющиеся в распоряжении автора, говорят о том, что второе умозаключение гораздо ближе к истине.

Оптимизм по поводу улучшения атмогеоэкологической ситуации в городе к сожалению не имеет достаточных оснований. Площадь зеленых насаждений не увеличивается, исторический центр с котловинным рельефом и узкими улицами не стал проветриваться лучше, а количество автотранспорта достигает предельных значений на душу населения, и становится даже выше, чем в среднем по стране. Кроме того, отдельно ухудшают ситуацию с рассеиванием загрязняющих веществ климатические изменения.

3.4. Выделение ореолов загрязнения по данным многолетних наблюдений

При определении устойчивых ореолов загрязнения воздушного бассейна города были использованы архивные и актуальные эмпирические данные, имеющиеся в фондах лаборатории урбоэкологии и регионального анализа

географического факультета Саратовского университета, данные ПНЗ, а также, результаты инструментальных замеров запыленности и химического состава воздуха, выполненных автором в 2017 гг. (Карта фактического материала. Приложение 1).

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.

Снегохимические исследования

Одним из наиболее популярных косвенных методов фиксирования запыленности является снежный покров. В Саратове были проведены 4 масштабных снегохимических съёмки: в 1992, 1994, 1997 и 1999 гг. Самыми обширными по площади и количеству проб были съёмки в 1994 и 1997 гг. (Карта фактического материала. Приложение 1).

Мониторинг велся с разной плотностью: на наиболее интересных с атмоэкологической точки зрения территориях количество проб было выше, чем на «фоновых» участках.

Снег аккумулирует загрязнители после накопления за зимний период. После таяния снега и фильтрации твердые частицы остаются на фильтре. Осадок фиксируется, и анализируются его параметры: химический состав, плотность, масса, скорость выпадения.

Количество тяжелых металлов и пылевых частиц за зимний период (120

дней) составляет 10-30% от годовых показателей. Снег собирает в себя как вымываемые осадки, так и осаждаемые выбросы пыли, нередко перенесенные с соседних территорий. Это приводит к тому, что в твердой фракции находятся два типа пыли, различающиеся по происхождению и составу.

К первому типу относятся мелкие кварцевые, гипсовые и монтмориллонитовые частицы. В основном минеральная пыль приурочена к окраинам города, соседствующим с пахотными угодьями. Перенос таких частиц с сельскохозяйственных территорий сильными зимними ветрами вполне закономерен. Это происходит в основном за несколько циклов «оттепель – замерзание». Поэтому в массе снега наблюдается слоистость минеральных отложений.

Максимальные выпадения пыли наблюдаются в северной и северо-западной части города, в пределах Елшано-Гусельской равнины, а также в Южной субкотловине (до 460 г/м²).

Другие участки, характеризующиеся меньшей запыленностью, идентифицируются на уступах Лысогорского плато и Соколовой горы. Здесь также присутствуют открытые пространства для выноса материала и периодически повторяющиеся сильные ветры для его переноса и аккумуляции (выпадение пыли до 200 г/м²).

Таким образом, наибольшее влияние на выпадение частиц минеральной пыли оказывают: высокоскоростные потоки воздуха, наличие открытых пространств в виде пашни или обнажений горных пород.

Другой, весьма значительный источник минеральной пыли, – поверхности незадернованной территории внутри города. Здесь можно наблюдать уже внутригородской перенос твердых частиц.

Вторым типом пыли, выделяющимся в толще снежного покрова, является техногенное пылевое загрязнение. Следует отметить, что масштаб этого явления значительно меньше, чем описанного выше.

Полученные данные говорят о том, что наиболее значительные геохимические аномалии, как по площадям, так и по плотности загрязнения,

наблюдаются на территориях, приуроченных к промышленным зонам (Карты пылевого загрязнения снежного покрова. Приложение 4):

- северная и северо-западная часть города в районе Елшанки и завода Техстекло. Площадь аномалии достаточно велика и достигает 8 км². Плотность пылевого выпадения – до 0.45–1.12 г/м²·сутки;
- район СарГРЭС вдоль Волги в Северной субкотловине в Волжском районе. Площадь аномалии более 6 км², плотность выпадения – 0.71 г/м²·сутки;
- район железнодорожного депо и асфальто-бетонного завода в Центральной субкотловине в Заводском районе. Площадь геохимической аномалии более 1 км², а плотность выпадений достигает 0.64 г/м²·сутки;
- участки вокруг заводов «Автономных источников тока» и бывшего авиационного завода. Общая площадь аэрозольного загрязнения – чуть более 1 км² при плотности пылевых выпадений до 30 – 37 г/м² за 120 сут. или 0.25 – 0.30 г/м²·сутки.

Кроме того, техногенное загрязнение было выявлено в районе пос. Нижняя Стрелковка, в исторической части Саратова, близ крупных промышленных объектов. Наблюдалось загрязнение тяжелыми металлами: свинец, кадмий, медь, кобальт, никель, хром, сурьма, марганец, ванадий и т.п.

Пылевая нагрузка на депонирующие среды

Для оценки пылевого загрязнения атмосферы города дополнительно были использованы данные по пылевой нагрузке в безморозный сезон на тканевую поверхность и листву деревьев. Методика оценки таких показателей была разработана саратовскими и воронежскими градоэкологами [1, 27, 76]. На основе ее использования была произведена оценка пылевой нагрузки на депонирующие среды в городской застройке (табл. 3.4.1).

Таблица 3.4.1

Пылевая нагрузка в разные депонирующие среды в различных типах городской застройки Саратова (по данным лаборатории урбоэкологии и регионального анализа географического факультета СГУ)

№	Тип городской застройки	Среднее	Среднее	Среднее
---	-------------------------	---------	---------	---------

точки отбора проб		количество пыли, осевшей на 1м ² тканого материала г/сут. и км ² /год. (по данным полевых наблюдений в июле 2013 г.	количество пыли, осевшей на 1м ² листовой поверхности вяза шершавого г/сут. и км ² /год. (по данным полевых наблюдений летом 2010-2011 гг.)	количество пыли, осевшей в снеговой покров на 1км ² (нерастворимая форма) (по данным полевых наблюдений в марте 1994 и 1997 гг.
1	Участок, прилегающий к территории завода «Технического стекла». Ленинский район. Недалеко от ПЗА-6	0,16 г/ м ² сутки 160 кг/ км ² сутки	Нет данных	0,71 г/ м ² сутки 712 кг/ км ² сутки
2	Перекрёсток ул. Университетская и ул. Московская. Жилая многоэтажная застройка в районе железнодорожного вокзала	0,18 г/ м ² сутки 180 кг/ км ² сутки	0.12 г/ м ² сутки 120 кг/ км ² сутки	0.63 г/ м ² сутки 630 кг/ км ² сутки
3	Центр города. Общественная застройка, район близ Крытого рынка	0,14 г/ м ² сутки 140 кг/ км ² сутки	Нет данных	0,52 г/ м ² сутки 520 кг/ км ² сутки
4	Городской парк отдыха	0,06 г/ м ² сутки 60 кг/ км ² сутки	Нет данных	0,46 г/ м ² сутки 460 кг/ км ² сутки
5	Фон: окрестности села Усть-Курдюм Гагаринского района	0,04 г/ м ² сутки 40 кг/ км ² сутки	Нет данных	0,40г/ м ² сутки 400 кг/ км ² сутки

Полученные данные можно сопоставить с показателями пылеосаждения в снежном покрове. Можно заметить, что объемы пыли в снежном покрове больше, чем выпадение на депонирующие среды в несколько раз (до 10). Таким образом, снег более полно фиксирует пыль, чем ткань или древесная листва, где может происходить активное выдувание частиц.

Исходя из всех вышеперечисленных данных, можно рассчитать среднее выпадение пыли в сутки на квадратный километр – в холодный сезон этот показатель может достигать 0,5 тонны пыли. В безморозный период значения еще больше.

Попытаемся контурно оценить валовые показатели пылеосаждения в Саратове за год. Площадь урбанизированной территории – 320 км², т.е. в год выпадает до 58,4 тысячи тонн пыли, причём выпадение в застроенной части

составляет до трети этой величины. Но даже такие расчеты не совсем корректны. Как уже говорилось, в летний период пылеосаждение значительно выше, чем в зимний. Если условно допустить, что в действительности это значение, по меньшей мере, в 2 раза больше, то в год получается 365 тонн пыли, что значительно выше предельного значения в 219 т/год на 1км², допустимого для нормального функционирования дыхательной системы человека.

Данные расчеты являются весьма приблизительными, но и они позволяют примерно оценить состоянии запыленности города. Таким образом, главными причинами чрезвычайной запыленности Саратова являются: сочетание расположения в степной засушливой зоне с большим количеством территорий с открытым грунтом в окрестностях города, с которых происходит вынос пылевых частиц; котловинный характер рельефа; значительные перепады высот; проблемы с канализацией; малое количество ухоженных газонов; слабое озеленение территории.

Пылевая нагрузка на территорию Саратова по данным инструментальных замеров

Исследования пылевого загрязнения атмосферного воздуха методом прямых инструментальных замеров проводились в 1993-1994, 2013, 2017 и 2024 гг.

На основе полученных данных по результатам многолетних наблюдений были построены карты пылевого загрязнения атмосферного воздуха (Приложение 5).

Инструментальные замеры количества пыли в воздухе на улицах Саратова в первой половине 1990-х годов свидетельствуют о превышении максимальных разовых значений ПДК (табл.3.4.2).

Таблица 3.4.2

Концентрация пыли на основных магистралях г. Саратова по данным инструментальных замеров в 1993 –1994 гг.

Автомagистраль	Пыль (мг/м ³)	Превышение ПДК _{мр}
Проспект Энтузиастов	0.84	1.68
ул. Чернышевского	2.6	5.2

ул. Соколова	0.92	1.85
ул Астраханская	0.9	1.8
ул. Чапаева	1.17	2.34
ул. Большая Горная	1.12	2.24
Проспект Строителей	1.6	2.12

Как видно из таблицы 3.4.2 максимальное превышение ПДК по пыли в еще начале 90-х годов фиксировалось на ул. Чернышевского, одной из основных автомагистралей, пролегающих вдоль Волги и соединяющих исторический центр с промышленным («Заводским») районом города.

Анализ загрязненности воздуха различными инструментальными методами летом 2013 г. показал серьезные превышения ПДК на всей территории города, даже в зеленых зонах – на некоторых участках до 20 раз (табл. 3.4.3). Полученные данные значительно превосходят показатели запыленности, полученные двадцать лет назад.

Наибольшая запыленность воздуха выявлена в районе оживленных многополосных транспортных магистралей: перекресток ул. Навашина и ул. Танкистов, Трофимовский мост, транспортное кольцо у НИИ на слиянии улиц Шехурдина и просп. Строителей (Карта пылевого загрязнения атмосферного воздуха. Приложение 5).

Таблица 3.4.3

Результаты инструментальных замеров запыленности городского воздуха
летом 2013 г.

№ пробы	Точка отбора пробы	Концентрация пыли, мг/м ³	Превышение ПДК
1	Проспект Энтузиастов, 61. (Площадь Орджоникидзе)	3,1 ± 0,3	6,2
2	Ул. Волгодонская, 2 (район нефтеперерабатывающего завода)	4,6 ± 0,5	9,2
3	ул. Октябрьская, 45	2,3 ± 0,3	4,6
4	Ул. Ломоносова, 1. (посёлок завода «Техстекло»)	2,8 ± 0,3	5,6
5	Проспект 50 лет Октября, 87	3,0 ± 0,30	6,0
6	Ул. Астраханская, 150. (площадь около Центрального колхозного рынка)	2,9 ± 0,3	5,8
7	Перекресток ул. Навашина и ул. Танкистов	10,1 ± 1,01	20,2
8	Перекресток ул. Рабочей и ул. Астраханской	1,9 ± 0,2	3,8

9	ул. Чернышевского у магазина «Реал»	$2,4 \pm 0,2$	4,8
10	Перекресток проспекта Энтузиастов и ул. Барнаульской	$2,3 \pm 0,3$	4,6
11	Перекресток ул. Тульской и Фруктового проезда	$4,0 \pm 0,4$	8,0
12	Пос. Увек у нефтебазы	$4,6 \pm 0,5$	9,2
13	Транспортное кольцо у аэропорта (посёлок Соколовогорский)	$7,5 \pm 0,85$	15
14	Конечная остановка автобуса № 90 в пос. Юбилейный	$4,6 \pm 0,4$	9,2
15	1-я Дачная	$3,2 \pm 0,32$	6,4
16	3-я Дачная	$3,4 \pm 0,34$	6,8
17	Трофимовский мост	$9,7 \pm 0,97$	19,4
18	Транспортное кольцо у НИИ на слиянии улиц Шехурдина и просп. Строителей	$9,7 \pm 0,97$	19,4
19	Конечная остановка троллейбуса №10 на пр. Строителей	$3,6 \pm 0,7$	7,2
20	Перекресток ул. Тархова и ул. Чехова	$3,7 \pm 0,4$	7,4
21	Развилка на Новой дороге в пос. Молочка	$3,9 \pm 0,4$	7,8
22	Перекресток ул. Елшанской и Московского шоссе	$1,9 \pm 0,19$	3,8
23	перекресток ул. Маяковского и Дачного проспекта	$1,1 \pm 0,11$	2,2
24	ГРЭС на ул. Чернышевского	$3,8 \pm 0,4$	7,6
25	Мост у ТЭЦ -1 в Заводском р-не	$3,0 \pm 0,3$	6,0
26	Долина речки у завода Крекинг	$4,2 \pm 0,4$	8,4

Аналогичные замеры проводились летом 2017 и 2024 гг. Полученные результаты отражены в таблице 3.4.4.

Таблица 3.4.4

Результаты инструментальных замеров запыленности городского воздуха
летом 2017 и 2024 гг.

№	Место отбора	2017 г. Концентрация пыли, мг/м ³	2017 г. Превышение ПДК, N раз	2024 г. Концентрация пыли, мг/м ³	2024 г. Превышение ПДК, N раз
1	Ул. Астраханская, Центральный колхозный рынок	1,2	2,4	2,3	4,6
2	Ул. Московская и Рахова	2,5	5,0	3,4	6,8
3	Набережная космонавтов	1,2	2,4	1,4	2,8
4	Площадь Орджоникидзе	3,0	6,0	4,6	9,2
5	Район нефтеперерабатывающего завода	2,5	5,0	2,9	5,8
6	Поселок завода «Техстекло»	3,8	7,6	4,7	9,4

7	Площадь Ленина (3 дачная)	2,8	5,6	4,5	9,0
8	Поселок Соколовогорский (бывший аэропорт)	3,5	7,0	3,8	7,6
9	Проспект Строителей и ул. Шехурдина	3,8	7,6	5,6	11,2

Как видно из таблицы 3.4.4, на всех точках отбора выявлено превышение ПДК по пыли в 2,4 – 7,6 раз в 2017 г. и в 2,8 – 11,2 раз в 2024 г. Наиболее запыленные участки располо жены в районах автомагистралей с интенсивным движением автотранспорта: Площадь Орджоникидзе, перекресток проспекта Строителей и ул. Шехурдина, поселок завода «Техстекло» (Карта пылевого загрязнения атмосферного воздуха. Приложение 5).

Наименьшая концентрация пыли отмечалась в районе речного вокзала на Набережной Космонавтов и в районе Центрального колхозного рынка на ул. Астраханской, где концентрация пыли в 2017 г. не превышала $1,2 \text{ мг/м}^3$, а в 2024 г. – $1,4 \text{ мг/м}^3$, однако и эти величины также превышают ПДК м.р.

Анализ пространственных данных по запылённости городского воздуха показал, что наибольшая концентрация выявлена в пониженных участках рельефа города, улиц с плотным транспортным потоком и открытыми (оголёнными) участками. К таким участкам относиться: проспект Строителей и ул. Шехурдина, поселок завода «Техстекло», поселок Соколовогорский (район бывшего аэропорта). Здесь наблюдаются стабильные превышение фоновых показателей, как в периоды с высоким средним пылевым загрязнением (1992,1994), так и в периоды с низкими фоновыми показателями.

Так же стабильно негативно выглядит обстановка на юге города, в северной части Заводского района и на юге Октябрьского, близ берегов Саратовского водохранища.

В 2010-е особенно выделяется зона в форме полумесяца от п. Техстекло, по ул. Шехурдина и ул. Соколова до центра города, а затем на юг, по ул. Чернышевского, ул. Ново-Астраханское шоссе, пр. Энтузиастов, ул. Азина, до выезда из города. Данная зона отличается ложбинным характером рельефа, ограниченного с одной стороны Лысогорским массивом, а с другой

Соколовогорским массивом, а также крупными улицами и проспектами, составляющими транспортный каркас города. Неудивительно, что запыленность высока именно на этой территории, где высокий уровень выноса частиц грунта сочетается с большими открытыми пространствами без растительности и значительным количеством автомобильного транспорта.

Таким образом, инструментальные замеры пылевого загрязнения атмосферного воздуха в разные годы показали значительное, часто многократное, превышение предельно допустимых концентраций по этому показателю во всех отобранных пробах, что свидетельствует о неблагоприятном экологическом состоянии воздушного бассейна города с тенденцией к еще большему ухудшению.

Оценка химического загрязнения атмосферного воздуха

Оценка содержания в воздухе вредных веществ (загрязнителей) проводилась по данным ПНЗ о загрязнении атмосферного воздуха основными загрязнителями (диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, хлорид водорода) за 1992-1996, 2020-2024 гг. а также данным инструментальных замеров состава атмосферного воздуха мобильной экологической лабораторией СГУ в 2013 г.

На основе полученных данных для каждой точки опробования был произведен расчет $ИЗА_5$ – комплексного индекса загрязнения атмосферы, учитывающего пять примесей с наибольшими концентрациями и рассчитываемый по сумме среднесуточных ПДК (по действующим на тот момент гигиеническим нормативам [89]), с учетом класса опасности каждого из загрязняющих веществ, по результатам которого составлена карта химического загрязнения атмосферы по данным инструментальных замеров за 2013 г. (приложение 6).

Данные химического анализа загрязнения воздуха инструментальными методами приведены в таблице 3.4.5.

Таблица 3.4.5

Результаты количественного химического определения вредных веществ в воздухе г. Саратова летом 2013 г.

№	Точка отбора пробы	Загрязнитель	Концентрация загрязнителя, мг/м ³	ПДК	ИЗА
1	Проспект Энтузиастов, 61. (площадь Орджоникидзе)	Оксид углерода	$0,77 \pm 0,08$	3,0	10,76
		Диоксид азота	$0,09 \pm 0,009$	0,04	
		Оксид азота	$0,13 \pm 0,01$	0,06	
		Аммиак	$0,06 \pm 0,01$	0,04	
		Диоксид серы	$0,2 \pm 0,02$	0,05	
2	ул. Волгодонская, 2 (район нефтеперерабатывающего завода)	Оксид углерода	$0,47 \pm 0,05$	3,0	4,29
		Диоксид азота	$0,0035 \pm 0,0004$	0,04	
		Оксид азота	$0,008 \pm 0,001$	0,06	
		Аммиак	$0,055 \pm 0,006$	0,04	
		Диоксид серы	$0,13 \pm 0,01$	0,05	
3	ул. Октябрьская, 45	Оксид углерода	$1,12 \pm 0,11$	3,0	4,06
		Диоксид азота	$0,06 \pm 0,006$	0,04	
		Оксид азота	$0,095 \pm 0,01$	0,06	
		Аммиак	$0,01 \pm 0,001$	0,04	
		Диоксид серы	$0,002 \pm 0,0002$	0,05	
4	ул. Ломоносова, 1 (Посёлок завода «Техстекло»).	Оксид углерода	$1,22 \pm 0,12$	3,0	2,68
		Диоксид азота	$0,05 \pm 0,005$	0,04	
		Оксид азота	$0,018 \pm 0,002$	0,06	
		Аммиак	$0,021 \pm 0,002$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
5	Проспект 50 лет Октября, 87	Оксид углерода	$0,96 \pm 0,09$	3,0	7,17
		Диоксид азота	$0,124 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,04 \pm 0,004$	0,06	
		Аммиак	$0,075 \pm 0,008$	0,04	
		Диоксид серы	$0,003 \pm 0,0003$	0,05	
6	ул. Астраханская, 150 (площадь около Центрального колхозного рынка)	Оксид углерода	$1,065 \pm 0,11$	3,0	4,21
		Диоксид азота	$0,052 \pm 0,005$	0,04	
		Оксид азота	$0,015 \pm 0,002$	0,06	
		Аммиак	$0,098 \pm 0,008$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
7	Перекресток ул. Навашина и ул. Танкистов	Оксид углерода	$4,18 \pm 0,42$	3,0	7,44
		Диоксид азота	$0,12 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,026 \pm 0,003$	0,06	
		Аммиак	$0,065 \pm 0,008$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
8	Перекресток ул. Рабочая и ул. Астраханская	Оксид углерода	$4,48 \pm 0,45$	3,0	9,60
		Диоксид азота	$0,10 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,27 \pm 0,03$	0,06	
		Аммиак	$0,01 \pm 0,001$	0,04	
		Диоксид серы	$0,005 \pm 0,005$	0,05	
9	ул. Чернышевского у магазина «Реал»	Оксид углерода	$0,48 \pm 0,05$	3,0	5,16
		Диоксид азота	$0,10 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,05 \pm 0,005$	0,06	
		Аммиак	$0,032 \pm 0,003$	0,04	

		Диоксид серы	н.о.	0,05	
10	Перекресток проспекта Энтузиастов и ул. Барнаульская	Оксид углерода	$1,19 \pm 0,12$	3,0	5,33
		Диоксид азота	$0,04 \pm 0,004$	0,04	
		Оксид азота	$0,08 \pm 0,008$	0,06	
		Аммиак	$0,12 \pm 0,01$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
11	Перекресток ул. Тульской и Фруктового проезда	Оксид углерода	$0,43 \pm 0,04$	3,0	1,95
		Диоксид азота	$0,01 \pm 0,001$	0,04	
		Оксид азота	$0,013 \pm 0,001$	0,06	
		Аммиак	$0,011 \pm 0,001$	0,04	
		Диоксид серы	$0,052 \pm 0,005$	0,05	
12	Пос. Увек у нефтебазы	Оксид углерода	$0,22 \pm 0,02$	3,0	0,62
		Диоксид азота	$0,0027 \pm 0,003$	0,04	
		Оксид азота	$0,029 \pm 0,003$	0,06	
		Аммиак	н.о.	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
13	Транспортное кольцо у старого аэропорта (посёлок Соколовогорский)	Оксид углерода	$2,09 \pm 0,21$	3,0	16,27
		Диоксид азота	$0,11 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,46 \pm 0,05$	0,06	
		Аммиак	$0,20 \pm 0,02$	0,04	
		Диоксид серы	$0,011 \pm 0,001$	0,05	
14	Конечная остановка автобуса № 90 в пос. Юбилейный	Оксид углерода	$0,94 \pm 0,09$	3,0	11,77
		Диоксид азота	$0,15 \pm 0,02$	0,04	
		Оксид азота	$0,18 \pm 0,02$	0,06	
		Аммиак	$0,078 \pm 0,008$	0,04	
		Диоксид серы	$0,053 \pm 0,005$	0,05	
15	1-я Дачная	Оксид углерода	$0,69 \pm 0,07$	3,0	5,63
		Диоксид азота	$0,097 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,039 \pm 0,004$	0,06	
		Аммиак	$0,062 \pm 0,006$	0,04	
		Диоксид серы	$0,004 \pm 0,0004$	0,05	
16	3-я Дачная (площадь Ленина)	Оксид углерода	$1,47 \pm 0,15$	3,0	9,81
		Диоксид азота	$0,137 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,163 \pm 0,02$	0,06	
		Аммиак	$0,066 \pm 0,007$	0,04	
		Диоксид серы	$0,0032 \pm 0,0003$	0,05	
17	Трофимовский мост	Оксид углерода	$1,13 \pm 0,11$	3,0	35,45
		Диоксид азота	$0,57 \pm 0,06$	0,04	
		Оксид азота	$0,065 \pm 0,007$	0,06	
		Аммиак	$0,093 \pm 0,009$	0,04	
		Диоксид серы	$0,013 \pm 0,001$	0,05	
18	Транспортное кольцо у НИИ на слиянии улиц Шехурдина и просп. Строителей	Оксид углерода	$2,74 \pm 0,27$	3,0	7,05
		Диоксид азота	$0,12 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,034 \pm 0,003$	0,06	
		Аммиак	$0,046 \pm 0,005$	0,04	
		Диоксид серы	$0,013 \pm 0,001$	0,05	

19	Конечная остановка троллейбуса №10 на пр. Строителей.	Оксид углерода	$1,75 \pm 0,18$	3,0	4,75
		Диоксид азота	$0,079 \pm 0,008$	0,04	
		Оксид азота	$0,039 \pm 0,004$	0,06	
		Аммиак	$0,042 \pm 0,004$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
20	Перекресток ул. Тархова и ул. Чехова	Оксид углерода	$1,78 \pm 0,18$	3,0	4,71
		Диоксид азота	$0,071 \pm 0,007$	0,04	
		Оксид азота	$0,034 \pm 0,003$	0,06	
		Аммиак	$0,059 \pm 0,006$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
21	Развилка на Новой дороге в пос. Молочка	Оксид углерода	$1,22 \pm 0,12$	3,0	3,58
		Диоксид азота	$0,07 \pm 0,01$	0,04	
		Оксид азота	$0,028 \pm 0,003$	0,06	
		Аммиак	$0,021 \pm 0,002$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
22	Перекресток ул. Елшанская и Московского шоссе	Оксид углерода	$1,13 \pm 0,11$	3,0	3,58
		Диоксид азота	$0,045 \pm 0,05$	0,04	
		Оксид азота	$0,04 \pm 0,004$	0,06	
		Аммиак	$0,05 \pm 0,005$	0,04	
		Диоксид серы	$0,005 \pm 0,0005$	0,05	
23	Перекресток ул. Маяковского и Дачного проспекта	Оксид углерода	$1,03 \pm 0,10$	3,0	3,18
		Диоксид азота	$0,04 \pm 0,004$	0,04	
		Оксид азота	$0,04 \pm 0,004$	0,06	
		Аммиак	$0,045 \pm 0,005$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
24	ГРЭС на ул. Чернышевского	Оксид углерода	$2,6 \pm 0,3$	3,0	8,81
		Диоксид азота	$0,042 \pm 0,004$	0,04	
		Оксид азота	$0,31 \pm 0,03$	0,06	
		Аммиак	$0,057 \pm 0,006$	0,04	
		Диоксид серы	$0,017 \pm 0,002$	0,05	
25	Мост у ТЭЦ -1 в Заводском р-не	Оксид углерода	$0,57 \pm 0,06$	3,0	4,90
		Диоксид азота	$0,04 \pm 0,004$	0,04	
		Оксид азота	$0,10 \pm 0,01$	0,06	
		Аммиак	$0,09 \pm 0,009$	0,04	
		Диоксид серы	н.о.	0,05	
26	Долина речки у завода Крекинг	Оксид углерода	$0,27 \pm 0,03$	3,0	9,88
		Диоксид азота	$0,03 \pm 0,003$	0,04	
		Оксид азота	$0,49 \pm 0,05$	0,06	
		Аммиак	$0,034 \pm 0,003$	0,04	
		Диоксид серы	$0,0013 \pm 0,001$	0,05	

Наибольший уровень загрязнения атмосферы (ИЗА 35,45) по результатам инструментальных замеров выявлен в районе Трофимовского моста, проходящего над железной дорогой и соединяющего две крупные автомагистрали с интенсивным движением: ул. 50 лет Октября и Московское шоссе. Здесь же

находится крупное промышленное предприятие – Высокое значение ИЗА, соответствующее очень высокому уровню загрязнения атмосферы (≥ 14), обусловлено более чем 14-кратным превышением ПДК по диоксиду азота – веществу 2 класса опасности, являющемуся одним из главных компонентов автомобильных выхлопных газов.

Наименьший уровень загрязнения (ИЗА 0,62) выявлен в поселке Увек, расположенном на высоком берегу Волги и представляющим собой преимущественно малоэтажную застройку с приусадебными участками и большими площадями открытых пространств.

В большей части остальных точек отбора уровень ИЗА соответствует повышенному (от 5 до 6) и высокому (от 7 до 10) уровню загрязнения атмосферы. Исключения составляют перекрестки с низкой интенсивностью движения (перекресток ул. Тульской и Фруктового проезда, ул. Маяковского и Дачного проспекта), а также широкие улицы с бульварами (ул. Астраханская, 150) или частной застройкой (перекресток ул. Елшанская и Московского шоссе), где значения ИЗА составляют менее 5, что соответствует низкому уровню загрязнения. Следует отметить, что приведенные данные отражают результаты разовых замеров состава атмосферного воздуха и не учитывают временные изменения (суточные, месячные, годовые колебания) концентраций загрязняющих веществ.

Наиболее точную картину загрязнения городского воздуха позволяют воссоздать данные сети стационарных постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ), которые ежедневно фиксируют замеры состава и количества основных загрязнителей. Сведения о местах размещения ПНЗ в городе Саратове и перечень регулярно определяемых на них примесей представлены в таблице 3.4.6.

Таблица 3.4.6

Сеть стационарных постов наблюдения за загрязнением атмосферного
воздуха в г. Саратове

№ поста	Адрес поста	Определяемые примеси
---------	-------------	----------------------

наблюдения		
ПНЗ-1	Заводской район, Проспект Энтузиастов, 61	пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, гидрохлорид, формальдегид, бенз(а)пирен.
ПНЗ-2	Заводской район, ул. Волгодонская, 2	пыль, оксид углерода, диоксид азота, сероводород, фенол, аммиак, формальдегид, ароматические углеводороды, бенз(а)пирен.
ПНЗ-5	Волжский район, ул. Октябрьская, 45	пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, фенол, формальдегид, бенз(а)пирен.
ПНЗ-6	Ленинский район, ул. Ломоносова, 1	пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, фенол, гидрофторид, формальдегид.
ПНЗ-7	Ленинский район, ул. 50 лет Октября, 87	пыль, оксид углерода, диоксид азота, гидрохлорид, аммиак, формальдегид, тяжелые металлы.
ПНЗ-8	Кировский район, ул. Астраханская, 150	пыль, оксид углерода, диоксид азота, фенол, гидрофторид, формальдегид.

Наблюдения за загрязнением воздуха проводится по неполной программе в 07, 13, 19 часов местного времени за основными примесями: пылью, формальдегидом, сернистым газом, окисью углерода и двуокисью азота. Кроме того, на всех постах отбираются пробы на специфические вредные примеси: оксид азота, сероводород, хлорид водорода; аммиак, фенол, хлор; фторид водорода [111].

На основе полученных данных ПНЗ о составе и количестве основных загрязнителей за 1992-1996 и 2020-2023 гг. для каждого поста был рассчитан ИЗА₅ по среднегодовым концентрациям определяемых постом примесей. Полученные значения легли в основу карт химического загрязнения атмосферы по данным ПНЗ (приложение 7). При расчете ИЗА₅ были использованы гигиенические нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, введенные в действие в 2003 г. [89] без учета изменений, внесенных в нормативных документы в последующие годы (таблица 3.4.7). Такая методика расчетов были принята в целях получения сопоставимых значений ИЗА₅, отражающих не столько нормативные, сколько фактические данные о загрязнении атмосферного воздуха и позволяющих выявить его динамику.

Таблица 3.4.7

Изменения ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в

официальных нормативных документах

Наименование документа	ГН 2.1.6.1338-03		ГН 2.1.6.3492-17		СанПиН 1.2.3685-21	
Год принятия	2003		2017		2021	
Загрязнитель:	ПДК с/с, мг/м ³	Класс опасности	ПДК с/с, мг/м ³	Класс опасности	ПДК с/с, мг/м ³	Класс опасности
Диоксид азота	0,04	2	0,04	3	0,1	3
Аммиак	0,04	4	0,04	4	0,1	4
Формальдегид	0,003	2	0,01	2	0,01	2
Фенол	0,003	2	0,006	2	0,006	2
Гидрофторид	0,005	2	0,005	2	0,014	2
Смесь предельных углеводородов C ₁ -C ₅	—	—	50	4	50	4
Смесь предельных углеводородов C ₆ -C ₁₀	—	—	5	3	5	3

Анализ карт за 1992-1996 и 2020-2024 гг. показывает, что наиболее высокие показатели ИЗА также наблюдаются в пределах полумесяца Техстекло – центр – юг Заводского района по осевым улицам города: пр. Строителей, ул. Шехурдина, ул. Соколова, ул. Большая горная, ул. Чернышевского, ул. Ново-Астраханское шоссе, пр. Энтузиастов, ул. Азина.

Следует отметить, что на любой из представленных аналитических карт очаги превышения ИЗА приходятся на пересечение ул. Шехурдина и пр. Строителей, а также ул. Соколова и ул.Танкистов. Кроме того, локальные превышения ИЗА приходятся также на Заводской район в районе бывшего авиастроительного завода и завода Оргсинтез

Представляется, что такая закономерность, как и в случае запыленности, связана с крупными открытыми пространствами без древесно-кустарниковой растительности и высокой концентрацией автотранспорта.

Сопоставление карт загрязнения снежного покрова, пылевой нагрузки и химического загрязнения атмосферы за разные годы позволило создать интегральную карту устойчивых ореолов загрязнения городского воздуха (приложение 8).

Ретроспективная оценка загрязнения воздуха позволяет оценить динамику развития этого явления, а также связать его с природными и социально-

экономическими процессами.

Использованные данные были нормализованы в долях единицы и сведены в интегральный коэффициент загрязненности атмосферы, который и представлен на карте.

Рассмотрим экстремальные значения коэффициента.

Наиболее высокая загрязненность атмосферы (как твердыми частицами, так и химическими загрязнителями) наблюдается в северной части города, в районе слияния ул. Шехурдина и проспекта Строителей. По нашему мнению такое расположение очага загрязненности связано с наличием крупных осевых улиц со стабильно высоким уровнем концентрации автомобильного транспорта.

Кроме того, данная территория находится в локальном понижении, относительно основной части проспекта Строителей, что способствует концентрации стоковых воздушных потоков с мкр. Техстекло, а также по ул. Шехурдина от мкр. Елшанка.

Отдельно стоит сказать об антропогенном формировании городских каньонов по вышеобозначенным улицам из пяти- и девятиэтажных зданий, как раз в направлении стоковых потоков.

Еще одним фактором формирования в этом месте локального максимума загрязнения воздуха является минимальное количество древесно-кустарниковой растительности, которая могла бы являться естественным барьером для неблагоприятных атмосферных процессов.

Другими локальными очагами загрязнения воздуха согласно представленной модели являются участки севернее Сенного рынка и юга Заводского района.

Первый из этих двух участков представляет собой центральную часть города, от Сенного рынка до района старого Аэропорта на севере и до мкр. СХИ на северо-западе. Нам представляется, что главными негативными факторами на данном участке являются пониженный характер рельефа и соединение нескольких основных магистралей: ул. Соколовой, ул. Большой Горной, ул. Танкистов.

Второй участок локального загрязнения – юг Заводского района, ограниченный также крупными осевыми дорогами: ул. Азина и проспектом Энтузиастов. Здесь главными факторами являются также высокая концентрация автотранспорта, пониженный рельеф и сформированные линии городских каньонов. Кроме того, важно отметить, что большое пространство здесь занято открытыми площадями бывших и действующих заводов, лишенных большого количества древесно-кустарниковой растительности, а также территориями других хозяйственных помещений, гаражами и т.п.

Основными тенденциями, на которые указывают представленные данные, могут быть выделены следующие:

- четкая взаимосвязь очагов загрязнения с местами пересечения крупных магистралей с высокой концентрацией автотранспорта;
- расположение загрязненных зон в котловинах и на территориях, к которым подходят сформированные городские каньоны из многоэтажной застройки;
- дополнительным фактором, влияющим на очаги загрязнения воздуха, является отсутствие или небольшая концентрация в них древесно-кустарниковой растительности.

ВЫВОДЫ

1. Основные факторы и причины загрязнения воздушного бассейна города Саратова можно условно разделить на две категории: природные и антропогенные. К природным факторам относятся: вогнутый характер рельефа; расположение в зоне семиаридного климата с низкой влажностью и небольшим количеством осадков; характер ветров (низкие скорости ветра, большое количество штилевых дней), частый антициклонический характер погоды, температурные инверсии и связанное с ними формирование «задерживающих» слоев в атмосфере. К антропогенным факторам относятся: высокая интенсивность транспортного потока, сопровождающаяся наличием дорожных пробок, выбросы промышленных предприятий, большие площади открытого грунта в городе и распаханых пригородных территорий, плотная застройка, недостаточное

озеленение.

2. 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.

3. 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.

4. 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).

5. Устойчивые ореолы загрязнения атмосферы по данным многолетних наблюдений выявлены на участках с сочетанием негативных факторов: понижения рельефа, перекрестки основных магистралей, минимум древесно-кустарниковой растительности, плотная застройка.

ГЛАВА 4. УРБОКЛИМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

4.1. Выделение «островов тепла»

Урбоклиматические аспекты играют ключевую роль в формировании комфортной городской среды. Городская застройка, транспортные потоки и зеленые насаждения влияют на микроклимат, создавая так называемые «городские острова тепла». Эти явления возникают из-за концентрации зданий и асфальтированных поверхностей, которые поглощают и аккумулируют солнечное тепло. В Саратове, с его разнообразным ландшафтом и климатическими условиями, важно учитывать, как различные элементы городской инфраструктуры влияют на температурный режим, влажность и качество воздуха. Моделирование этих процессов с использованием ГИС позволяет выявить наиболее проблемные зоны и разработать необходимые меры на уменьшения негативного воздействия островов тепла на качество городской среды.

«Острова тепла» оказывают значительное влияние на все ключевые параметры жизнедеятельность большого города, особенно в летний период.

1. Погода и климат города

По данным исследований [125] «острова тепла» оказывают воздействие на микроклимат города. При этом не только на распределение температур, но и на ветровой режим, развитие облачности, туманы, влажность, выпадение осадков. Остров тепла создает в течение дня локальную область низкого давления, где сходится относительно влажный воздух из его сельских окрестностей, что, возможно, приводит к более благоприятным условиям для образования облаков. Количество осадков с подветренной стороны городов увеличивается от 48% до 116%. В некоторых городах общее количество осадков увеличилось на 51%.

Кроме того, изменяется и вегетационный период в областях «островов тепла» для древесно-кустарниковых насаждений, а также для сельскохозяйственной растительности в городе и на примыкающих территориях [129].

Есть наблюдения, что эффект «островов тепла» распространяется на территорию, в 2-4 раза большую, чем площадь очага повышенной температуры [126].

2. Здоровье населения города

Большое влияние оказывают острова тепла на здоровье жителей города. Повышенная температура в летний период приводит к экспоненциальному увеличению смертности. Особенное значение имеет то, что «остров тепла» усиливает свое превышение относительно фоновых показателей температур в ночной период.

Следствием распространения «островов тепла» являются обострения сердечнососудистых и цереброваскулярных заболеваний, диабета, проблем со сном.

Кроме того, «острова тепла» характеризуются более высокими содержаниями загрязняющих веществ: окиси углерода, оксида азота, твердых частиц, летучих органических веществ. Особенный негативный эффект имеют территории с недостаточной вентиляцией, где повышенные температуры вызывают повышенное скопление загрязняющих веществ, а потоки воздуха не могут произвести вынос загрязнителей.

Мультипликативный эффект «островов тепла» и недостаточного проветривания территорий вследствие неправильной организации застройки или специфического рельефа значительно увеличивает воздействие на здоровье жителей города [148].

3. Фауна города

Другим важным реципиентом воздействия «островов тепла» является фауна урбанизированных территорий. Территории с повышенными температурами характеризуются изменением биоценозов:

- замещением видов более теплолюбивыми,
- формированием азонального характера ландшафтов внутри городского пространства, когда характерная для данной широты природная зона, меняется на более «теплую»,

- изменение фауны акваторий внутригородских экосистем, а также примыкающих территорий,
- появление большего количества насекомых внутри и вблизи «островов тепла», в т.ч. кровососущих и вызывающих зоонозные заболевания [127].

4. Водные объекты

«Острова тепла» приводят к ухудшению качества воды в водоемах близ города. Это происходит из-за повышения температуры стоковых вод, которые, в свою очередь, повышают температуру ручьев, рек, прудов и даже прибрежной части крупных водохранилищ. Это вызывает стресс экосистем акваторий, повышенные темпы эвтрофикации водоемов, гибель фауны, распространение кровососущих насекомых.

5. Потребление энергии

Другим негативным эффектом «островов тепла» является увеличенный спрос в жаркий летний период на кондиционирование помещений, и, как следствие, на потребление электроэнергии. С другой стороны, в зимний морозный период острова тепла значительно понижают спрос на отопление относительно фоновых показателей, что может рассматриваться в качестве положительного эффекта для территорий, имеющих достаточно продолжительную и морозную зиму.

Для анализа распределения поверхностных температур, а также выявления максимумов и минимумов в разные сезоны года, были проанализированы космоснимки Landsat 8 за 24.01.2023 г. и за 20.08.2023 г. С помощью модуля Land Surface Temperature для программного комплекса QGIS были построены растры поверхностных температур (LST) на территорию города в зимний и летний периоды (рис. 4.1.1. и 4.1.2.). Кроме того, была произведена атмосферная коррекция и коррекция по подстилающей поверхности, для уточнения данных.

Рассмотрим каждую из моделей поверхностных температур по отдельности.

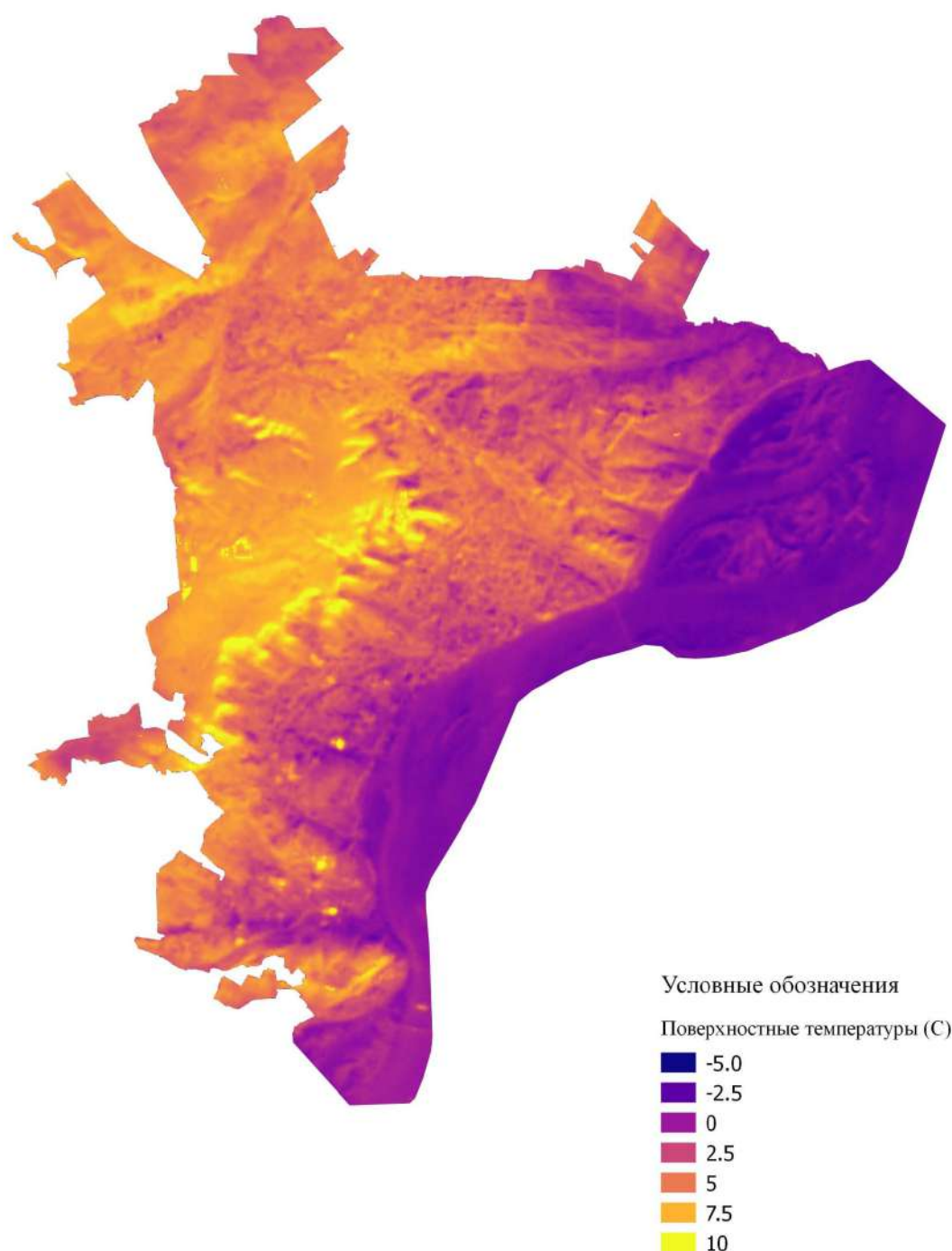


Рис. 4.1.1. Поверхностные температуры территории города Саратов зимой 2023 г.

Зимнее время в г. Саратове характеризуется продолжительным периодом с устойчивой температурой ниже 0°C. Наиболее холодный месяц – январь. Зимний период часто характеризуется устойчивыми антициклонами с морозной и ясной погодой.

По полученной модели распределения температур на январь, можно заметить некоторые тенденции:

- наиболее нагретые поверхности наблюдаем на южном склоне

Лысогорского массива;

- в южной части Заводского района, в местах, занятых промышленными и складскими зданиями без древесно-кустарниковой растительности, есть четко выделяемые «острова тепла», контрастирующие с фоновыми значениями температур;

- главными улицами, коридорами распространения тепла, являются крупные осевые улицы города, соединяющиеся у автомобильного моста: ул. Большая Горная, ул. Соколова, ул. Чернышевского, а также их продолжения в северной и северо-западной части города – проспект Строителей, ул. Шехурдина, ул. Антонова, Московское шоссе;

- «островами холода», т.е. пониженных температур, являются долина р. Гусёлки, долины крупных оврагов и балок, впадающих в Волгоградское водохранилище, северные склоны повышений рельефа, локальные массивы с древесно-кустарниковой растительностью.

Летний период в исследуемом районе также характеризуется преобладанием устойчивых антициклонов, характеризующихся ясной и жаркой погодой. Наиболее жаркий месяц – июль, но и другие летние месяцы имеют весьма схожие погодные особенности.

Построенная модель распределения температур за август имеет следующие особенности:

- в целом весь город достаточно сильно разогрет, средние температуры поверхности стремятся к некомфортной для человека отметке 40°C;

- «аккумуляторами холода» в летний период в первую очередь Волгоградское водохранилище и Лысогорский массив. Кроме того, пониженные поверхностные температуры наблюдаются в крупных массивах древесно-кустарниковой растительности: парках, долинах малых рек, оврагов и балок;

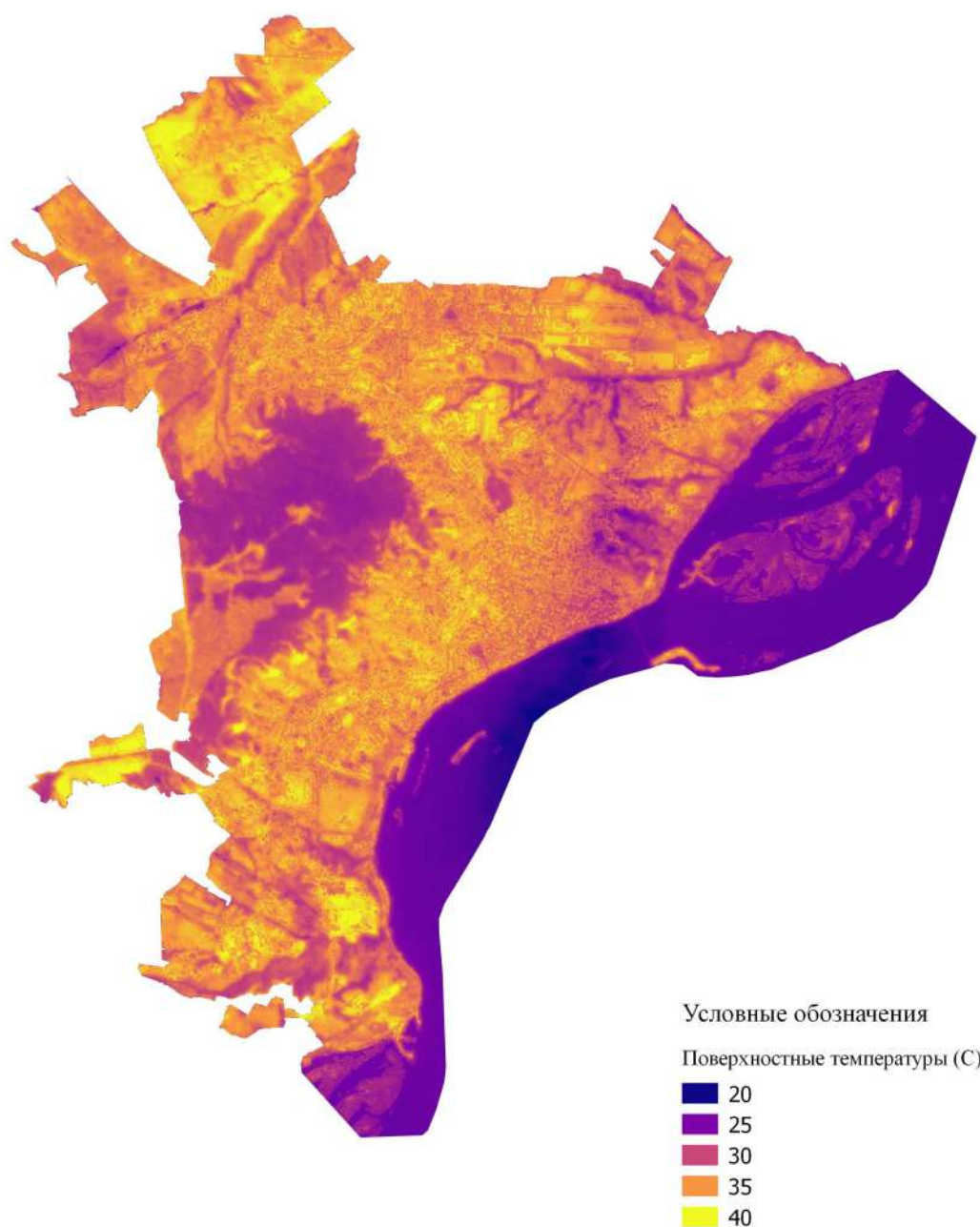


Рис. 4.1.2. Поверхностные температуры территории города Саратов летом 2023 г.

- наиболее разогреты, как и в зимний период, крупнейшие улицы города – Соколовая, Большая Горная, Чернышевского, проспект Энтузиастов, проспект Строителей, Шехурдина и Московское шоссе;
- имеют умеренные значения поверхностных температур улицы с обширными аллеями древесно-кустарниковой растительности – ул. Рахова, ул. Астраханская, проспект 50 лет Октября;
- отдельно выделяются новые районы города – Солнечный и Юбилейный, а также промышленная часть города – южная часть Заводского

района, территория вдоль ул. Шехурдина. Повышенные температуры здесь определяются минимальным озеленением и большим количеством пространств, покрытых асфальтом.

Таким образом, по построенным моделям распределения температур были выявлены участки с повышенными значениями относительно фоновых – «острова тепла» и участки с пониженными значениями относительно фоновых «острова холода».

Эффект «островов тепла» безусловно оказывает большее воздействие на крупные агломерации, расположенные в теплом и жарком климате. Существуют некоторые меры по борьбе с негативным эффектом этого явления:

- увеличение альбедо города за счет более светлых поверхностей крыш, которые отражают значительную часть солнечного излучения и, таким образом, понижают поверхностные температуры;
- преобладание светлого бетона над асфальтом в мощении улиц, и, как следствие, также повышение общего альбедо города;
- развитие программы «зеленых» крыш, т.е. озеленения верхних этажей зданий. Параллельно это приводит еще и к более качественному газообмену в городе. Кроме того, растения могут рассматриваться в качестве изолятора для зданий в холодный период.

Показанные проблемы и пути решения проблем «островов тепла» имеют важное значение в свете исследования микроклимата г. Саратова, а также взаимодействия с моделями проветривания и распространения загрязняющих веществ.

4.2. Выделение городских каньонов

Детализированное моделирование климатического режима города требует адекватной детальной информации о городской среде. Основной единицей, характеризующей урбанизированную среду, служит городской каньон, обычно интерпретируемый как один из типов подстилающей поверхности. Его основные параметры – высота H и ширина W , которые вместе определяют пропорции

каньона – отношение H/W , которое часто выступает в качестве параметра городских климатических моделей. Дополнительными геометрическими характеристиками каньона являются его длина L и направление (азимут) [57].

Для детального описания городской среды топографические параметры могут быть эффективно извлечены из баз пространственных данных и данных дистанционного зондирования.

Каньоны представляют собой конкретные физические объемы, имеющие границы в пространстве. Их локальная геометрия определяется расстоянием между зданиями и их высотой. Городской каньон является естественным морфологическим элементом структуры города, но дополнительным по отношению к зданиям в пространстве.

В классической постановке каньон определяется парой зданий [141]. В то же время, если соседние каньоны имеют общую ориентировку, они формируют один каньон более высокого порядка, который создает особые условия для физических процессов в городской среде. Такие каньоны формируются вдоль городских улиц и называются *направленными* [145]. При этом остальные, обычно внутриквартальные, пространства между зданиями состоят из ненаправленных каньонов. С некоторой долей условности можно говорить о том, что *длина направленного каньона значительно больше его ширины: $L \gg W$* . Помимо этого, направленный каньон имеет постоянное или постепенно, но не резко меняющееся направление.

Для моделирования взаимодействия атмосферы и городской подстилающей поверхности в разных масштабах используется иерархическая классификация каньонов на микроканьоны, мезоканьоны и макроканьоны [57].

1. Микроканьоны. Это базовый уровень, на котором каньон определяется каждой парой зданий (городской каньон в его классическом понимании). На уровне микроканьонов невозможна дифференциация между направленными и ненаправленными каньонами. Это уровень является атомарным и должен быть использован для микроклиматических исследований, таких, как оценка энергетического баланса каньона, эффективности расходования энергии в

зданиях, исследование биоклиматической комфортности. Информация о микроканьонах будет полезна в моделях городского энергетического баланса. Архитекторы могут найти микроуровень полетным при поиске оптимального местоположения и геометрических параметров проектируемых зданий в окружающем контексте. Типичный линейный масштаб микроканьонов составляет десятки метров.

2. Мезоканьоны представляют промежуточный уровень обобщения понятия «городской каньон» и определяются как цепочка каньонов между перекрестками, вытянутых вдоль осевой линии одной улицы. Длинные мезоканьоны могут быть разбиты на секции, имеющие однородный по высоте, материалам и прочим свойствам тип застройки. Данный уровень является атомарным для исследования сети направленных каньонов города и может быть использован для климатического и метеорологического моделирования на локальном и мезомасштабном уровнях. Возможные направления приложений включают прогноз погоды и климата в городах, исследования энергетического баланса в масштабах города. Типичный линейный масштаб мезоканьонов составляет сотни метров.

3. Макроканьоны соответствуют улицам и цепочкам улиц, образующим в терминах картографической генерализации «строки». Понятие «строка» было введено в работе Томсона и Ричардсона (1999) [149] для целей генерализации сети улиц на основе принципа продолжения. Суть принципа заключается в том, что ребра улично-дорожной сети, которые стыкуются под малым углом поворота, могут быть объединены в одну длинную строку. Эта строка соответствует цепочке мезоканьонов, которая называется макроканьоном. Примером макроканьона может быть любая улица, например улица Усть-Курдюмская в микрорайоне Юбилейный, в городе Саратове. Макроканьоны используются для решения специальных задач, таких, как исследование основных коридоров вентиляции (продувания) города. Типичный линейный размер макроканьонов имеет масштаб порядка километров.

При выделении городских каньонов на территории г. Саратова и

определении их параметров была использована методика, основанная на анализе векторных пространственных данных [57].

Исходными данными для выделения городских каньонов послужили:

- векторные данные на территорию города (линии дорожно-уличной сети, геометрия застройки, растительность) [139];
- цифровая модель местности.

Для корректного анализа и оценки городских каньонов, необходимо подготовить базовую цифровую модель местности, включающую в себя рельеф, здания, растительность. Была взята ранее подготовленная цифровая модель рельефа, основанная на глобальных данных Copernicus, она же использовалась для оценки естественной проветриваемости территории и дополнилась данными с OpenStreetMaps (растительность, здания, дороги).

Методика выделения городских каньонов включает несколько последовательных этапов, в рамках которых необходимо:

- построить триангуляцию Делоне на множество зданий и полигонов высокой растительности (лесная растительность в пределах города) для анализа пространственных взаимосвязей между зданиями и другими типами поверхности;
- выбрать треугольники в пределах триангуляции, находящиеся внутри зданий и полигонов высокой растительности, используя топологическое отношения «внутри» между ними (WITHIN) «через»; удалить выбранные треугольники, пометив их, как находящиеся за пределами области построения триангуляции.
- сделать выборку для тех треугольников, находящихся внутри зданий и полигонов высокой растительности на не менее чем 60 % площади;
- выбрать треугольники, пересекаемые линиями улично-дорожной сети (буфером) используя топологическое отношение «пересекает» (запрос к атрибутам объекта через INTERSECTS); пометить выбранные треугольники, как принадлежащие направленным каньонам (темно-серые треугольники на рисунке 4.2.1);
- инвертировать выборку треугольников, полученных на предыдущем

шаге; пометить выбранные треугольники, как принадлежащие ненаправленным каньонам (светло-серые треугольники на рисунке X).

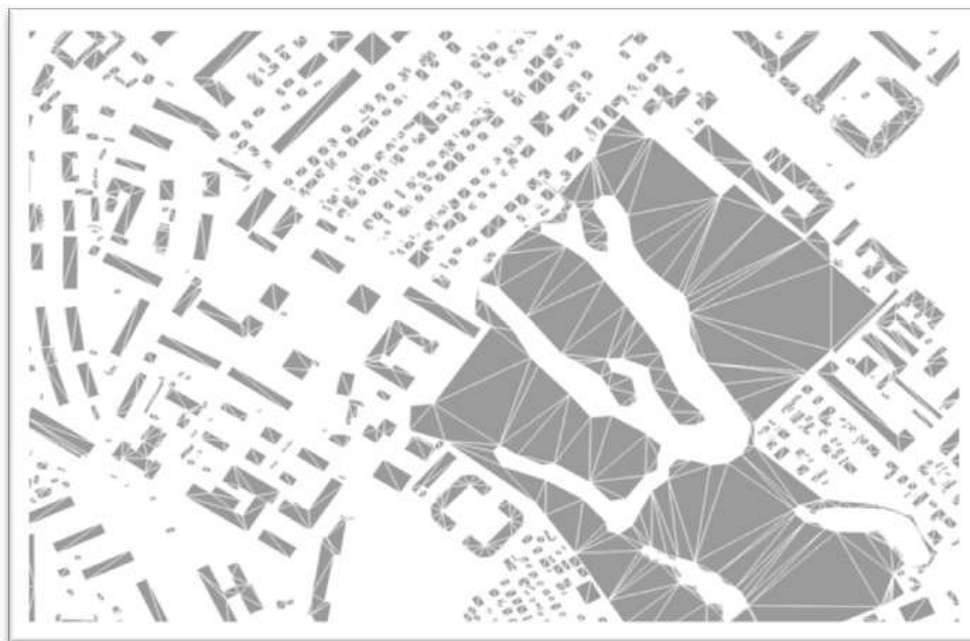


Рис. 4.2.1. Составление триангуляционной сети для базовой ЦММ

При поиске треугольников, принадлежащих каньонам, необходимо наложить условие, при котором такой треугольник должен иметь хотя бы одну вершину, принадлежащую зданию, в противном случае в выборку попадут еще и чисто «растительные» каньоны (просеки, аллеи), которые в данном случае не представляют интереса. Для этого с помощью пространственной выборки надо найти пересечение стен зданий с ребрами треугольников: топологическое отношение «касается» (TOUCHES), выделив следующие типы зданий:

- *фронтальные* (касаются направленных каньонов (1));
- *внутриквартальные* (касаются ненаправленных каньонов (2) и не касаются направленных каньонов (1));
- *без каньона* (не касаются каньонов, возможно, окружены со всех сторон растительностью).

В результате произведенных действий была получена модель городских каньонов с разделением на два типа – направленные и ненаправленные – различающихся между собой по характеру аэрационного режима. На основе полученной модели была построена карта «Типы городских каньонов» (приложение 9).

Первый тип имеет значение в качестве коридоров либо препятствий для движения воздушных потоков, а второй не оказывает существенного влияния на скорости ветра.

На основании моделирования можем выделить территории, которые относятся к направленным каньонам:

- коридор «Северо-запад»: Московское шоссе, ул. Шехурдина до пл. Ленина, где смыкается с коридором «Север»;
- коридор «Север»: ул.Тархова, ул. Антонова, пр. Строителей, ул. Шехурдина до пл. Ленина, где смыкается с коридором «Северо-запад»;
- коридор «Центр» от пл. Ленина через пр. 50 лет Октября, ул.Большая Горная и ул.Соколова до Волгоградского водохранилища в районе автомобильного моста;
- коридор «Северо-восток»: ул. Усть-Курдюмская, ул. Аэропорт, ул. Мясницкая и ул. Симбирская, смыкаясь с коридором Центр в районе пересечения с ул. Соколова;
- коридор «Юго-запад»: от ул. Соколова по ул. Астраханской, ул. Большой Садовой, Ново-Астраханскому шоссе на юго-запад города;
- коридор «Юг»: от Ново-Астраханского шоссе по ул. Тульской, ул. Азина и пр. Энтузиастов на юг города.

Данные каньоны образуют модель движения воздушных потоков, определяющую проветриваемость и изменение скорости преобладающих ветров. Направление каньонов формируются городской застройкой в рамках естественного рельефа.

Стоит отметить и зоны ненаправленных каньонов. Их не так много – это опытные поля НИИСХ «Юго-восток» в северной части города, восточнее п. Солнечный; территория кладбища в центральной части; частный сектор и дачные массивы на северо-западе (мкр. Поливановка) и на крайнем юге городской застройки, рядом с заводом «Саратоворгсинтез».

Данные территории отличаются отсутствием сгруппированных препятствий, которые могли бы сформировать четкие коридоры для воздушных

потоков. Вряд ли можно сказать, что ветер здесь будет застаиваться, т.к. упомянутые зоны не характеризуются закрытым или котловинным типом рельефа, при этом проветриваемость этих территорий будет выше, чем в направленных каньонах.

4.3. Аэрационный режим городских каньонов

В соответствии с теоретической моделью, разработанной Ф. Л. Серебровским, воздушный поток при обтекании городского пространства претерпевает трансформацию в силу шероховатости поверхности. Различают «гипершероховатость», «макросшероховатость» и «микросшероховатость» городской территории. Гипершероховатость обуславливается сложностью рельефа, макросшероховатость – характером застройки, микросшероховатость – наличием малых архитектурных форм, зеленых насаждений, элементов благоустройства [97]. Под влиянием шероховатости поверхности скорость и направление ветра в городе по сравнению с открытым пространством в значительной степени меняются.

Основной особенностью городской застройки является ее преимущественно линейная структура: здания различной протяженности и этажности располагаются по обеим сторонам улицы, служащей основным элементом городской планировки. Параллельные ряды домов образуют уличные каньоны, движение воздуха в которых трансформируется. Улицы, в свою очередь, являются частью более сложных элементов застройки – планировочных районов и микрорайонов. Таким образом, каньоны создают «плохо обтекаемую аэродинамическую макросшероховатость, внутри которой возникают вихревые, струйные и другие более сложные потоки воздуха» [92]. Степень изменения направления и скорости воздушного потока в каньоне зависит от ширины улицы, высоты зданий, наличия разрывов между домами.

В пространстве между двумя параллельными зданиями «при направлении ветра, отличающемся от 90°, наблюдается винтовое движение воздуха, распространяющееся вдоль длинных сторон зданий» [92]. При поперечном ветре,

дующем «слева направо», и отсутствии больших разрывов между зданиями внутри каньона «образуется вращающийся по часовой стрелке вихревой поток», появляется обратное течение вследствие устойчивого вихря, увлекающего загрязняющие вещества к подветренным фасадам наветренного ряда зданий. Обратная циркуляция наиболее выражена при незначительных разрывах в застройке или их отсутствии [8]. Более того, «в углу между дном желоба и подветренной стеной наветренного здания образуется вихрь малого размера» [152]. Здесь также следует иметь в виду, что улица с плотной застройкой или «фрагмент, открытый с двух сторон, чувствителен к отклонениям воздушного потока» [97].

Многие исследователи отмечают, что в силу особенностей аэродинамики уличного каньона, как полужамкнутого пространства, вредные примеси плохо рассеиваются [79, 119, 121, 122, 151, 132] и возникающие в поперечном профиле «квазистационарные вихри» [92] приводят к повышенному загрязнению воздуха со стороны подветренных фасадов наветренного ряда зданий [80, 119, 121, 122, 132, 151]. При этом усиление скорости поперечного ветра не приводит к снижению концентрации загрязняющих веществ в воздухе в соответствии с экспоненциальной зависимостью, полученной для улиц со свободной застройкой [5].

Такая циркуляция воздуха в уличном каньоне приводит к увеличению концентрации выхлопных газов вблизи застройки, так как первый большой вихревой поток «переносит основную часть загрязняющих веществ от источника» [152], а второй – удерживает их у нижних этажей зданий. По этой причине зависимость концентрации от скорости ветра по оси улицы более сильная, чем у стен наветренных зданий [130].

Основным геометрическим параметром поперечного профиля уличного каньона служит критерий z , предложенный Э.Ю. Реттером [92]:

$$z = \frac{b}{H},$$

где b – расстояние от наветренного фасада первого по потоку ряда застройки до оси улицы, H – средняя высота зданий в метрах.

Результаты исследований [6, 8] свидетельствуют о том, что скорость ветра в каньоне не снижается при превышении ширины улицы над высотой зданий в 4-8 раз, то есть при значениях z от 2 до 4, при условии наличия значительных разрывов между зданиями или многосекционной застройки равной этажности.

Степень «продуваемости» уличного каньона характеризуется критерием δ , отражающим отношение суммы длин фасадов зданий к периметру каньона:

$$\delta = 1 - \sum l_i / L_{\Pi}$$

где $\sum l_i$ – сумма длин фасадов зданий, L_{Π} – протяженность периметра каньона.

Оптимальное значение δ , при котором не происходит значительного снижения скорости ветра, составляет 0,3-0,5. При этом влияние доли разрывов в застройке на падение скоростей ветра сглаживается и по мере увеличения протяженности самих зданий в ряду. При многосекционной застройке скорость ветра в каньоне снижается незначительно или даже увеличивается. Однако такая ситуация приводит к уменьшению доли разрывов в периметре каньона, что сопровождается формированием между зданиями «устойчивого вихря» [92], стимулированного стесняемой фронтальной застройкой. Немногочисленные разрывы между зданиями уже не влияют на снижение скорости ветра в уличном пространстве. Согласно данным исследований [6, 8], вихревые потоки между зданиями на поперечном сечении улицы появляются уже при переходе от точечной застройки к 2-3-секционной фронтальной при разрывах 15 м, а также при ее уплотнении в ряду. При таких условиях и ширине улицы до $3H$ вихрь между зданиями является «предельно устойчивым» [92]. В этом случае, несмотря на то, что скорость ветра в каньоне сохраняется, ситуация не становится более благоприятной, поскольку повышается вероятность опасного загрязнения воздуха вблизи фасадов в силу возникновения замкнутой обратной циркуляции загрязнителей в поперечном сечении каньона.

При использовании односекционных зданий с большими разрывами между ними и увеличении ширины каньона больше 9-10 H , т.е. при $z > 5$, влияние застройки на скорость ветра в уличном пространстве практически нивелируется, а вихрь между зданиями разрушается и пропадает. Следовательно, опасность

повышенного загрязнения воздуха в каньоне ликвидируется [8].

Аналогичный результат получен при исследовании загрязнения воздуха промышленных площадок, где длина единой циркуляционной зоны между двумя соседними зданиями ограничивается критическим расстоянием, равным $10H$ [79]. При увеличении расстояния между зданиями до десятикратного превышения над их высотой единая зона движения воздушного потока разделяется на две самостоятельных зоны: подветренную у первого к ветру здания и наветренную – у второго. Такие строения уже не образуют каньон и не оказывают существенного влияния на движение воздуха в застройке [6].

Таким образом, уличный каньон является ключевым элементом, определяющим макрошероховатость поверхности, служащей основной причиной трансформации воздушных потоков в городском пространстве. Поэтому при определении аэрационного потенциала проектируемых или реконструируемых зон застройки необходимо учитывать особенности аэрационного режима городских каньонов.

В целях улучшения аэрационного режима и предотвращения опасного загрязнения воздуха в жилой застройке необходимо избегать образования полузамкнутых уличных каньонов, характеризующихся обратной циркуляцией воздуха в поперечном сечении и застоем загрязненного воздуха у фасадов домов. Для этого используются планировочные приемы, а именно: расширение разрывов между домами и отступов от оси улицы, ограничение количества многосекционных зданий, смещение оси домов и чередование этажности в ряду, расположение фасадов под углом к осевой линии и т.д., а также расширение зеленых зон, организация озеленительных полос вдоль магистралей и внутри кварталов, использование малых архитектурных форм в благоустройстве.

4.4. Определение аэрационного потенциала городской застройки

Карта аэрационного потенциала городской застройки была построена на основе трех моделей, характеризующих параметры городских каньонов: направления каньонов, коридоры вентиляции городской территории, индекс

открытости небосвода.

4.4.1. Направления городских каньонов

Направление городских каньонов является одним из ключевых факторов, оказывающих значительное влияние на потенциал рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы городской застройки.

Алгоритм построения модели направлений каньонов включал следующие поэтапные действия:

- разрезать линии улиц расчетной сеткой, присвоив каждой полученной линии идентификатор покрывающего ее квадрата, используя на данном шаге операцию оверлей для линий и полигонов, в результате чего пересечения линий и квадратов сетки становятся отдельным объектом;
- разбить каждую линию в узлах на отрезки с двумя вершинами;
- вычислить направление каждого отрезка от 0 до 360 градусов.

Вычисления были произведены в программном комплексе QGIS через расширенный калькулятор Питона:

```
p1 = $geom.asPolyline()[0]
p2 = $geom.asPolyline()[-1]
a = p1.azimuth(p2)
if a < 0:
a += 360
value = a
```

Далее каждому квадрату сетки было присвоено значение преобладающего направления ветра в ячейках (200 м и 1 км). Ячейка в 1 км использовалась для масштаба всего города, 200 м – для кварталов и микрорайонов.

На основании преобладающих направлений каньонов в пределах исследуемой ячейки, была составлена карта направлений каньонов территории г. Саратова (приложение 9), которая позволяет получить представление о движении воздушных масс.

Модель с ячейкой в 1 км² отличается более высоким уровнем обобщения и

позволяет определить направления основных крупных каньонов, представляющих собой протяженные осевые структуры. Так, можно выделить участок с каньонами, ориентированными в северо-западном (юго-восточном) направлении в прилегающей к центру части города. Это крупные улицы: пр. 50 лет Октября, ул. Тракторная, ул. Астраханская. Каньоны северо-восточного и юго-восточного направлений преобладают в северной и восточной частях города – это мкр. Техстекло, мкр. Солнечный, мкр. Юбилейный. Также можно выделить и восточный склон Лысогорского массива с каньонами преимущественно юго-восточного направления.

Модель с ячейкой в 0,04 км² имеет гораздо меньший уровень обобщения и позволяет проанализировать каньоны среднего размера. Особенно заметны группы каньонов в центральной исторической части города, где их формирование связано с застройкой вдоль основной оси Волга – вокзал.

4.4.2. Коридоры вентиляции городской территории

На основании данных о преобладающих направлениях каньонов, выделенных ранее, были построены линейные коридоры вентиляции, представленные на карте «Коридоры вентиляции городской территории» на территорию г. Саратова (приложение 10).

Очевидно, коридоры являются генерализованным скелетом городских каньонов, с учетом преобладающего направления в единице площади. Многие коридоры повторяют пространство квартальной застройки и овражно-балочной сети.

Для выделения преобладающей линейной структуры использовались данные по направлению каньонов по сетке 200 метров и 1000 метров.

Макроканьоны служат коридорами вентиляции при ветрах продольных направлений и становятся препятствием для движения воздушных масс при поперечных ветрах.

4.4.3. Индекс открытости небосвода

Для того, чтобы подход к оценке проветриваемости территории был более полным, направления и классификации каньонов не всегда достаточно, необходимо задействовать еще один фактор – фактор **открытости небосвода** [57].

Открытость небосвода – это доля небесной полусферы, видимая из точки. Растр *SVF* получается алгебраически – комбинацией теневых изображений, полученных по цифровой модели рельефа при различных направлениях освещения [17, 63]

Индекс открытости небосвода (SVF) характеризует открытость неба в заданной точке городской территории – чем выше значение, тем больше доля небесной полусферы, видимая в выбранной точке. Для направления α частное значение SVF в точке p определяется как: $SVF(p, \alpha) = \cos^2 \beta(p, \alpha)$, где β – максимальный угол препятствия в направлении. Полное значение получается путем интегрирования частных значений по всем направлениям

$$SVF(p) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^2 \beta(p, \alpha) d\alpha$$

Для получения растра значений *SVF* могут быть использованы как векторные алгоритмы, оперирующие непосредственно координатами углов зданий, так и растровые алгоритмы опирающиеся на растровую цифровую модель местности. Для вычисления *SVF* на основе растровой цифровой модели местности необходимо конвертировать здания в растр с заданным разрешением, задав каждому пикселю значение, равное высоте здания, приходящегося на данный пиксель. Далее можно, используя выражения алгебры карт, сложить полученный растр с растром цифровой модели рельефа. При использовании растровых методов необходимо подобрать разрешение, позволяющее отразить в рельефе поверхности городские каньоны.

Для создания такого растра был использован модуль Sky-viewfactor в

программном комплексе QGIS.

SkyViewFactor-модель может использоваться для генерации пиксельного фактора обзора неба с использованием цифровых моделей поверхности земли, растительности и зданий (ЦММ).

По определению, SVF – это отношение излучения, полученного (или испущенного) плоской поверхностью, к излучению, испущенному (или полученному) всей полусферической средой [133, 137].

SVF – это относительная величина между нулем и единицей, представляющая полностью закрытые и свободные пространства соответственно, где 1 – полностью свободная поверхность земли (например, горизонтальные поверхности или вершины, хребты) и 0 – полностью закрытая поверхность земли [136, 137]. При этом пикселям, соответствующим крышам зданий, в результирующем изображении присваивается значение NODATA (нет данных) в случае, когда статистика по SVF должна быть вычислена только для участков, располагающихся непосредственно на земной поверхности. В противном случае статистика SVF будет давать завышенные средние значения индекса, поскольку крыши зданий в большинстве случаев отличаются более высокими его значениями.

Фактор открытости небосвода, имеющий достаточно важное значение для моделирования перемещения воздушных потоков, во многом определяется не только застройкой территории, но и существующими элементами рельефа. По построенной модели (приложение 11) можно заметить, что наиболее закрытые поверхности расположены в нескольких зонах:

1. Северный и восточный склон Лысогорского массива, в районе Октябрьского и Смирновского ущелий, мкр. Елшанка, мкр. Поливановка, вдоль пр. 50 лет Октября.
2. Долина р. Гуселки, Глебучев овраг, Маханный овраг и другие овраги и балки Соколовогорского массива.
3. Юг Заводского района, долины небольших рек и оврагов, спускающихся к Волгоградскому водохранилищу.

Наименьшие значения SVF (наибольшая закрытость небосвода) наблюдаются на участках с плотной многоэтажной застройкой, расположенных в локальных понижениях рельефа, наибольшие (наименьшая закрытость небосвода) – на ровных незастроенных поверхностях, и на участках с разреженной малоэтажной застройкой.

4.4.4. Построение модели аэрационного потенциала городской территории

Для создания интегральной модели аэрационного потенциала городской застройки были использованы построенные ранее модели (типы и направления городских каньонов, коридоры вентиляции, индекс открытости небосвода) а также коэффициенты частоты направлений ветра, рассчитанные по среднемноголетним значениям на основе климатической базы данных.

Стоит отметить, что в отличие от модели естественного потенциала проветриваемости, создаваемой исходя из четырех основных направлений ветра, точнее, секторов по 60° , с учетом форм рельефа, экспозиций и крутизны склонов, в данном случае учитывались не отдельные направления, а сквозные коридоры – север-юг, восток-запад, северо-восток – юго-запад, северо-запад – юго-восток. Это обусловлено тем, что ветровой режим городского каньона зависит не от конкретного направления ветра, а от того, насколько это направление соответствует ориентации самого каньона: при продольном ветре каньон пропускает воздушные массы, при поперечном – становится препятствием для их переноса. Поэтому в модели аэрационного потенциала ветры противоположных направлений были объединены в один коридор.

В результате расчета были получены следующие коэффициенты повторяемости ветров (в долях единицы): для направления север-юг $k=0.286$, восток-запад – $k=0.316$, северо-восток - юго-запад – $k=0.129$ и северо-запад – юго-восток – $k=0.269$. Таким образом, исходя из коэффициентов, преобладающее направление ветров – это восток-запад (запад-восток), остальные направления распределены относительно равномерно. Полученные коэффициенты были

применены при расчете аэрационного потенциала коридоров вентиляции городской застройки.

При построении модели аэрационного потенциала помимо коэффициента повторяемости ветров учитывался рассчитанный ранее индекс SVF (открытости небосвода), используемый в виде поправочного коэффициента, отражающего улучшение условий проветриваемости территории в зависимости от степени открытости коридоров вентиляции. Фоновое значение было принято за 1, а для коридоров с максимальной открытостью небосвода применялся повышающий коэффициент – 1,1. Использование в модели поправочного коэффициента на SVF позволило учесть условия проветриваемости застройки, связанные не только с повторяемостью ветров, но и с расположением коридоров вентиляции в рельефе, а также этажностью, выраженной в высоте зданий над поверхностью земли.

В результате получена интегральная комплексная карта аэрационного потенциала застроенной территории г. Саратова, на которой отражены макроканьоны, в большей или меньшей степени способные проводить воздушные потоки при различных условиях (приложение 12).

Аэрационный потенциал городской застройки на интегральной карте выражен в качественных характеристиках:

- высокий: макроканьоны, хорошо продуваемые при ветрах преобладающих (западных и восточных) направлений;
- средний: макроканьоны, умеренно продуваемые при ветрах всех направлений;
- низкий: макроканьоны, препятствующие движению воздушных масс при ветрах преобладающих направлений (западных и восточных) и умеренно продуваемые при прочих направлениях ветра.

ВЫВОДЫ

1. «Острова тепла» – локальные участки городской территории, характеризующиеся повышенными, относительно фоновых значений, температурами воздуха, образуются в связи с увеличенными площадями теплоемких поверхностей, аккумулирующих солнечное тепло – асфальт, стены и

крыши домов – при отсутствии или недостатке зеленых насаждений. С островами тепла связано явление температурных инверсий, под воздействием которого формируются блокирующие воздушные слои, которые препятствуют рассеиванию загрязняющих веществ в атмосфере. Наиболее интенсивные острова тепла в Саратове связаны с магистральными улицами, новыми микрорайонами с многоэтажной застройкой и крупными промышленными зонами.

2. Городские каньоны представляют собой вытянутые в плане элементы городской застройки, характеризующиеся собственными микроклиматическими свойствами, в частности, режимом вентиляции. 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.

3. 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.

4. Аэрационный потенциал городской застройки определяется возможностью беспрепятственного горизонтального перемещения воздушных масс в приземном слое атмосферы. Модель аэрационного потенциала городской застройки, 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. 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

5.1. Алгоритм создания интегральных карт, отражающих атмоэкологическое состояние и степень устойчивости городской территории к загрязнению атмосферы

Полиструктурная атмоэкологическая модель городской среды включает две базовых составляющие: модель атмоэкологического состояния городской среды и модель степень устойчивости городской среды к загрязнению атмосферы. В основу создания атмоэкологической модели положены оценочные модели, относящиеся к трем блокам: природно-ландшафтного моделирования, моделирования геохимических ореолов загрязнения атмосферы и урбоклиматического моделирования (рис. 5.1.1).

Природно-ландшафтное моделирование включало анализ природных условий территории города: особенности рельефа и метеоусловия, а именно скорость, направления, повторяемость ветров, в результате которого были созданы карты ветрового режима территории города и, на их основе – карта естественного потенциала проветриваемости. Моделирование естественной проветриваемости территории (без учета городской застройки) позволило выявить участки, рельеф которых потенциально способствует свободному перемещению воздушных масс либо создает препятствия для их движения, то есть обладают большим или меньшим потенциалом проветриваемости.

Моделирование геохимических ореолов загрязнения было основано на данных многолетних наблюдений за загрязнением воздушного бассейна города, включающих непосредственные замеры физико-химических показателей воздуха, а также исследования депонирующих сред – снега, листьев деревьев, тканевых материалов. Анализ количественных и пространственных данных позволил составить карты пылевого и химического загрязнения воздушного бассейна города в разные годы – с 1992 по 2024, а сопоставление полученных карт – интегральную карту, отражающую пространственное распространение

устойчивых ореолов загрязнения атмосферы.

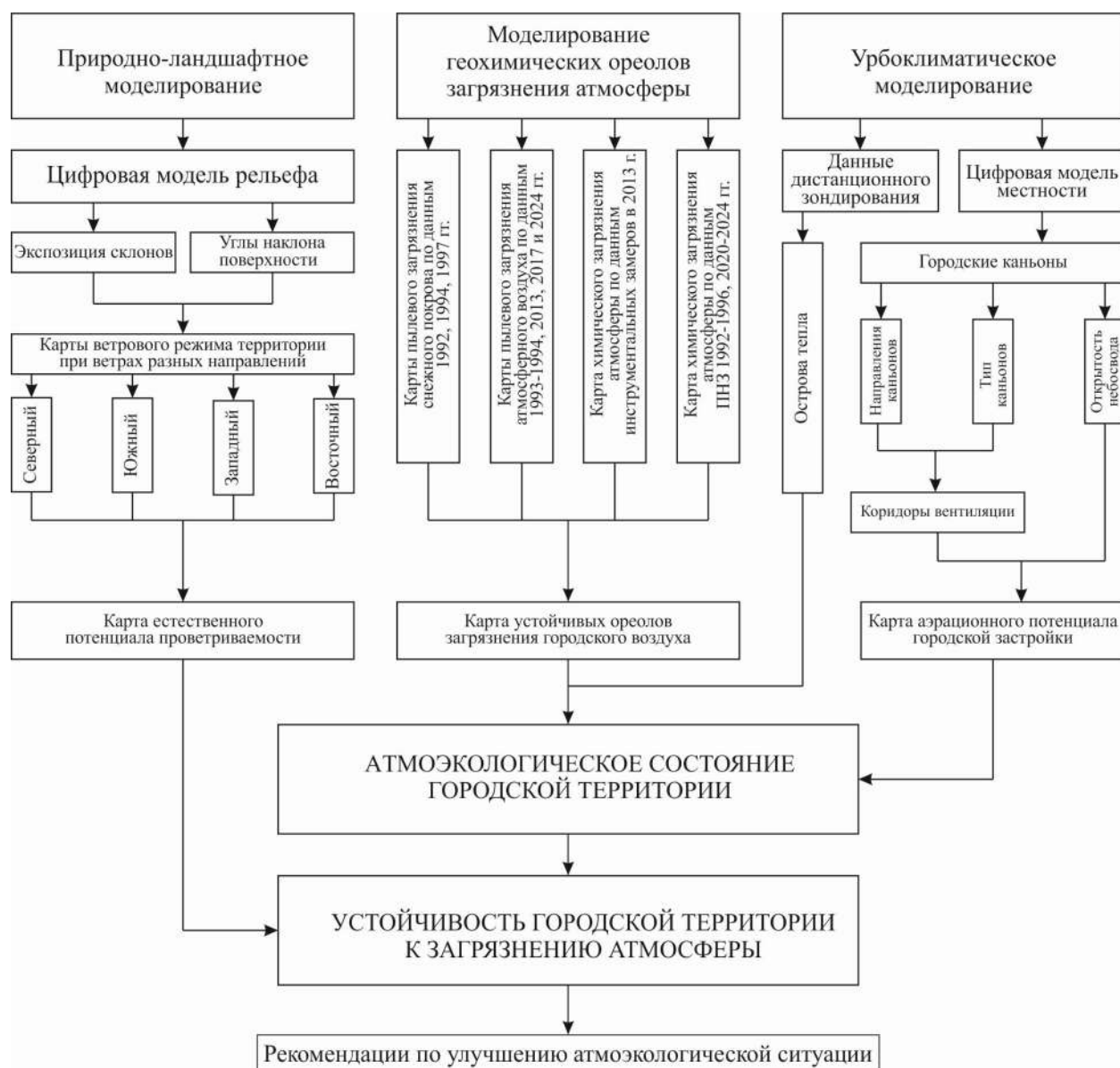


Рис. 5.1.1. Структура атмоэкологической модели городской среды

Урбоклиматическое моделирование включало построение карт «островов тепла» для холодного и теплого периодов года на базе данных дистанционного зондирования, а также моделирование городских каньонов и выявление их основных характеристик. Карты «островов тепла» были использованы для уточнения закономерностей распространения атмосферного загрязнения, а модели параметров городских каньонов (типов и направлений) – легли в основу карты коридоров вентиляции городской территории, на базе которой, в свою очередь, с учетом индекса открытости небосвода и коэффициентов повторяемости ветров была создана карта аэрационного потенциала городской застройки.

Совмещение моделей устойчивых ореолов загрязнения атмосферы и аэрационного потенциала городской застройки с учетом карт «островов тепла» позволило создать интегральную модель атмоэкологического состояния городской среды, отражающую качественные и пространственные характеристики загрязнения атмосферы в различных условиях вентиляции городской застройки, а сопоставление полученной модели с построенной ранее картой естественного потенциала проветриваемости – интегральную модель устойчивости городской территории к загрязнению атмосферы.

5.2. Анализ атмоэкологического состояния городской территории

Совместив данные загрязнения атмосферы и аэрационного потенциала городской застройки, была создана карта атмоэкологического состояния (приложение 13). Данная модель демонстрирует, каким образом коридоры проветривания территории участвуют в рассеивании или аккумуляции загрязняющих веществ. Аэрационный потенциал зависит от множества факторов, но при равных условиях решающее воздействие на этот показатель оказывает преобладающее направление ветра. В условиях г. Саратова такое направление – «запад-восток». Поэтому в основном именно коридоры этого типа характеризуются высоким аэрационным потенциалом.

Напротив, ветра направления «юго-запад – северо-восток», имеют невысокую повторяемость в исследуемых условиях. Поэтому, аэрационный потенциал таких коридоров при равенстве других факторов принимается низким.

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. Эти территории характеризуются сочетанием факторов, определяющих очень высокий уровень загрязнения атмосферы:

- крупные автомобильные магистрали, с высоким среднесуточным количеством транспорта: ул. Соколова, ул. Большая Горная, ул. Астраханская, ул. Рахова, ул. Шехурдина, пр. Строителей, ул. 50 лет октября, ул. Московское шоссе.

- малое количество древесно-кустарниковой растительности, выступающей в качестве барьера для загрязнения от транспорта (исключением являются озелененные аллеи вдоль ул. Астраханская, ул. Рахова и ул. 50 лет октября);
- расположение территории в понижениях относительно соседних участков;
- низкий аэрационный потенциал застройки.

Все эти факторы в той или иной степени имеют место в данных зонах. Отдельно стоит отметить низкий аэрационный потенциал застройки, который связан, в основном, с формированием коридоров «юго-запад – северо-восток» и «север-юг», что значительно усугубляет ситуацию с загрязнением атмосферы и уменьшает потенциал рассеивания загрязнителей.

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.

Отдельно 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.

Следует также сказать о некоторых характерных особенностях рельефа зон с благоприятным и неблагоприятным характером атмосферных процессов. Этот фактор в работе учтен в качестве естественного потенциала проветриваемости. Наиболее благоприятные участки – водоразделы и приводораздельные пространства, верхние части склонов: Лысогорское плато, Соколовогорский массив, повышения рельефа к северу города. Неблагоприятные участки –

несколько субкотловин города: Северная – исторический центр, Центральная – север Заводского района, Южная – юг Заводского района; а также нижние части склонов Лысогорского плато и Соколовогорского массива.

Важно исследовать аэрационный потенциал территории в контексте создания новых микрорайонов: дальнейшей застройки опытных полей НИИСХ «Юго-Восток», участка старого аэропорта. Подход к научно-обоснованному развитию последней территории особенно важен, т.к. она относится к сравнительно благоприятной 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.

5.3. Районирование территории города по степени подверженности загрязнению воздушной среды

На основе исследований загрязнения воздуха, естественного потенциала проветриваемости и аэрационного потенциала городской застройки была создана карта устойчивости городской среды к загрязнению атмосферы (приложение 14).

Модель позволяет для каждого участка городской территории в соответствии с матрицей, отражающей возможные сочетания этих трех факторов (рис. 5.3.1) определить принадлежность к одной из 4-х категорий, классифицированных по показателю устойчивости к загрязнению воздуха. Были выделены 4 категории: высокоустойчивые, устойчивые, неустойчивые и крайне неустойчивые территории.

Рассмотрим каждую из категорий отдельно.

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

Такие территории представлены в пределах г. Саратова в возвышенной части Лысогорского плато, на севере, в микрорайоне Солнечный, и на западе, в возвышениях Соколовогорского массива.

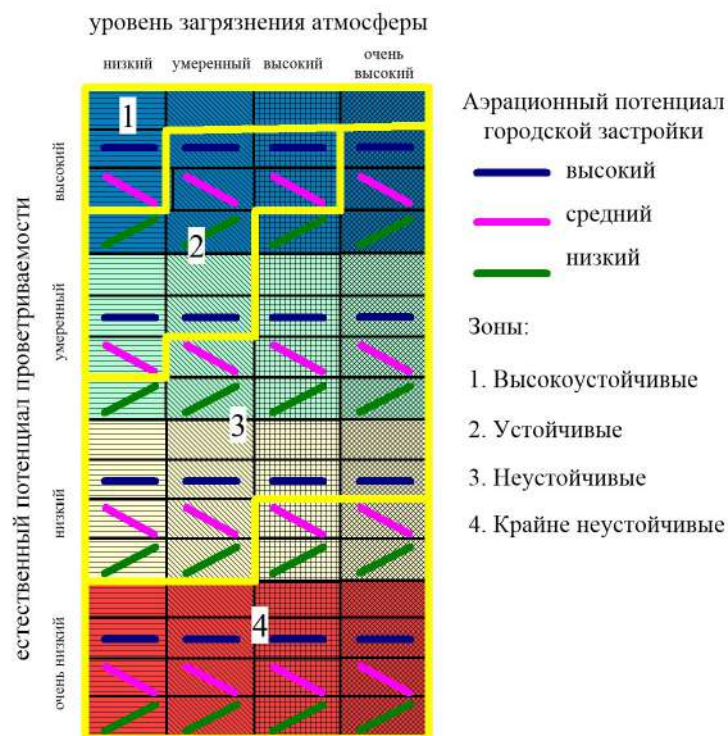


Рис. 5.3.1. Схема выделения зон устойчивости к загрязнению атмосферы

В качестве наиболее характерного участка на карте была отмечена территория №1 – район ЖК «Изумрудный» в микрорайоне «Юбилейный». Здесь сочетается высокая естественная проветриваемость с высоким аэрационным потенциалом (рис. 5.3.2)



Рис. 5.3.2. Территория, относящаяся к зоне 1 – высокоустойчивой к загрязнению атмосферы. Микрорайон "Юбилейный", район ЖК "Изумрудный"

Устойчивые территории характеризуются высоким, средним и реже низким аэрационным потенциалом застройки при высоком, среднем естественном потенциале проветриваемости и низком, умеренном и реже высоком уровне

загрязнения атмосферы.

Чаще всего это территории склонов возвышенных частей города, а также зоны, прилегающие к высокоустойчивым участкам.

В качестве примера была выделена территория в западной части п. Солнечный, характеризующаяся высоким и умеренным загрязнением на фоне высокого и умеренного естественного потенциала проветриваемости (рис. 5.3.3.)

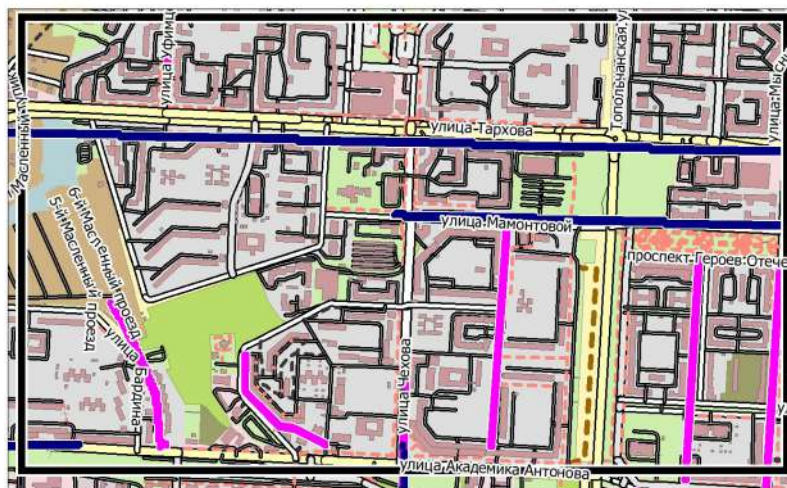


Рис. 5.3.3. Территория, относящаяся к зоне 2 – устойчивой к загрязнению атмосферы. Микрорайон "Солнечный".

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, Саратовстройстекло 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 была выбрана зона 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. 5.3.4.).

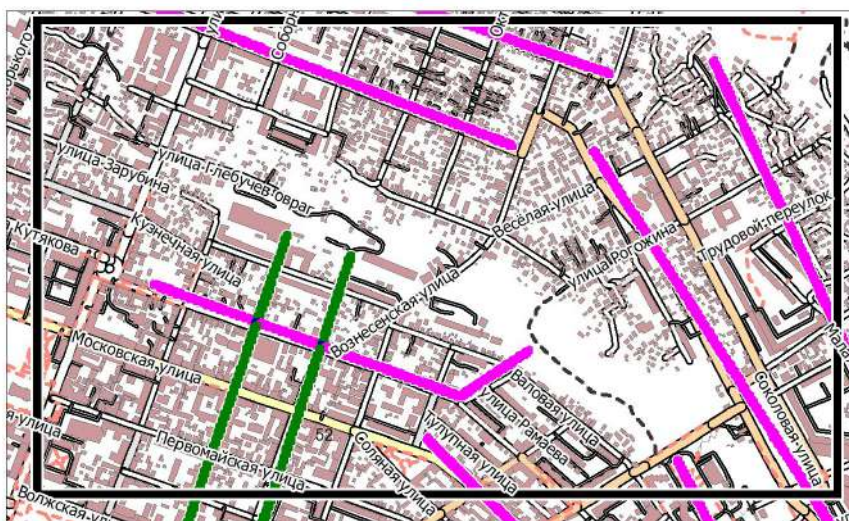


Рис. 5.3.4. Территория, относящаяся к зоне 3 – неустойчивой к загрязнению атмосферы. Волжский район. Историческая часть города

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.

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.

В основном крайне неустойчивые зоны 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. 5.3.5).

Неблагоприятная атмозкологическая 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.

Подводя итог, следует отметить, что зонирование территории города на основе представленных трех факторов имеет весьма важное значение для планирования строительства, как точечного в уже сформированных кварталах, так и новых микрорайонов.

На аэрационный режим улиц и внутриквартальных территорий дополнительное влияние оказывают мелкие неровности подстилающей поверхности, проезды и тротуары, площадки, газоны – «микрошероховатости». Причем трансформация воздушного потока по скорости и направлению происходит здесь в приземном слое атмосферы, высота которого принимается равной трем высотам препятствий [11].

Таким образом, аэрационный режим отдельных участков города можно регулировать различными планировочными методами, влияющими на аэрационные свойства макро- и микрошероховатостей поверхности: выбором плотности, этажности, конфигурации застройки, приемами озеленения и благоустройства планировочных зон.

В целях обеспечения наиболее благоприятного аэрационного режима территории (с сохранением скорости ветра и, в то же время, недопущением его чрезмерного усиления вследствие эффекта аэрационной трубы в каньоне) необходимо ограничивать многосекционную застройку, отдавая предпочтение строениям башенного типа, соблюдать достаточные разрывы между домами. При этом особое внимание необходимо уделить препятствованию образования устойчивых вихрей и застоя загрязненного воздуха у фасадов домов при поперечных, особенно, преобладающих ветрах. Для этого используются следующие приемы: ориентировка основной линии застройки по направлению преобладающих ветров, соблюдение достаточной ширины улиц, смещение оси зданий относительно оси улицы, чередование этажности, использование различных конфигураций строений в плане [6].

Среди элементов благоустройства наиболее заметное влияние на рассеяние атмосферных загрязнений в зонах пешеходного движения на высоте 1,5 м – уровне дыхания человека и вблизи фасадов жилых зданий могут оказать высокие насыпи, подпорные стенки и откосы, деревья и кустарники.

Среди планировочных методов, направленных на улучшение экологической ситуации важнейшую роль играет озеленение зон застройки и объектов транспортной инфраструктуры. При этом при формировании зеленых

насаждений во внутриквартальном пространстве и вдоль транспортных магистралей необходимо учитывать природные свойства и геометрические характеристики деревьев и кустарников, составляющих архитектурно-ландшафтные композиции, с целью максимального использования их средозащитного потенциала.

Установлено, что «на улицах с многосекционной фронтальной застройкой наиболее эффективными по отношению к внешним фасадам зданий и зонам пешеходного движения оказываются полосы равномерно ажурной и продуваемой конструкции при высоте насаждений на уровне средних этажей» [11].

Посадки древесных растений первой величины, достигающих высоты фронтальной застройки, способствуют снижению концентрации загрязняющих веществ в уличном пространстве в силу того, что увеличивают длину пути воздушного потока от источника загрязнения до фасадов домов, однако при значительной густоте деревьев с широкими и плотными кронами они могут стать препятствием для движения воздуха, что приводит к его застою и накоплению вредных примесей. Поэтому «загущенные посадки высокорастущих деревьев следует использовать в сочетании с малоэтажной фронтальной застройкой нежилого назначения для защиты от негативного воздействия транспорта жилых массивов, застроенных зданиями повышенной этажности» [12]. Оптимальные условия для рассеивания примесей в пределах пешеходных зон и вблизи фасадов можно создать путем высаживания деревьев разной высоты при сохранении между ними значительных промежутков.

Наиболее эффективной мерой защиты зон пешеходного движения и жилой застройки от выбросов автомобильного транспорта является формирование полос озеленения вдоль транспортных магистралей. Приемы озеленения прилегающих к проезжей части территорий, с одной стороны, должны препятствовать свободному переносу вредных примесей от источника загрязнения к жилой застройке, с другой – не допускать возможность замкнутой циркуляции отработавших газов в уличном пространстве. Для этого рекомендуется формировать ступенчатую структуру защитных полос, состоящую из нескольких

ярусов древесно-кустарниковых насаждений с использованием в первом ярусе высокоштамбовых деревьев, во втором – низких деревьев с ажурной кроной, в третьем – плотных кустарников. Ступенчатая структура обеспечивается за счет постепенного увеличения высоты растений по мере удаления от проезжей части. При этом кустарник, расположенный в ближайшем к оси улицы ряду, образует своего рода живую изгородь, создающую препятствие для переноса выбросов автотранспорта в пешеходную зону, а деревья, расположенные в последующих рядах, – препятствуют образованию устойчивых вихрей и задерживают пыль.

Помимо очевидного эффекта защиты от загрязнения воздуха высадка зеленых насаждений способствует повышению общей комфортности среды в жилых зонах: положительным воздействием на ветровой и температурный режим, снижением шум от транспорта, повышением эстетической привлекательности городского пространства.

Выбор комплекса мер по улучшению экологической ситуации зависит от устойчивости различных участков территории к загрязнению, определяемой уровнями естественного потенциала проветриваемости и аэрационного потенциала городской застройки.

Интересно сравнение результатов моделирования проветриваемости городской территории и аэрационного потенциала застройки с ситуацией в недавно созданных микрорайонах г. Саратова. Возможно, наиболее показателен пример мкр. Солнечный и мкр. Солнечный-2. Эта территория находится на сравнительном возвышении относительно сопредельных участков. Согласно ландшафтной карте г. Саратова участок относится к выпуклым и слабовыпуклым водораздельным пространствам или верхней части склоновых поверхностей. Не удивительно, что естественный аэрационный потенциал этой территории по результатам моделирования – высокий.

Застройка в этом участке города велась с конца 1970-х. Территория планировалась как спальный квартал. С востока Солнечный был ограничен опытными полями НИИСХ «Юго-Восток». В 2000-е началась застройка этих территорий, расширение мкр. Солнечный за счет появления восточнее ул.

Топольчанской и севернее ул. Антонова новых жилых многоэтажных массивов. При этом застройка велась по плану, которое был разработан значительно раньше 2000-х и учитывал в т.ч. и проветриваемость территории.

В рамках нашего моделирования участки и мкр. Солнечный, и мкр. Солнечный-2 относятся к зонам с высоким аэрационным потенциалом городской застройки. Основные коридоры проветривания сформированы по крупным улицам микрорайонов, имеющих направление «восток-запад», которое характеризуется лучшей проветриваемостью в условиях г.Саратова. Это ул. Тархова, ул. Антонова, ул. Мамонтовой, ул. Батавина, ул. Семенова, ул. Лисина. Кроме того, средний аэрационный потенциал имеют улицы, расположенные в направлении «север-юг»: Топольчанская, Панченко, Чехова.

Таким образом, можно сделать вывод, что застройка мкр. Солнечный-2 способствует сохранению естественного высокого аэрационного потенциала данного участка.

*Для участков с высоким естественным потенциалом проветриваемости в сочетании с высоким и средним аэрационным потенциалом застройки, отнесенных к высокоустойчивым и устойчивым зонам, **рекомендованы меры** по поддержанию высокой устойчивости к загрязнению атмосферы:*

- сохранение имеющихся зеленых зон и создание новых;
- расположение линии застройки параллельно преобладающим направлениям ветров с сохранением ширины улиц, превышающей высоту зданий в 4-8 раз и соблюдением необходимых разрывов между зданиями;
- использование элементов благоустройства и малых архитектурных форм для оптимизации ветрового режима и сохранения комфортности среды во внутриквартальной застройке;
- использование приемов озеленения, исключающих застой воздуха в уличном пространстве;
- использование элементов рельефа для создания архитектурно-ландшафтных композиций, не препятствующих свободному движению воздушных потоков.

В качестве примера проблемной территории можно рассмотреть зону, ограниченную ул. Университетская с запада, ул. Чапаева с востока, ул. 1-я Садовая с севера и ул. Кутякова с юга.

Данный участок имеет очень низкий естественный потенциал проветриваемости. Согласно ландшафтной карте г. Саратова она относится к плоским поверхностям пролювиальных шлейфов и аккумулятивных террас и находится в понижении относительно более высоких территорий вокруг.

Кроме того, участок располагается в центре города, на месте пересечения основных планировочных осей урбанизированной территории: северо-запад – юго-восток, север – юг, вдоль берега Волгоградского водохранилища, а следовательно и крупнейших улиц города – ул. Большая Горная, ул. Соколова, ул. Танкистов, ул. Астраханской, ул. Рахова, ул. Чапаева. Это приводит к высокому уровню загрязнения воздуха в данной зоне.

Многоэтажная застройка здесь ориентирована не по преобладающему направлению ветра запад-восток, а по гораздо менее повторяемому юго-запад – северо-восток, что создает препятствие для движения воздушных потоков в неблагоприятных условиях естественного проветривания. Совокупность этих факторов на фоне сформированных высокими зданиями мощных городских каньонов сильно усугубляет и так не простую ситуацию с загрязнением воздуха и проветриваемостью.

Таким образом, можно отметить данную территорию, как неблагополучную с точки зрения как естественного потенциала проветриваемости, так и аэрационного потенциала городской застройки. Подтверждением низкой атмоэкологической устойчивости данной территории могут являться данные о загрязнении атмосферы, наиболее высоком именно в этом районе.

На территориях, *неустойчивых* к загрязнению атмосферы, **рекомендуется:**

- сохранение ветростимулирующих элементов рельефа (открытых пространств, акваторий);
- расположение осевой линии застройки вдоль преобладающего направления ветров (запад-восток);

- отказ от многосекционной застройки в пользу зданий башенного типа;
- при реконструкции старых микрорайонов расширение отступа застройки от проезжей части;
- предпочтение точечной мало- и среднеэтажной застройке с сохранением значительных разрывов между зданиями;
- недопущение вырубки здоровых деревьев и высадка новых с формированием ступенчатых полос озеленения вдоль транспортных магистралей.

Для *крайне неустойчивых* к загрязнению атмосферы участков городской территории **рекомендуется** максимально расширять площади древесно-кустарниковых насаждений, а при реконструкции микрорайонов и сносе ветхих зданий – отказ от застройки освободившихся площадей в пользу озеленения и увеличения разрывов между домами. Наилучшим решением было бы ограничение движения транспорта и создание пешеходных зон в наиболее проблемных зонах.

Принятие мер по улучшению атмоэкологической ситуации, разработанных с учетом степени устойчивости различных участков города к загрязнению атмосферы будет способствовать оздоровлению городской среды и созданию более благоприятных условий для жизни горожан.

ВЫВОДЫ

1. Атмоэкологическое состояние города характеризуется двумя основными показателями: аэрационным потенциалом застройки и локализацией устойчивых ореолов 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. 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.

2. 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). Зонирование территории города на высокоустойчивые, устойчивые, неустойчивые и крайне неустойчивые к загрязнению атмосферы участки позволяет определить меры по улучшению атмоэкологической ситуации.

3. Комплекс мер по улучшению атмоэкологической 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 предпочтительное 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 зданий, 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 атмоэкологической 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 экологической ситуации в городе при строительстве новых микрорайонов и реконструкции старых необходимо принимать меры, разработанные с учетом устойчивости этих территорий к загрязнению атмосферы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акимов, Л. М. Использование сетчатых материалов в экспресс-анализе экологической ситуации г. Воронежа в холодный период / Л. М. Акимов, В. В. Прожорина, В. В. Сиваченко // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2010. – № 2. – С. 127-131.
2. Альферович, В. В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. Учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» дневной и заочной форм обучения. [В 2 ч.]. Ч. 1. Анализ состава отработавших газов / В. В. Альферович. – Минск : БНТУ, 2016. – 54 с.
3. Андреев, П.И. Рассеяние в воздухе газов, выбрасываемых промышленными предприятиями. – Москва : Госиздат, 1952. – 88 с.
4. Балакин, В. В. Влияние ветрового режима на очищение воздуха магистральных улиц от выбросов автотранспорта / В. В. Балакин // Гигиена и санитария. – 1980. – № 6. – С. 5–7.
5. Балакин, В.В. Обеспечение нормативов содержания выбросов автомобилей в воздухе городских улиц / В. В. Балакин // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2014. – №4. – С. 356–360.
6. Балакин, В. В. Регулирование аэрационного режима уличных каньонов приемами планировки и застройки / В. В. Балакин // Вестник МГСУ. – 2014. – №5. – С. 108-118.
7. Балакин, В. В. Влияние периметральной плотности застройки городских улиц на аэрационный режим и качество атмосферного воздуха / В. В. Балакин // МНИЖ. – 2015. – №4-1 (35). С. 38-40.
8. Балакин, В. В. Формирование аэрационного режима городских улиц приемами планировки жилой застройки / В. В. Балакин // Жилищное строительство. – 2015. – №10. – С. 43-46.
9. Балакин, В. В. Комплексная оценка средозащитного воздействия

линейно-полосных структур зеленых насаждений на городских дорогах и улицах / В. В. Балакин, В. Ф. Сидоренко, И. В. Сидоренко // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство и архитектура. – 2016. – Вып. 44-2 (63). – С. 19–32.

10. Балакин, В. В. Снижение негативного воздействия транспорта на жилую среду градостроительными средствами / В. В. Балакин, В. Ф. Сидоренко, Г. О. Сурков, Е. А. Решетников, А. А. Аброськин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 3–2 (57). – С. 136–140.

11. Балакин, В. В. Формирование средозащитных объектов озеленения в градозологических системах / В. В. Балакин, В. Ф. Сидоренко, М. Ю. Слесарев, А. В. Антюфеев // Вестник МГСУ. – 2019. – №8. С. 1004-1022.

12. Балакин, В.В., Обеспечение качества атмосферного воздуха на магистральных улицах и в жилой застройке средствами планировки и озеленения / В. В. Балакин, С. В. Алексиков, В. Н. Азаров // Гигиена и санитария. – 2023. – №102(7). – С. 639-647. URL: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-639-647>. – EDN: [xvdito](https://xvdito.ru) (дата обращения 12.09.2024).

13. Бельская, Е. Н. Непараметрические алгоритмы восстановления случайных полей / Е. Н. Бельская, А. В. Медведев, Е. Д. Михов, Тасейко О. В. // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2018. – №4. – С. 574-580. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neparametricheskie-algoritmy-vozstanovleniya-sluchaynyh-poley> (дата обращения: 10.06.2024).

14. Блянкинштейн, О.Н. Эволюция и социокультурная значимость «зеленых» общественных пространств Красноярска / О. Н Блянкинштейн, Н.А. Попкова // Вестн. Томского. гос. ун-та. Культурология и искусствоведение. – 2021. – №42. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-i-sotsiokulturnaya-znachimost-zelenyh-obshchestvennyh-prostranstv-krasnoyarska> (дата обращения: 02.12.2024).

15. Важенин, А. А. Устойчивость распределения городских поселений в системах расселения / А. А.Важенин // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 1999. – № 1. С. 55–59.

16. Вебра, Э. Ю. О закономерностях загрязнения и очищения улиц города

от выхлопных газов автотранспорта / Э. Ю. Вебра, Б. И. Гедрайтис, А. А. Милукайте, К. К. Шопausкас // Защита атмосферы от загрязнений. – Вып. 4 : Проблемы загрязнения воздушного бассейна городов. – Вильнюс, 1978. – С. 12–17.

17. Веников, В.А. Теория подобия и моделирование / В. А. Веников, Г. В. Веников. – Москва : Высш. шк., 1984. – 243 с.

18. Гагина, И. С. Планирование транспортной инфраструктуры для пространственного развития Саратовской агломерации. Planning Transport Infrastructure For Spatial Development Of The Saratov Agglomeration / И. С. Гагина, // Московский экономический журнал. – 2024. – Т. 9. – №. 1. – С. 28-34. – URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/?print=print-search> (дата обращения: 06.08.2024).

19. Галстян, Г. А. Анализ атмoэкологической ситуации в Саратове и оценка её возможного развития / Г. А. Галстян, В. З. Макаров // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2018. – Т.18. – Вып. 2. – С. 74-79.

20. Гиясов, А. Тепло-ветровой режим городского каньона, взаимосвязь его с воздушной средой помещений / А. Гиясов // ИВД. – 2018. –№1 (48). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teplo-vetrovoy-rezhim-gorodskogo-kanona-vzaimosvyaz-ego-s-vozdushnoy-sredoy-pomescheniy> (дата обращения: 04.12.2024).

21. Главный государственный санитарный врач российской федерации. Постановление от 17 июня 2014 года № 37 «О внесении изменения № 11 в ГН 2.1.6.1338-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест"». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420203512#6540IN>

22. Глазунов, А. В. Численное моделирование турбулентности и переноса мелкодисперсной примеси в городских каньонах / А. В. Глазунов // Вычислительные методы и программирование. – 2018. – Т. 19. – № 1. С. 17-37.

23. Горностаева, А. А. Временная изменчивость городского острова тепла Екатеринбурга / А. А. Горностаева, Д. Ю. Демежко, Б. Д. Хацкевич // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2023. – Т. 43. – С. 3-18. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vremennaya-izmenchivost>

gorodskogo-ostrova-tepla-ekaterinburga (дата обращения: 02.12.2024).

24. Горобцов, С. Р. Трехмерное моделирование и визуализация городских территорий с использованием современных геодезических и программных средств / С. Р. Горобцов, А. В. Чернов // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2018. – Т. 23. – №. 4. – С. 165-179. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trehmernoe-modelirovanie-i-vizualizatsiya-gorodskih-territoriy-s-ispolzovaniem-sovremennyh-geodezicheskikh-i-programmnyh-sredstv> (дата обращения: 06.08.2024).

25. ГОСТ Р 56162-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 10 с.

26. Гурский, Д. В. Модель концентрических зон города Эрнеста Берджесса / Д. В. Гурский, И. С. Перевалов, О. В. Гурская // Социологические чтения – 2022 : сб. науч. ст. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2022. – С. 62-66.

27. Гусев, В. А. Пылезадерживающая способность зеленых насаждений в условиях загрязнения воздушного бассейна г. Саратова / В. А. Гусев, Н. В. Пичугина // Актуальные проблемы землеустройства и кадастров на современном этапе : сб. статей Международной науч.-практ. конф., г. Пенза, 12–13 дек. 2013 г. – Пенза : ПГУАС, 2013. – С. 23–27.

28. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2004 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2005. – 158 с.

29. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2005 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2006. – 266 с.

30. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2006 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов :

[б.и.], 2007. – 487 с.

31. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2007 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2008. – 285 с.

32. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2008 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2009. – 296 с.

33. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2009 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2010. – 275 с.

34. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2010 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2011. – 267 с.

35. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2011 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2012. – 242 с.

36. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2012 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2013. – 220 с.

37. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2013 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2014. – 242 с.

38. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской

области в 2014 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2015. – 244 с.

39. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2015 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2016. – 247 с.

40. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2016 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2017. – 250 с.

41. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2017 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2018. – 201 с. – URL: https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=2461 (дата обращения: 06.08.2024).

42. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2018 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2019. – 215 с. – URL: https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=2804 (дата обращения: 06.08.2024).

43. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2019 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2020. – 211 с. – URL: https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=3130 (дата обращения: 06.08.2024).

44. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской

области в 2020 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2021. – 220 с. – URL: https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=3579 (дата обращения: 06.08.2024).

45. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2021 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2022. – 256 с. – URL: https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=4130 (дата обращения: 06.08.2024).

46. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2022 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2023. – 224 с. – URL: https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=4622 (дата обращения: 06.08.2024).

47. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2023 году / Правительство Саратовской области; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. – Саратов : [б.и.], 2024. – 254 с. – URL: https://www.minforest.saratov.gov.ru/info/?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=5188 (дата обращения: 06.08.2024).

48. Дудин, М. П. Математическое моделирование климата с использованием современных климатических моделей на основе статистической обработки данных / Дудин М. П., Богомолова О.И. // Теория и практика современной науки. – 2017. – №2 (20). – С. 723-726. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-klimata-s-ispolzovaniem-sovremennyh-klimaticheskikh-modeley-na-osnove-statisticheskoy-obrabotki-dannyh> (дата обращения: 07.08.2024).

49. Дуничкин, И. В.. Оценка биоклиматической комфортности городской застройки : учебное пособие / И. В. Дуничкин, О. И. Поддаева, П. С. Чурин. – Москва : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2016. – URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> (дата обращения: 17.08.2024)
50. Егошин, А. В. Прогнозирование влияния климатических изменений на пространственное распределение чужеродного компонента флоры юга черноморского побережья краснодарского края / А. В. Егошин // Экосистемы. – 2021. – №26. – С. 23-32. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-vliyaniya-klimaticheskikh-izmeneniy-na-prostranstvennoe-raspredelenie-chuzherodnogo-komponenta-flory-yuga> (дата обращения: 07.08.2024).
51. Зинченко, М. С. Преимущества зеленой кровли в городском пространстве / М. С. Зинченко // Форум молодых ученых. – 2022. – №6 (70). – С. 138-142. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-zelenoy-krovli-v-gorodskom-prostranstve> (дата обращения: 02.12.2024).
52. Ибрагимов, И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем : учебное пособие / И. М. Ибрагимов, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 384 с.
53. Изменение в ГН 2.1.6.1338 – 0.3. Утверждено постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 12.01.2015 г. № 3. – URL: <https://base.garant.ru/70865782/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 02.11.2024).
54. Каменецкий, Е. С. Концентрация загрязняющих веществ в уличном каньоне с разной высотой домов по сторонам улицы / Е. С. Каменецкий // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2008. – №6. – С. 32-35. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontsentratsiya-zagryaznyayuschih-veschestv-v-ulichnom-kanone-s-raznoy-vysotoy-domov-po-storonam-ulitsy> (дата обращения: 02.12.2024).
55. Карманов, А. Г. Геоинформационные системы территориального управления : учебное пособие / А. Г. Карманов, А. И. Кнышев, В. В. Елисеева. –

Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – 21 с. – URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1902.pdf> (дата обращения: 06.08.2024).

56. Кирюшин, В. И. Математическое моделирование адаптивно-ландшафтных система земледелия (на примере Зауралья) / В. И. Кирюшин, И. Л. Фрумин // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2004. – №. 2. – С. 27-36. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-adaptivno-landshaftnyh-sistema-zemledeliya-na-primere-zauralya> (дата обращения: 06.08.2024).

57. Климат Москвы в условиях глобального потепления : монография / под ред. А. В. Кислова. – Москва : Изд-во Московского ун-та, 2017. – 288 с.

58. Колбовский, Е. Ю. Геоинформационное моделирование и картографирование ландшафтных местоположений / Е. Ю. Колбовский // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – №. 5. – С. 20-24. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27224102> (дата обращения: 06.08.2024).

59. Корниенко, С. В. Теплотехническое качество города / С. В. Корниенко // Энергосбережение. – 2022. – № 7. – С. 44–49.

60. Короткова, Н. В. Влияние метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха в Саратове / Н. В. Короткова, Н. В. Семенова // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2019. – №3. – С. 168-173.

61. Кочуров, Б. И. Введение в географию : учебное пособие / Кочуров Б. И. ; под ред., Н. Ф. Винокурова, О. В. Глебова, А. Г. Пухова, С. А. Соткина, А. А. Юртаева. – Москва : КноРус, 2023. – 185 с.

62. Кравченко, Г. М. Концепция фрактального формообразования в городской среде / Г. М. Кравченко, Л. И. Пуданова // Молодой исследователь Дона. – 2019. – №6 (21). – С. 36-40. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-fraktalnogo-formoobrazovaniya-v-gorodskoy-srede> (дата обращения: 02.12.2024).

63. Кравченко, М. И. Ветровой режим и инсоляция городских территорий / М. И. Кравченко // Теория и практика современной науки. – 2021. – №2 (68). – С.

110-120. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vetrovoy-rezhim-i-insolyatsiya-gorodskih-territoriy> (дата обращения: 04.12.2024).

64. Крашенинников, А. В. Сценарное проектирование городской среды / А. В. Крашенинников // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2017. – №4 (41). – С. 242-256. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stsenarnoe-proektirovanie-gorodskoy-sredy> (дата обращения: 07.08.2024).

65. Куролап, С. А. Интегральная экологическая оценка состояния городской среды / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, П.М. Виноградов [и др.]. – Воронеж: Научная книга, 2015. – 232 с.

66. Лапина, С. Н. Способность атмосферы различных районов Саратовской области к самоочищению / С. Н. Лапина, Е. А. Полянская, Л. М. Фетисова, Н. А. Фетисова // *Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Науки о Земле*. – 2008. – №2. – С. 8-11.

67. Лапина, С.Н. Метеорологические аспекты загрязнения воздуха в Саратове / Лапина С.Н., Полянская Е.А., Пужлякова Г.А. [и др.] ; под ред. Е.А.Полянской. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1998. – 64 с.

68. Лебедев, А. А. Пространственный анализ и обновление малых городов / А. А. Лебедев // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2020. – №. 3 (52). – С. 242-251. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prostranstvennyy-analiz-i-obnovlenie-malyh-gorodov> (дата обращения: 06.08.2024).

69. Ленц, А. А. Формирование градостроительной концепции «исчисляемый город» / А. А. Ленц // *Architecture and Modern Information Technologies*. – С. 278-289. – URL: http://marhi.ru/AMIT/2019/1kvart19/20_lenc/index.php (дата обращения: 02.12.2024).

70. Лимонов, Л. Э. Региональная экономика и пространственное развитие. В 2 т. Т. 1. Региональная экономика. Теория, модели и методы: учебник для бакалавриата и магистратуры / Л. Э. Лимонов ; под общ. ред. Л. Э. Лимонова. – Москва : Юрайт, 2014. – 397 с.

71. Лицкевич, В. К. Учет природно-климатических условий местности в архитектурном проектировании : учебно-методические указания к курсовой

расчетно-графической работе / В. К. Лицкевич, Л. И. Конова. – Москва : МАРХИ, 2011. – 44 с.

72. Макаров, В. З. Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города / В. З. Макаров. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2001. – 174 с.

73. Макаров, В.З. Комплексные экологические исследования и мониторинг загрязнения почв и снежного покрова г. Саратова (по программе ЭМОС) : Отчет по теме НИР / В. З. Макаров, В. А. Баранов, С. А. Волков. – Саратов [б.и.], 1993. – 187 с.

74. Макаров, В. З. Проведение снегомерной съёмки и опробование снежного покрова территории г. Саратова : Отчёт по теме НИР / В. З. Макаров, И. В. Пролёткин, А. Н. Чумаченко. – Саратов [б.и.], 1994. – 123 с.

75. Макаров, В. З. Эколого-географическое картографирование городов / В. З. Макаров, Б. А. Новаковский, А. Н. Чумаченко. – Москва : Научный мир, 2002. – 196 с.

76. Макаров, В. З. Оценка запыленности воздушного бассейна города Саратова по данным прямых и косвенных методов наблюдений / В. З. Макаров, О. В. Суровцева, А. Н. Чумаченко // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – 2014. – №1. – С. 16-25.

77. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Приказ № 106 от 07.02.2022 г. «Об утверждении методики определения высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202203010004?index=1>. (дата обращения: 11.12.2024).

78. Наумов, И. В. Исследование пространственной гетерогенности и межрегиональных взаимосвязей в процессах привлечения банковского капитала в российскую экономику / И. В. Наумов, С. С. Красных // Финансы: теория и практика. – 2022. – №6. – С. 233-251. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-prostranstvennoy-geterogennosti-i-mezhregionalnyh-vzaimosvyazey-v-protssah-privlecheniya-bankovskogo-kapitala-v>

(дата обращения: 02.12.2024).

79. Никитин, В. С. Проветривание промышленных площадок и прилегающих к ним территорий / В. С. Никитин, Н. Г. Максимкина, В. Т. Самсонов, Л. В. Плотникова. – Москва : Стройиздат, 1980. – 200 с.

80. Нутерман, Р. Б. Моделирование распространения загрязнения воздуха в уличном каньоне / Р. Б. Нутерман, А. В. Старченко // Оптика атмосферы и океана. – 2005. – № 8. – С. 649–657.

81. Нутерман, Р. Б. Моделирование турбулентных течений и переноса примеси в элементах городской застройки : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук : 01.02.05 / Нутерман Роман Борисович ; Томский гос. ун-т. – Томск, 2008. – 21 с.

82. Орлов, А. Н. Особенности формирования общественных связанных зеленных пространств в городской среде. Зеленый каркас города / А. Н. Орлов, И. В. Тонкой // E-Scio. – 2021. – №12 (63). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-obschestvennyh-svyazannyh-zeleennyh-prostranstv-v-gorodskoy-srede-zelenyy-karkas-goroda> (дата обращения: 02.12.2024).

83. Отчет о научно-исследовательской работе «Опробование снегового покрова и аналитический контроль геохимических проб по территории г. Саратова» / В. З. Макаров, С. А. Волков, И. В. Пролёткин, А. Н. Чумаченко. – Саратов [б.и.], 1997. – 162 с.

84. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме «Изучение загрязнения воздушного бассейна г. Саратова / В. З. Макаров, И. В. Пролёткин, А. Н. Чумаченко. – Саратов [б.и.], 1994. 53 с.

85. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме «Разработка методологии комплексного геоэкологического мониторинга городской среды для оценки и прогноза опасных и чрезвычайных ситуаций (на примере урбанизированных территорий Саратовского Приволжья)» ; выполнен по гранту Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» / В. З. Макаров, В. А. Гусев, А. В. Федоров, В. А. Данилов [и др.]. – Саратов [б.и.],

2018. – 104 с.

86. Павлов, Ю. В. Пространственные взаимодействия: оценка на основе глобального и локального индексов Морана / Ю. В. Павлов, Е. Н. Королева // Пространственная экономика. – 2014. – №3. – С. 95-110. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prostranstvennye-vzaimodeystviya-otsenka-na-osnove-globalnogo-i-lokalnogo-indeksov-morana> (дата обращения: 02.12.2024).

87. Павлова, А. Н. Геоинформационное картографирование медико-экологической ситуации в крупном промышленном городе (на примере г. Балаково) / А. Н. Павлова, Н. А. Чумаченко, Е. И. Ермолаева // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2007. – Т. 7. – №. 1. – С. 21-26.

88. Петровская, Е. И. Эффекты малых зеленых общественных пространств / Е. И. Петровская, О. Е. Садковская, А. С. Кабанова // Наука, образование и экспериментальное проектирование. – 2021. – №1. – С.146-149. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekty-malyh-zelenyh-obschestvennyh-prostranstv> (дата обращения: 02.12.2024).

89. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.6.1338-03. – Москва : Минздрав России, 2003. – 86 с.

90. РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. – Москва : Метеоагентство Росгидромета, 2006. – 52 с.

91. Ревич, Б. А. Значение зеленых пространств для защиты здоровья населения городов / Б. А. Ревич // Анализ риска здоровью. – 2023. – №2. – С. 168-185. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-zelenyh-prostranstv-dlya-zaschity-zdorovya-naseleniya-gorodov> (дата обращения: 02.12.2024).

92. Реттер, Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э. И. Реттер. Москва : Стройиздат, 1984. – 294 с.

93. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой

застройки / ЦНИИП градостроительства. – Москва : Стройиздат, 1986. – 59 с.

94. Садковская, О. Е. Технологии эко-урбанизма как ответ на последствия изменения климата / О. Е. Садковская // Урбанистика. – 2018. – №2. – С. 98-121. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-eko-urbanizma-kak-otvet-na-posledstviya-izmeneniya-klimata> (дата обращения: 07.08.2024).

95. Садыков, А. М. Методы и алгоритмы поиска и оценки вариантов размещения технических объектов на городских территориях : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.13.01 / Садыков Артур Мунавирович ; С.-Петербург. гос. электротехн. ун-т (ЛЭТИ). Санкт-Петербург, 2015. – 20 с. – URL: [https://etu.ru/assets/files/nauka/dissertacii/2015/Sadikov/Avtoreferat-Sadikov-AM-\(1\).pdf](https://etu.ru/assets/files/nauka/dissertacii/2015/Sadikov/Avtoreferat-Sadikov-AM-(1).pdf) (дата обращения: 06.08.2024).

96. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : с измен. на 30 декабря 2022 года. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022?index=2> (дата обращения: 07.08.2024).

97. Серебровский, Ф. Л. Аэрация населенных мест / Ф. Л. Серебровский. Москва : Стройиздат, 1985. – 172 с.

98. Сколько автомобилей приходится на тысячу жителей в России? // Автостат. Аналитическое агентство : [сайт]. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/46352/> (дата обращения: 17.08.2024).

99. Смоленская, Е. О. Метод моделирования открытых архитектурных пространств в городской среде : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. архитектуры : 18.00.01 / Смоленская Елена Олеговна ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород, 2004. – 28 с. – URL: https://static.freereferats.ru/_avtoreferats/01002743001.pdf (дата обращения: 06.08.2024).

100. Соболев, С. С. Временная инструкция к производству экспедиционных

почвенно-эрозионных исследований в равнинных областях СССР / С. С. Соболев // Почвоведение. – 1939. – №10. – С.607-616.

101. Стаменкович, М. З. Принципы работы современных программ компьютерного моделирования природно-климатических факторов в структуре информационной модели архитектурного объекта / М. З. Стаменкович/ // Architecture and Modern InformationTechnologies. – 2012. – №. 3 (20). – С. 15. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-raboty-sovremennyh-programm-kompyuternogo-modelirovaniya-prirodno-klimaticheskikh-faktorov-v-strukture-informatsionnoy> (дата обращения: 06.08.2024).

102. Сутырина, Е. К. Изучение параметров городских «Островов тепла» на территории иркутской области по данным дистанционного зондирования / Е. К.Сутырина // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2020. – Т. 34. – С. 131-140. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-parametrov-gorodskih-ostrovov-tepla-na-territorii-irkutskoy-oblasti-po-dannym-distantsionnogo-zondirovaniya> (дата обращения: 02.12.2024).

103. Тарасова, Л. Г. Взаимосвязь процессов управления и самоорганизации в развитии крупных городов / Л. Г. Т арасова. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009 г. – 142 с.

104. Тасейко, О. В. Моделирование локальных условий рассеивания загрязнителей в городской застройке : дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук : 05.13.01, 05.13.18 / Тасейко Ольга Викторовна Красноярск, 2005. – 125 с.

105. Ткачук, Г. А. Дизайн-моделирование городской среды как объекта восприятия / Г. А. Ткачук // Интерактивная наука. – 2020. – №5 (51). – С. 17-19. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dizayn-modelirovanie-gorodskoy-sredy-kak-obekta-vospriyatiya> (дата обращения: 07.08.2024).

106. Трофименко, Ю. В. Велосипедный транспорт в городах : монография / Ю. В. Трофименко, С. В. Шелмаков, С. О. Зеге, Шашина Е. В. Москва : МАДИ, 2020. – 154 с.

107. Туан, Л. М. Исследование интенсивности городского острова тепла на

основе городской планировки / Л. М. Туан, Шукуров И. С., Тхи Май Н. // Строительство: наука и образование. – 2019. – №3. – С. 1-22. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-intensivnosti-gorodskogo-ostrova-tepla-na-osnove-gorodskoy-planirovki> (дата обращения: 02.12.2024).

108. Усов, Я. Ю. Формирование архитектурно-планировочной структуры биоклиматических жилых зданий : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. архитектуры : 05.23.21 / Усов Ярослав Юрьевич ; ФГБОУ ВПО Московский архитектурный институт. – Москва, 2013. – 30 с. – URL: <https://marhi.ru/referats/2013/usov.pdf> (дата обращения: 06.08.2024).

109. Учебно-краеведческий атлас Саратовской области / Аникин В.В., Акифьева Е.В., Афанасьева А.Н. [и др.] ; Сарат. Гос. ун-т. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2013. – 144 с.

110. Файзлиев, А. Р. Математические методы и модели анализа пространственной структуры системы городской торговли : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. эконом. наук : 08.00.13 / Файзлиев Алексей Раисович ; ФГБОУ ВПО Саратовский государственный социально-экономический университет. – Волгоград, 2014. – 24 с. – URL: http://77.244.69.217/face/dissert/avtoreferat_fayzlievar.pdf (дата обращения: 06.08.2024).

111. Фетисова, Л.М. Экология атмосферы крупного промышленного центра в условиях сложного рельефа / Л. М. Фетисова, Г. А. Пужлякова, Е. А. Полянская [и др.]. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2004. – 136 с.

112. Фролов, И. Ю. Пылевое загрязнение территории города Саратова по результатам снегомерной съемки 1997 года / И. Ю. Фролов // Проблемы геоэкологии Саратова и области. Саратов, 1998. Вып.2. – С. 90-96.

113. Ханнанова, Е. А. Хронологический обзор и анализ моделей городского развития, разработанных в США и Европе в XVIII-XX вв. / Е. А. Ханнанова, Е. К. Овечкина // Инновации и инвестиции. – 2023. – №10. – С. 439-445. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/hronologicheskii-obzor-i-analiz-modeley-gorodskogo-razvitiya-razrabotannyh-v-ssha-i-evrope-v-xviii-xx-vv> (дата

обращения: 02.12.2024).

114. Цехмейструк, Ю. А. Исследование антропогенного загрязнения городской среды / Ю. А. Цехмейструк // Ползуновский вестник. – 2003. – №1-2. – С. 61-69. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-antropogennogo-zagryazneniya-gorodskoy-sredy> (дата обращения: 02.12.2024).

115. Чжэн, И. Смягчающее влияние социального участия на взаимосвязь между городскими зелеными насаждениями и психическим здоровьем пожилых людей : тематическое исследование в Китае / И. Чжэн, Б. Чэн, Л. Дон, Т. Чжэн, Р. Ву. Земля (Land). – 2024. – № 13. С. 317-338. – URL: <https://doi.org/10.3390/land13030317> (дата обращения: 03.11.2024).

116. Шелмаков, С. В. Экотранспорт : учеб. пособие / С. В. Шелмаков. Москва : МАДИ, 2018. – 199 с.

117. Шипулин, В. Д. Основные принципы геоинформационных систем : учебн. пособие / В. Д. Шипулин. Харьков: ХНАГХ, 2010. – 337 с.

118. Щербань, Е. Г. Развитие экономического потенциала города (на примере города Саратова) / Е. Г. Щербань // Промышленность: экономика, управление, технологии. – 2020. – №2 (81). – С. 67-71. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-ekonomicheskogo-potentsiala-goroda-na-primere-goroda-saratova> (дата обращения: 07.08.2024).

119. Addison, P.S. An Integrated Approach to Street Canyon Pollution Modelling / P.S. Addison, J.I. Currie, D.J. Low, J.M. McCann // Environmental Monitoring and Assessment. 2000. – Vol. 65. – N 1–2. – pp. 333–342. – URL: https://doi.org/10.1007/978-94-010-0932-4_36 (дата обращения: 02.12.2024).

120. Akbari, H. Local climate change and urban heat island mitigation techniques – The State of the Art / H. Akbari, C. Cartalis, D. Kolokotsa, A. Muscio, A. L. Pisello, F. Rossi, M. Santamouris, A. Synnef, N. H. Wong, M. Zinzi. – DOI 10.3846/13923730.2015.1111934. // Journal of Civil Engineering and Management. – 2015. – N 22(1). – Pp. 1–16. – URL:<https://journals.vilniustech.lt/index.php/JCEM/article/view/2312> (дата обращения: 02.12.2024).

121. Assimakopoulos, V.D. A numerical study of atmospheric pollutant dispersion in different two-dimensional street canyon configurations / V.D. Assimakopoulos, H.M. ApSimon, N. Moussiopoulos // *Atmospheric Environment*. – 2003. – Vol. 37, – N 29, – Pp. 4037–4049. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231003005338> (дата обращения: 02.12.2024).

122. Baik, Jong-Jin. A numerical study flow and pollutant dispersion characteristics in urban street canyons / Jong-Jin Baik, Jae-Jin Kim // *Journal of Applied Meteorology*. – 1999. – Vol. 38. N 11. – Pp. 1576–1589. – URL: https://www.researchgate.net/publication/230605596_A_Numerical_Study_of_Flow_and_Pollutant_Dispersion_Characteristics_in_Urban_Street_Canyons (дата обращения: 02.12.2024).

123. Batty, M. Digital twins / M. Batty // *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. – 2018. – N 45(5). Pp. 817-820. – URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2399808318796416> (дата обращения: 02.12.2024).

124. Brüner, L. Modeling of urban air pollution and its impact on human exposure / L. Brüner, W. Broich, S. Emeis // *Urban Climate*. – 2013. – Vol. 6. Pp. 1-13.

125. Chiel, C. Relative humidity as an indicator for cloud formation over heterogeneous land surfaces / C Chiel, van Heerwaarden, Jordi Vilà Guerau de Arellano // *Journal of the Atmospheric Sciences*. – 2008-10. – Vol. 65. Iss. 10. – Pp. 3263–3277. – ISSN 1520-0469 0022-4928, 1520-0469. –doi:10.1175/2008jas2591.1. – URL:<https://doi.org/10.1175/2008JAS2591.1> (дата обращения: 02.12.2024).

126. Decheng, Zhou. The footprint of urban heat island effect in China / Zhou D., Zhao Sh., Zhang L., Sun G., Liu Y. – DOI 10.1038/srep11160 // *Scientific Reports*. – 2015. – Vol. 5. – Iss. 1. – P. 11160. – ISSN 2045-2322. – URL:https://www.researchgate.net/publication/278021184_The_footprint_of_urban_heat_island_effect_in_China (дата обращения: 02.12.2024).

127. E Shochat. From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology / E. Shochat, P. Warren, S. Faeth, N. McIntyre, D. Hope // *Trends in Ecology &*

Evolution. – 2006. – Vol. 21, iss. 4. – Pp. 186-191. – [URL:doi:10.1016/j.tree.2005.11.019](https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.11.019) (дата обращения: 02.12.2024).

128. FABDEM // Geocommunity. URL: [FABDEM \(Forest And Buildings removed Copernicus 30m DEM\) - awesome-gee-community-catalog](https://www.fabdem.org/) (дата обращения 01.12.2024).

129. Gretchen, W. Cook. This winter, make the common cold less common / Cook Gretchen W // Asthma Magazine. – 2004. – Vol. 9, Iss. 6. – Pp. 9–11. – ISSN 1088-0712. – URL:<https://doi.org/10.1016/j.asthmamag.2004.09.002> (дата обращения 01.12.2024).

130. Jicha, M. Dispersion of pollutants in street canyon under traffic induced flow and turbulence / M. Jicha, J. Pospisil, J. Kftolicky // Environmental Monitoring and Assessment. – 2000. – Vol. 65. – N. 1-2. Pp. 343-351. URL:https://www.researchgate.net/publication/226783984_Dispersion_of_Pollutants_in_Street_Canyon_Under_Traffic_Induced_Flow_and_Turbulence (дата обращения 01.12.2024).

131. Khodjayan, A.B. The effect of green stands on human health / A.B. Khodjayan, G.A. Karabaktsyan // Problemy Sotsial'noi Gigieny, Zdravookhraneniya i Istorii Meditsiny. – 2022. – Vol. 30. – N. 4. – Pp. 600–607. – DOI 10.32687/0869-866X-2022-30-4-600-607. – URL: https://www.researchgate.net/publication/362679057_The_effect_of_green_stands_on_human_health (дата обращения 01.12.2024).

132. Kim, J.-J. A numerical study thermal effects on flow and pollutant dispersion in urban street canyons / J.-J Kim, J.-J. Baik // Journal of Applied Meteorology. – 1999. – Vol. 38, – N. 9. – Pp. 1249–1261. URL:[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<1249:ANSOTE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1249:ANSOTE>2.0.CO;2) (дата обращения 01.12.2024).

133. Konarska, J. Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees—application for outdoor thermal comfort modeling / Konarska J, Lindberg F, Larsson A, Thorsson S, Holmer B. – DOI:10.1007/s00704-013-1000-3 // Theoretical and Applied Climatologi. – 2013. – Vol. 117. – Pp. 1-14. –

URL:https://www.researchgate.net/publication/257651843_Transmissivity_of_solar_radiation_through_crowns_of_single_urban_trees-application_for_outdoor_thermal_comfort_modelling (дата обращения 01.12.2024).

134. Korniyenko, S. V. Generation, development and mitigation of the urban heat island : a review / S. V. Korniyenko, E.A. Dikareva. – DOI: 10.34910/ALF.16.5. // Alfa Build. – 2021. – N. 16. – Article No 1605. – URL:https://alfabuild.spbstu.ru/userfiles/files/AlfaBuild/AlfaBuild_2021_16/1605.pdf (дата обращения 01.12.2024).

135. Li, D. Solar potential in urban residential buildings / D. Li, G. Liu, S. Liao. – DOI 10.1016/j.solener.2014.10.045 // Solar Energy. – 2015. – Vol. 111. – Pp. 225-235. URL:https://www.researchgate.net/publication/268578710_Solar_potential_in_urban_residential_buildings (дата обращения 01.12.2024).

136. Lindberg, F. Continuous sky view factor maps from high resolution urban digital elevation models / F. Lindberg, S. Grimmond. – DOI:10.3354/cr00882 // Climate Research. – 2010. – Vol. 42. – Pp. 177-183. – URL: https://www.researchgate.net/publication/224001526_Continuous_sky_view_factor_maps_from_high_resolution_urban_digital_elevation_models (дата обращения 01.12.2024).

137. Lindberg, F. The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation / F. Lindberg, S. Grimmond. – DOI:10.1007/s00704-010-0382-8 // Theoretical and Applied Climatology. – 2011. – Vol. 105. – Pp. 311-323. – URL: https://www.researchgate.net/publication/226854738_The_influence_of_vegetation_and_building_morphology_on_shadow_patterns_and_mean_radiant_temperatures_in_urban_areas_Model_development_and_evaluation (дата обращения 01.12.2024).

138. Masson, V. A physically based scheme for the urban energy budget in atmospheric models / V. Masson. – DOI:10.1023/A:1002463829265 // Boundary-Layer Meteorology. – 2000. – Vol. 94, – N 3. – Pp. 357-397. URL: https://www.researchgate.net/publication/227202763_A_Physically-

обращения 01.12.2024).

139. NextGIS Data: геоданные для ваших проектов. – URL: <https://nextgis.ru/datasets/> (дата обращения: 12.06.2024).

140. Nunez, M. The Energy Balance of an Urban Canyon / M. Nunez, T.R. Oke. – DOI:10.1175/1520-0450(1977)016<0011:TEBOAU>2.0.CO;2 // Journal of Applied Meteorology. – 1977. – Vol. 16. – Pp. 11-19. URL: https://www.researchgate.net/publication/260784082_The_Energy_Balance_of_an_Urban_Canyon (дата обращения: 12.05.2024).

141. Oke, T.R. Boundary layer climates / T.R. Oke. – London : Routledge, 1987. – 435 p.

142. Oke, T. R. Urban climates / T. R. Oke, G. Mills, A. Christen, J. Voogt. – Cambridge : Cambridge University Press, 2017. – 526 p. – ISBN: 978-1-107-42953-6. URL: <https://www.cambridge.org/core/books/urban-climates/A02424592E1C7F9B9CD69DAD57A5B50B> (дата обращения: 12.05.2024).

143. Orimoloye I. R., Spatiotemporal monitoring of land surface temperature and estimated radiation using remote sensing: human health implications for East London, South Africa / I. R. Orimoloye, S. P. Mazinyo, W. Nel, A. M. Kalumba. – DOI: 10.1007/s12665-018-7252-6 // Environmental Earth Sciences. – 2018. – No 77(3). – Pp. 77. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7252-6> (дата обращения: 12.05.2024).

144. Peen, J. The current status of urban-rural differences in psychiatric disorders / J. Peen, R.A. Schoevers, A.T. Beekman, J. Dekker. – DOI: 10.1111/j.1600-0447.2009.01438.x // Acta Psychiatrica Scandinavica. – 2010. – Vol. 121. – N. 2. – Pp. 84-93. URL: https://www.researchgate.net/publication/26688070_The_current_status_of_urban-rural_differences_in_psychiatric_disorders (дата обращения: 12.05.2024).

145. Samsonov, T.E. Object-oriented approach to urban canyon analysis and its applications in meteorological modeling / T.E. Samsonov, P.I. Konstantinov, M.I. Varentsov. – DOI:10.1016/j.uclim.2015.07.007 // Urban Climate. – 2015. – Vol. 13. –

P. 122-139. URL: https://www.researchgate.net/publication/280690805_Object-oriented_approach_to_urban_canyon_analysis_and_its_applications_in_meteorological_modeling (дата обращения: 12.05.2024).

146. Sánchez-Rodríguez, R. Sustainable Development Goals and climate change adaptation in cities / R. Sánchez-Rodríguez, D. Ürge-Vorsatz, A. S. Barau. – DOI:10.1038/s41558-018-0098-9 // Nature Climate Change – 2018. – Vol 8(3). – Pp. 181-183. URL: https://www.researchgate.net/publication/323427222_Sustainable_Development_Goals_and_climate_change_adaptation_in_cities (дата обращения: 12.05.2024).

147. Santamouris, M. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change / M. Santamouris. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109482 // Energy and Buildings. – 2020. – Vol. 207. – Pp. 109482. URL: https://www.researchgate.net/publication/336271416_Recent_Progress_on_Urban_Overheating_and_Heat_Island_Research_Integrated_Assessment_of_the_Energy_Environmental_Vulnerability_and_Health_Impact_Synergies_with_the_Global_Climate_Change (дата обращения: 12.05.2024).

148. Stanley, A. Changnon Impacts and Responses to the 1995 Heat Wave: A Call to Action / Stanley A. Changnon, Kenneth E. Kunkel, Beth C. Reinke. // Bulletin of the American Meteorological Society. – 1996. – Vol. 77, Iss. 7. – Pp. 1497–1506. – URL: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/77/7/1520-0477_1996_077_1497_iartth_2_0_co_2.xml (дата обращения: 12.05.2024).

149. Thomson, R.C. Session/Séance 47-B The 'good continuation' principle of perceptual organization applied to the generalization of road networks / R.C. Thomson, D.E. Richardson // Proceed. of the ICA 19th Intern. Cartographic Conference. – 2013. – Pp. 1215-1223. URL: https://www.researchgate.net/publication/228814159_SessionSeance_47-B_The_'Good_Continuation'Principle_of_Perceptual_Organization_applied_to_the_Generalization_of_Road_Networks (дата обращения: 12.05.2024).

150. Toparlar, Y. A review on the CFD analysis of urban microclimate / Y. Toparlar, B. Blocken, B. Maiheu, G. J. F. van Heijst. – DOI:10.1016/j.rser.2017.05.248 // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 80. – Pp. 1613-1640. URL:

https://www.researchgate.net/publication/317506881_A_review_on_the_CFD_analysis_of_urban_microclimate (дата обращения: 12.05.2024).

151. Uehara, K.. Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons / Kiyoshi Uehara, Shuzo Murakami, Susumu Oikawa, Shinji Wakamatsu. – DOI:10.1016/S1352-2310(99)00410-0 // Atmospheric Environment. – 2000. – Vol. 34. – N 10. – Pp. 1553–1562. URL: https://www.researchgate.net/publication/222532229_Wind_tunnel_experiments_on_how_thermal_stratification_affects_flow_in_and_above_urban_street_canyons (дата обращения: 12.05.2024).

152. Validation of a two-dimensional pollutant dispersion model in an isolated street canyon / T.L. Chan, G. Dong, C.W. Leung, C.S. Cheung, W.T. Hung [et al.]. – DOI:10.1016/S1352-2310(01)00490-3 // Atmospheric Environment. – 2002. – Vol. 36. No. 5. – Pp. 861-872. URL: https://www.researchgate.net/publication/223464003_Validation_of_a_two-dimensional_pollutant_dispersion_model_in_an_isolated_street_canyon (дата обращения: 12.05.2024).

153. Watson, I.D. Graphical estimation of skyview-factors in urban environments / I.D. Watson, G.T. Johnson. – DOI 10.1002/joc.3370070210 // Journal of Climatology. – 1987. – Vol. 7. – Iss. 2. – Pp 193-197. – URL: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.3370070210> (дата обращения: 10.04.2024).

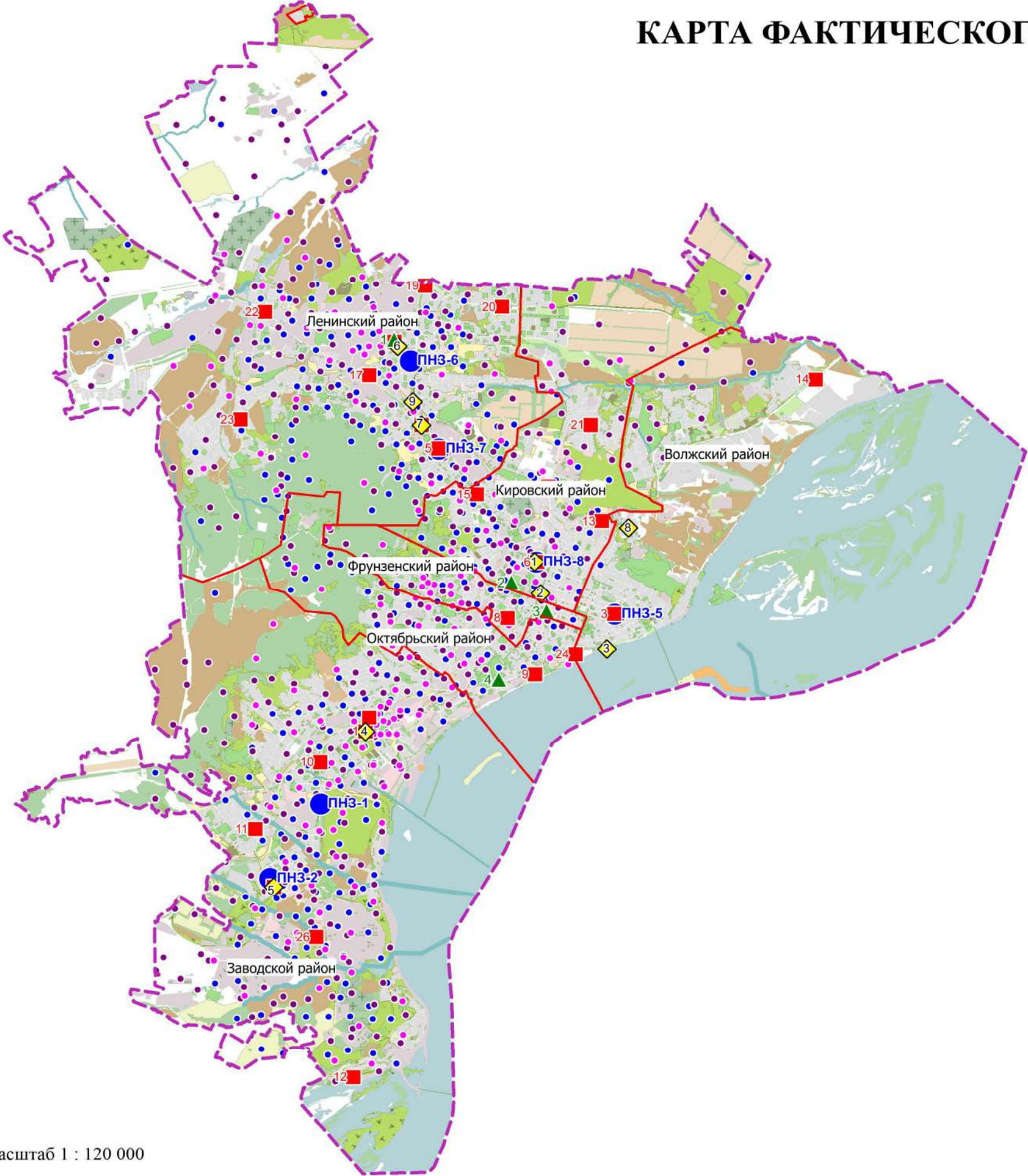
154. Zhu, X. X., Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources / X. X. Zhu, D. Tuia, L. Mou, G. S. Xia, L. Zhang, F. Xu, F. Fraundorfer, – DOI:10.1109/MGRS.2017.2762307 // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. – 2017. – Vol. 5(4). – Pp. 8-36. URL: https://www.researchgate.net/publication/322278874_Deep_Learning_in_Remote_Sens

[ing_A_Comprehensive_Review_and_List_of_Resources](#) (дата обращения: 10.04.2024).

155. Zhu, Z. Approach for evaluating inundation risks in urban drainage systems / Z. Zhu, Z. Chen, X. Chen, P. He, – DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.02.025 // The Science of The Total Environment. – 2016. – Vol. 553. – Pp. 1-12. URL: https://www.researchgate.net/publication/295083158_Approach_for_evaluating_inundation_risks_in_urban_drainage_systems (дата обращения: 12.05.2024).

ПРИЛОЖЕНИЯ

КАРТА ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- точки снегохимической съемки в 1992 г.
- точки снегохимической съемки в 1994 г.
- точки снегохимической съемки в 1997 г.
- 26 ■ точки инструментальных замеров запыленности воздуха и химического состава загрязнителей в 2013 г.
- ♦ точки инструментальных замеров запыленности воздуха в 2017 и 2024 гг.
- 4 ▲ точки отбора проб для оценки пылеосаждения на различные депонирующие среды в 2010, 2011, 2013 гг.
- ПНЗ-5 ● ПНЗ - стационарные посты наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха

Масштаб 1 : 120 000

КАРТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

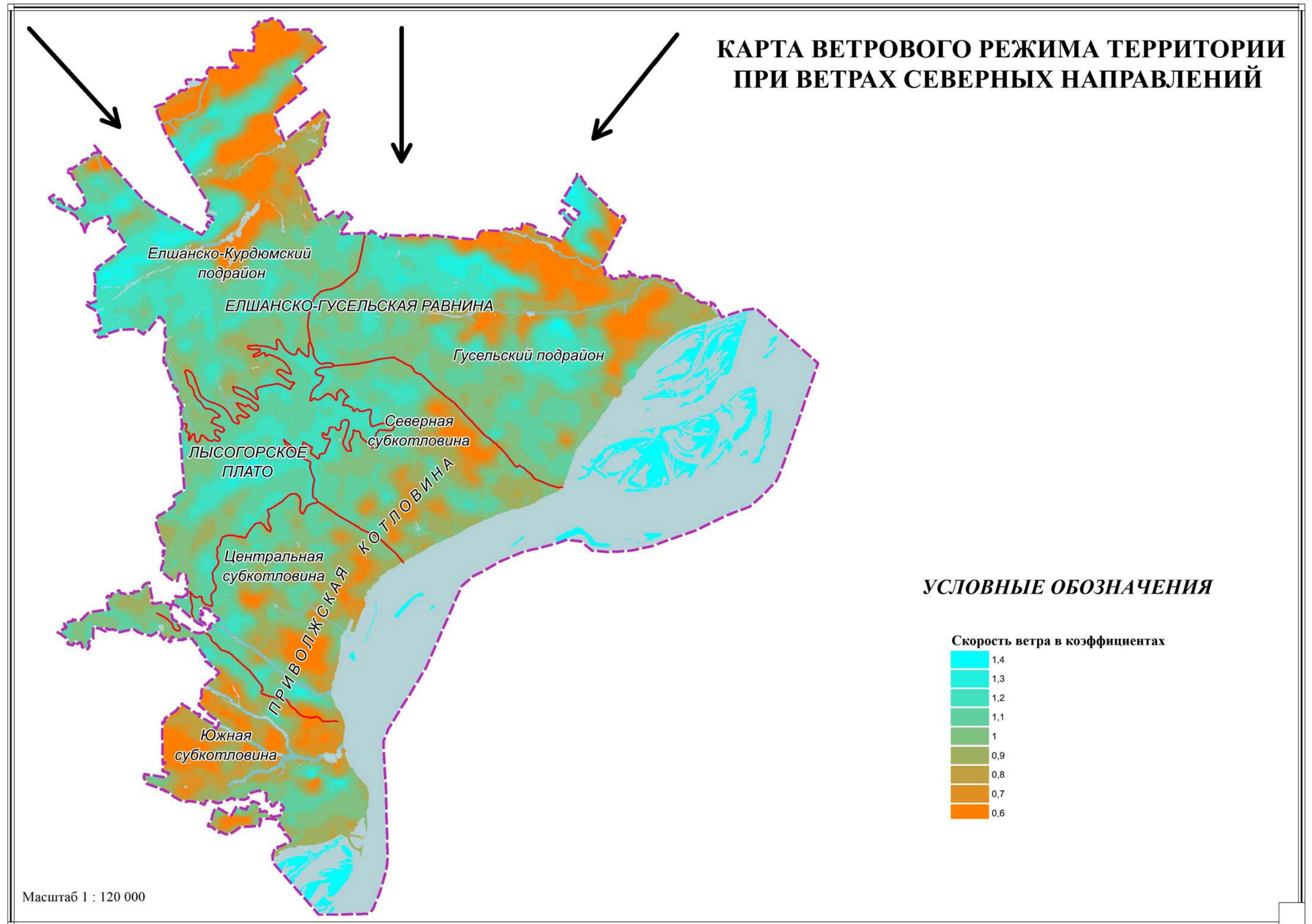


Масштаб 1 : 120 000

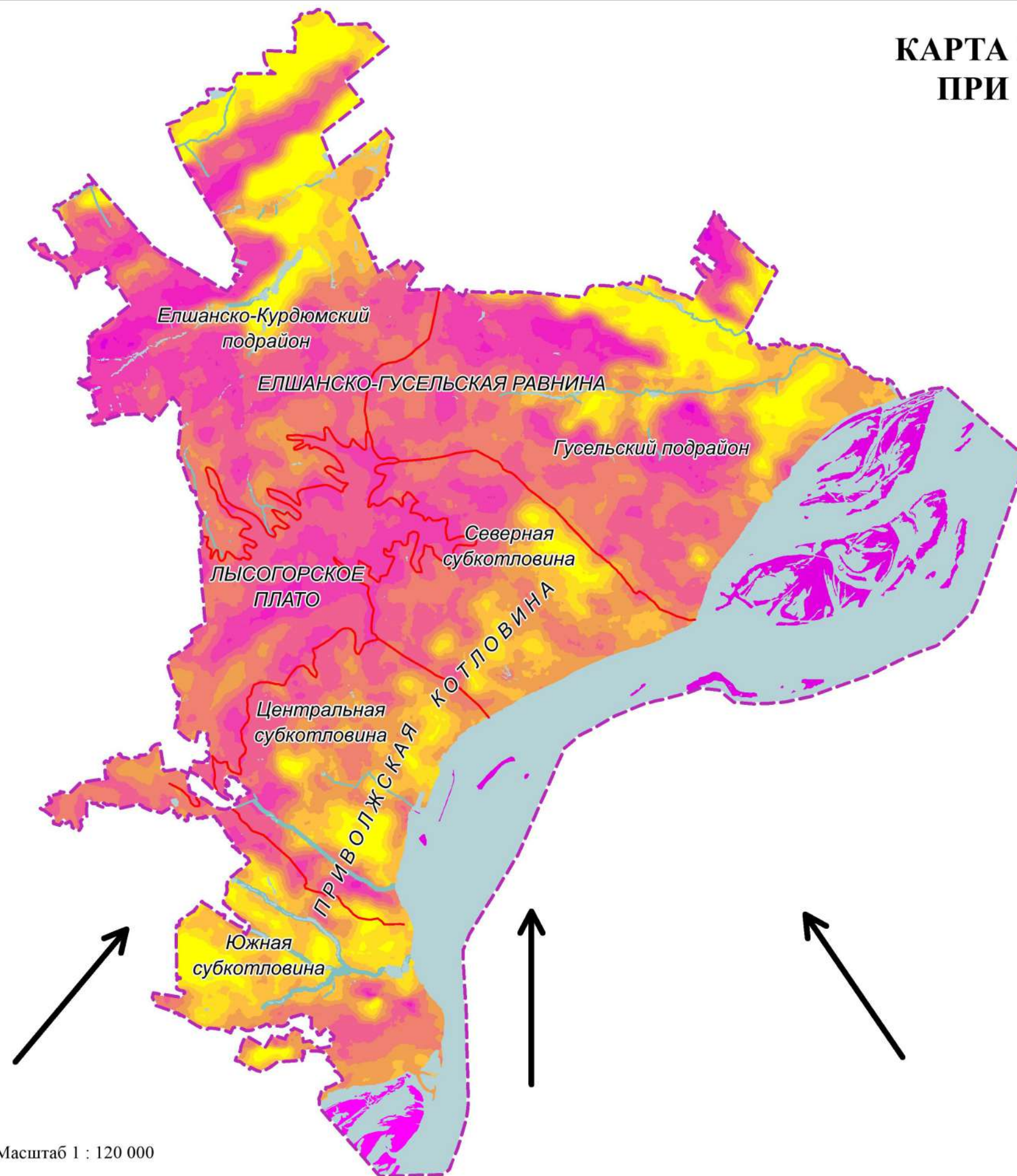
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Промышленные предприятия, обязанные осуществлять мониторинг атмосферного воздуха согласно ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" №96-ФЗ от 04.05.1999 г.

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 "Соколовгорский". Головные сооружения
25	ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "РУСАГРО-САРАТОВ"
26	ООО Завод электроагрегатного машиностроения "СЭПО-ЗЭМ"
27	АО "Саратовское электроагрегатное производственное объединение"
28	Публичное акционерное общество "Т Плюс". Саратовская ГРЭС
28	Публичное акционерное общество "Т Плюс". Саратовская ТЭЦ-2

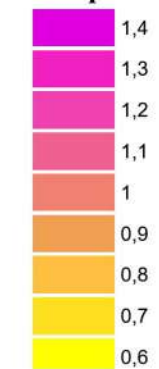


КАРТА ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ПРИ ВЕТРАХ ЮЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ



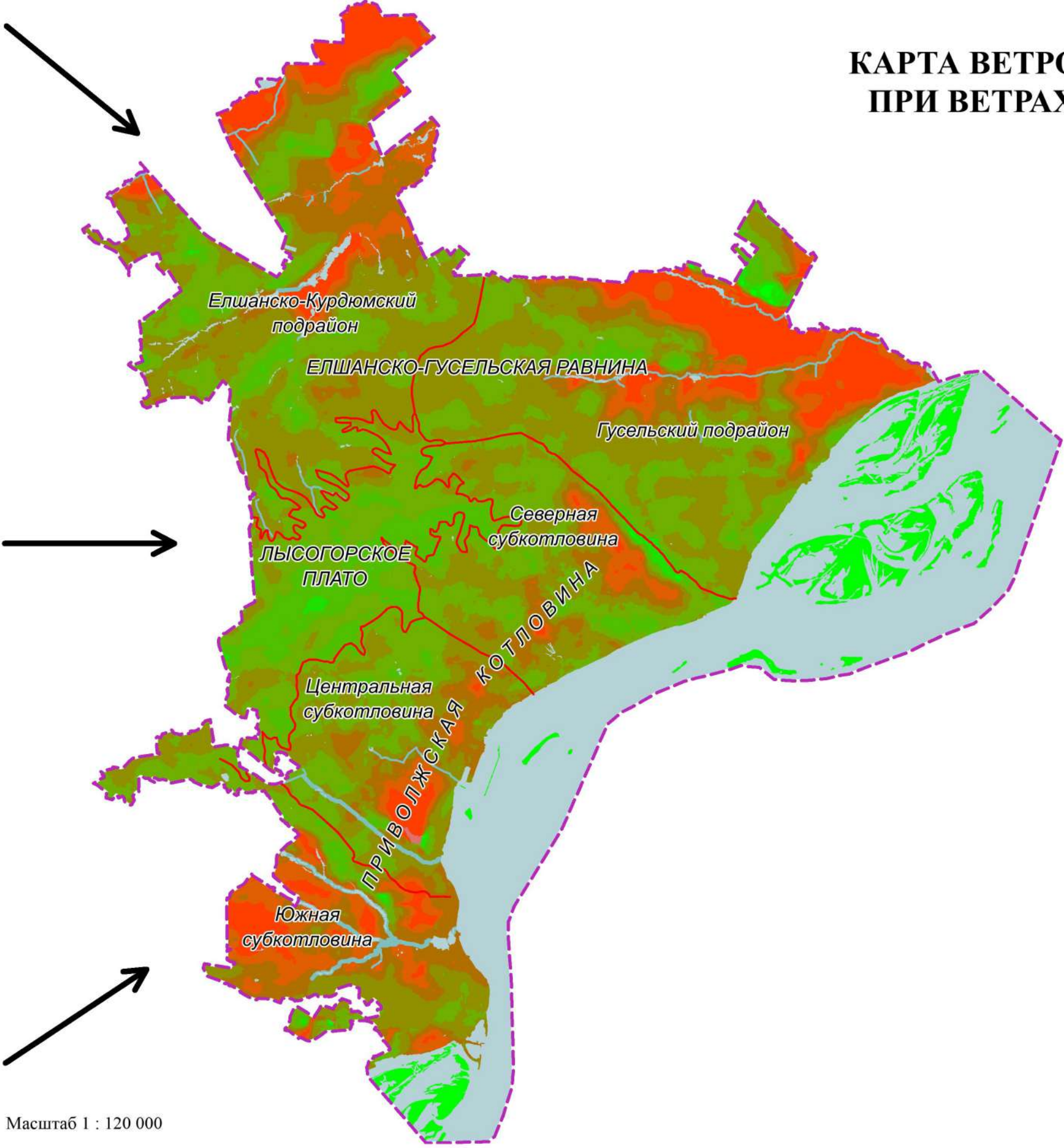
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Скорость ветра в коэффициентах



Масштаб 1 : 120 000

**КАРТА ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ
ПРИ ВЕТРАХ ЗАПАДНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ**

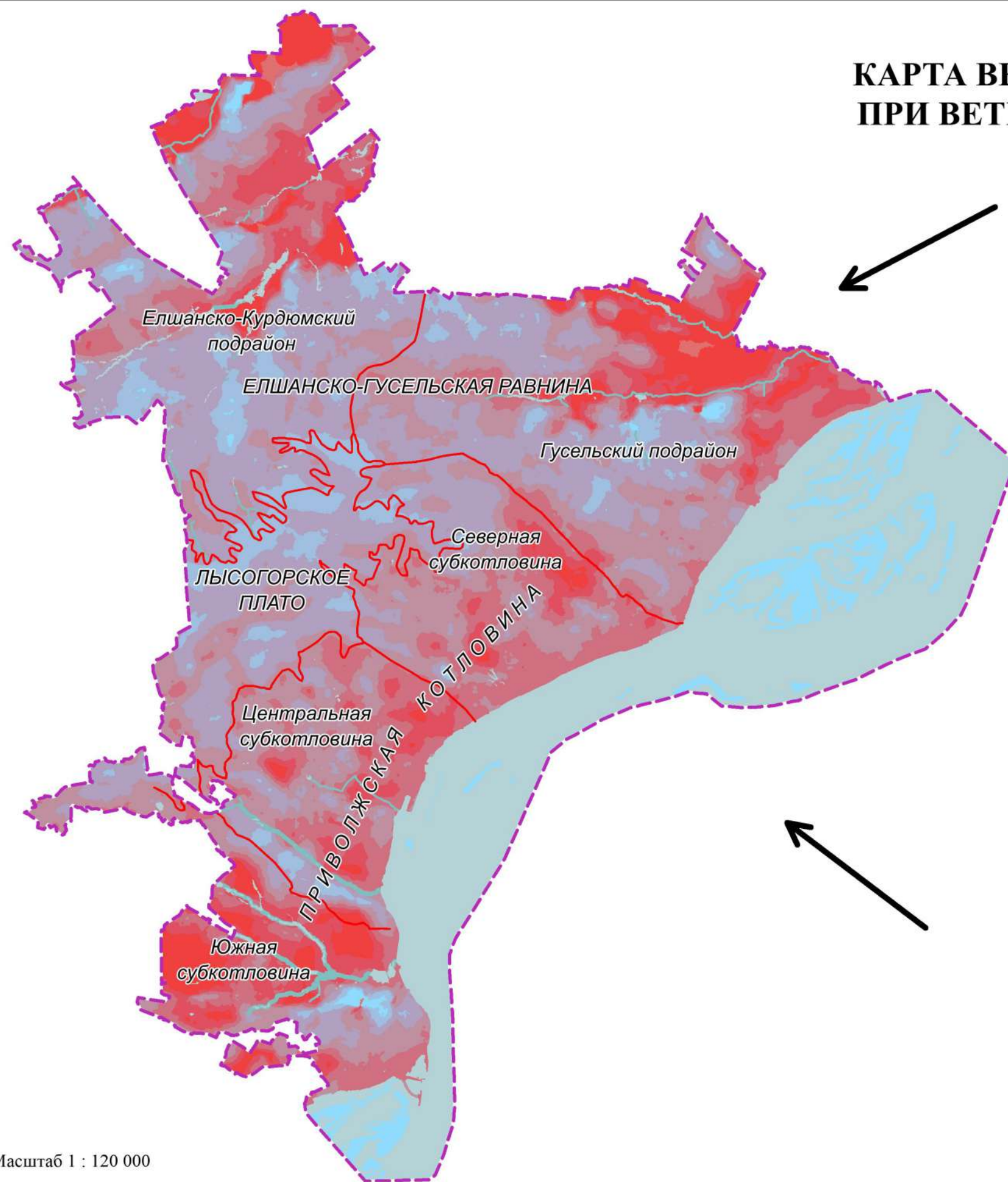


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



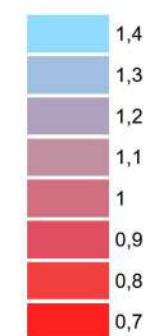
Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ВЕТРОВОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ПРИ ВЕТРАХ ВОСТОЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ



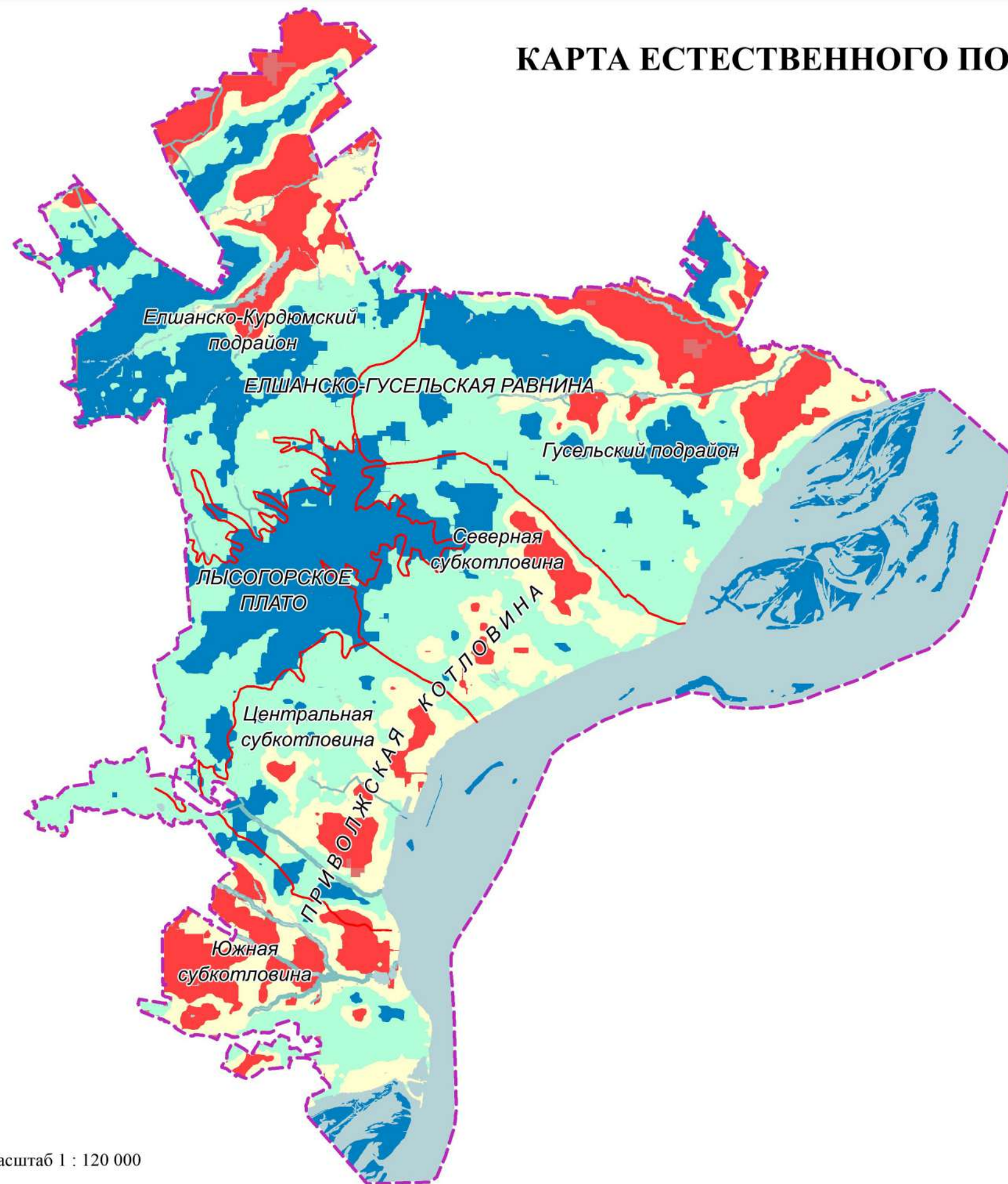
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Скорость ветра в коэффициентах



Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ЕСТЕСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОВЕТРИВАЕМОСТИ



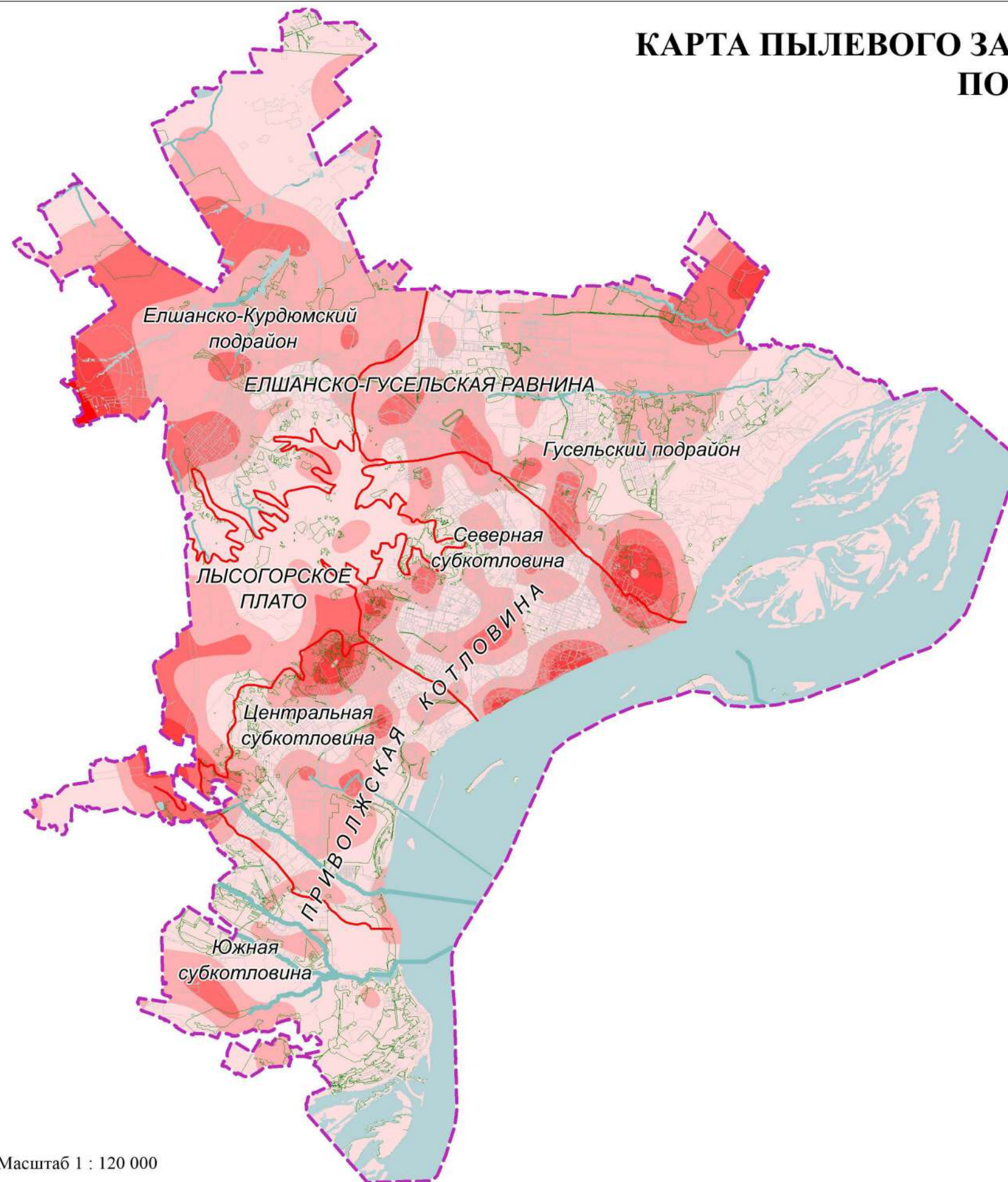
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Потенциал проветриваемости



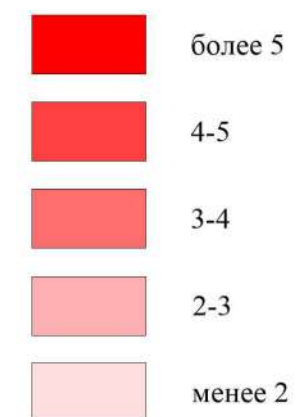
Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ 1992 Г.

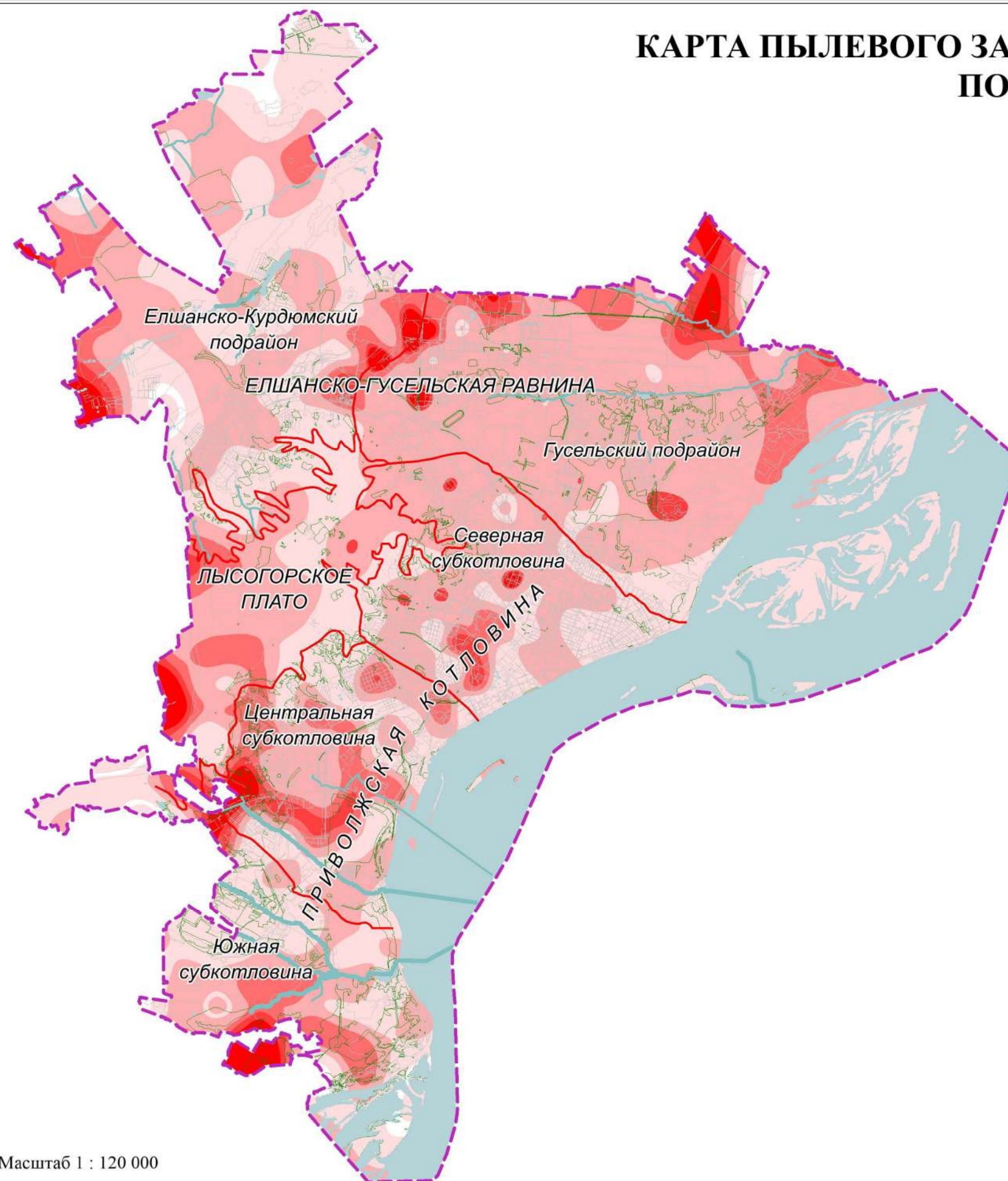


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Плотность пылевого загрязнения
(кратность превышения фоновых значений)

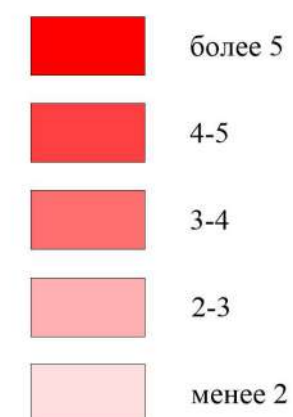


КАРТА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ 1994 Г.



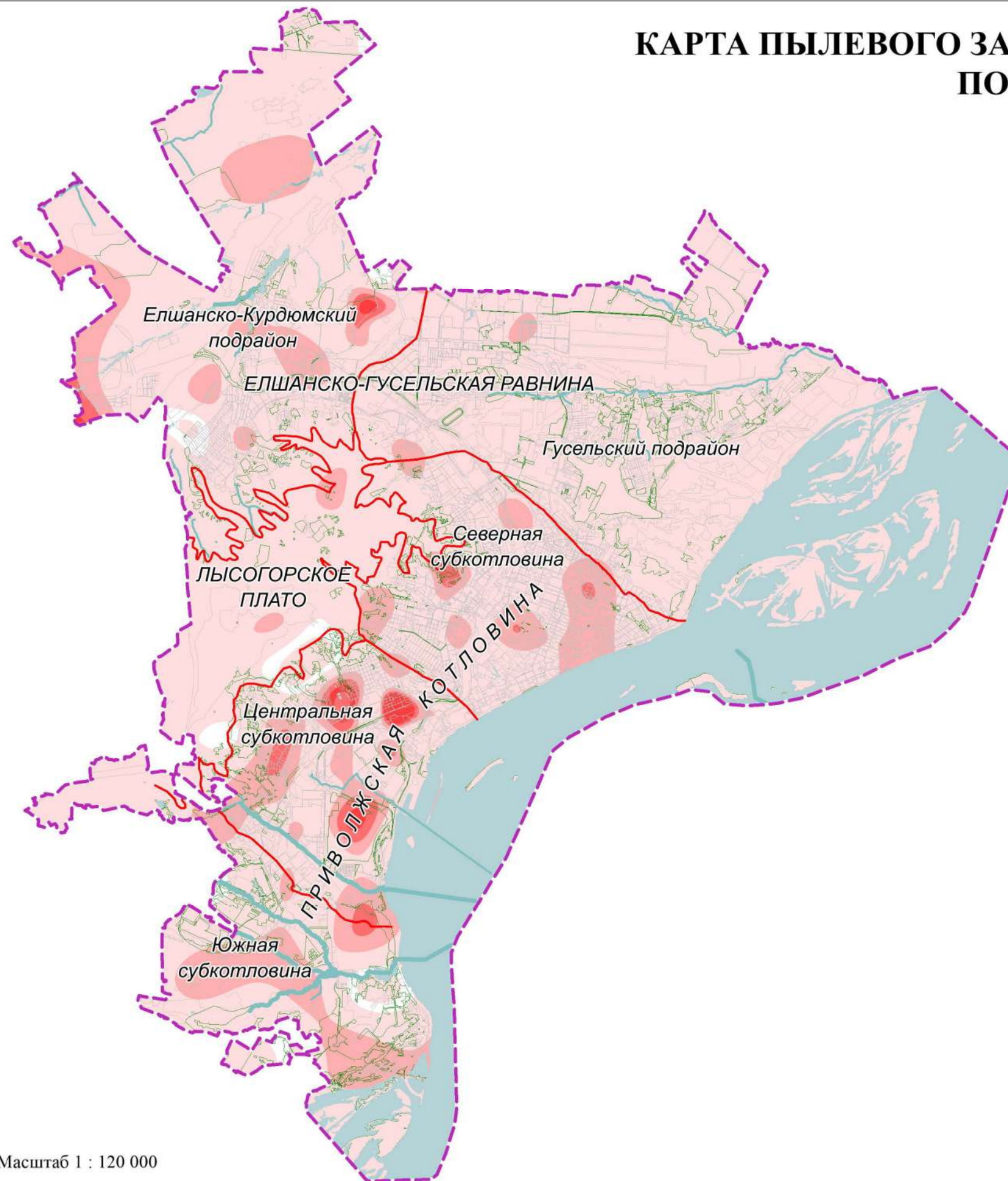
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Плотность пылевого загрязнения
(кратность превышения фоновых значений)



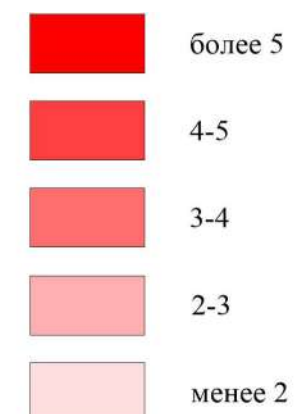
Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ 1997 Г.



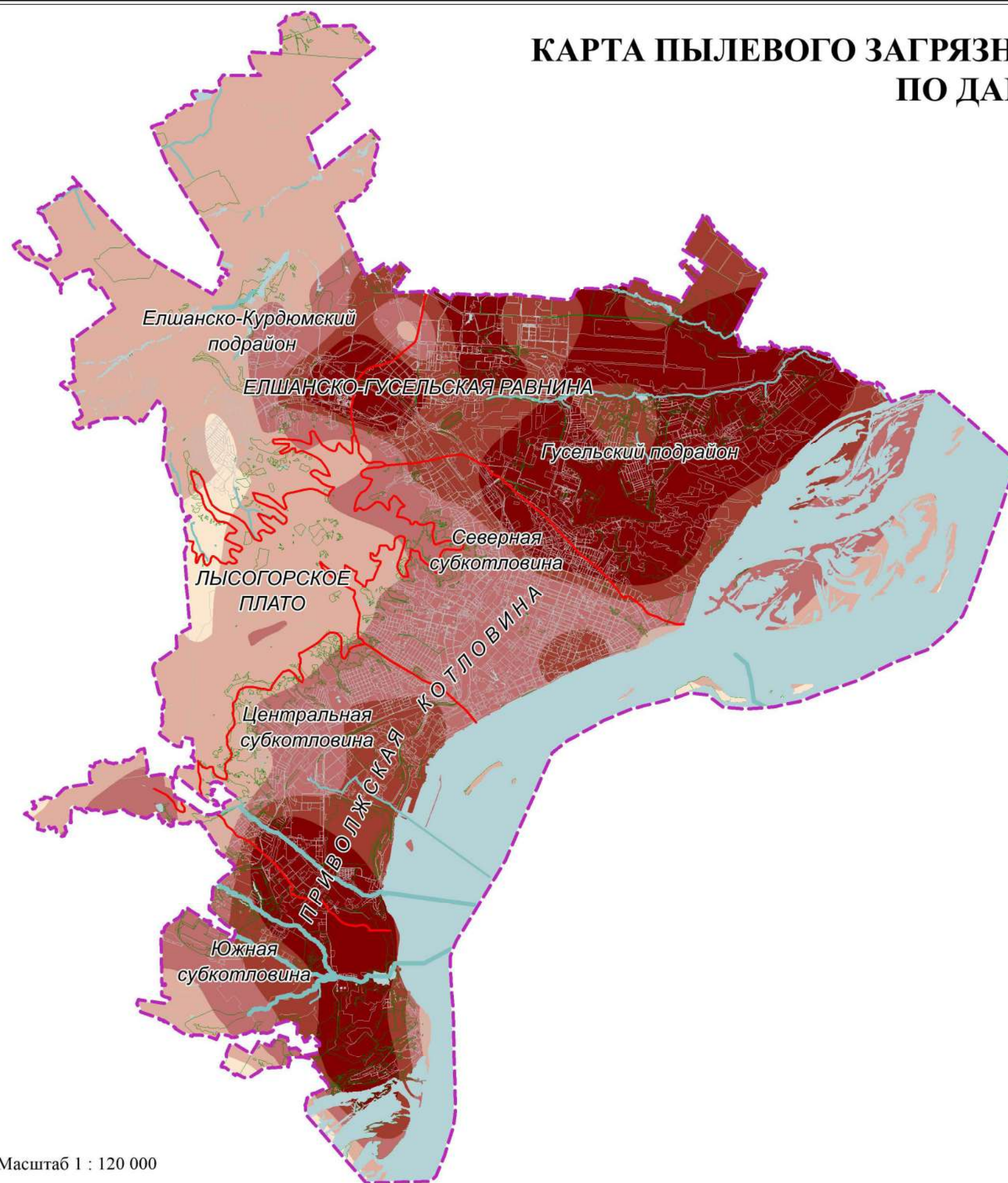
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Плотность пылевого загрязнения
(кратность превышения фоновых значений)



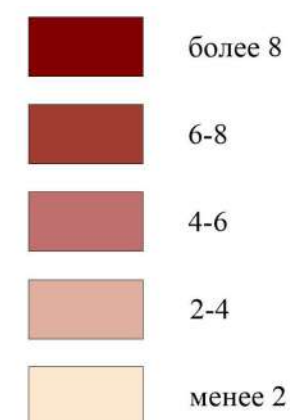
Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ 2013 Г.



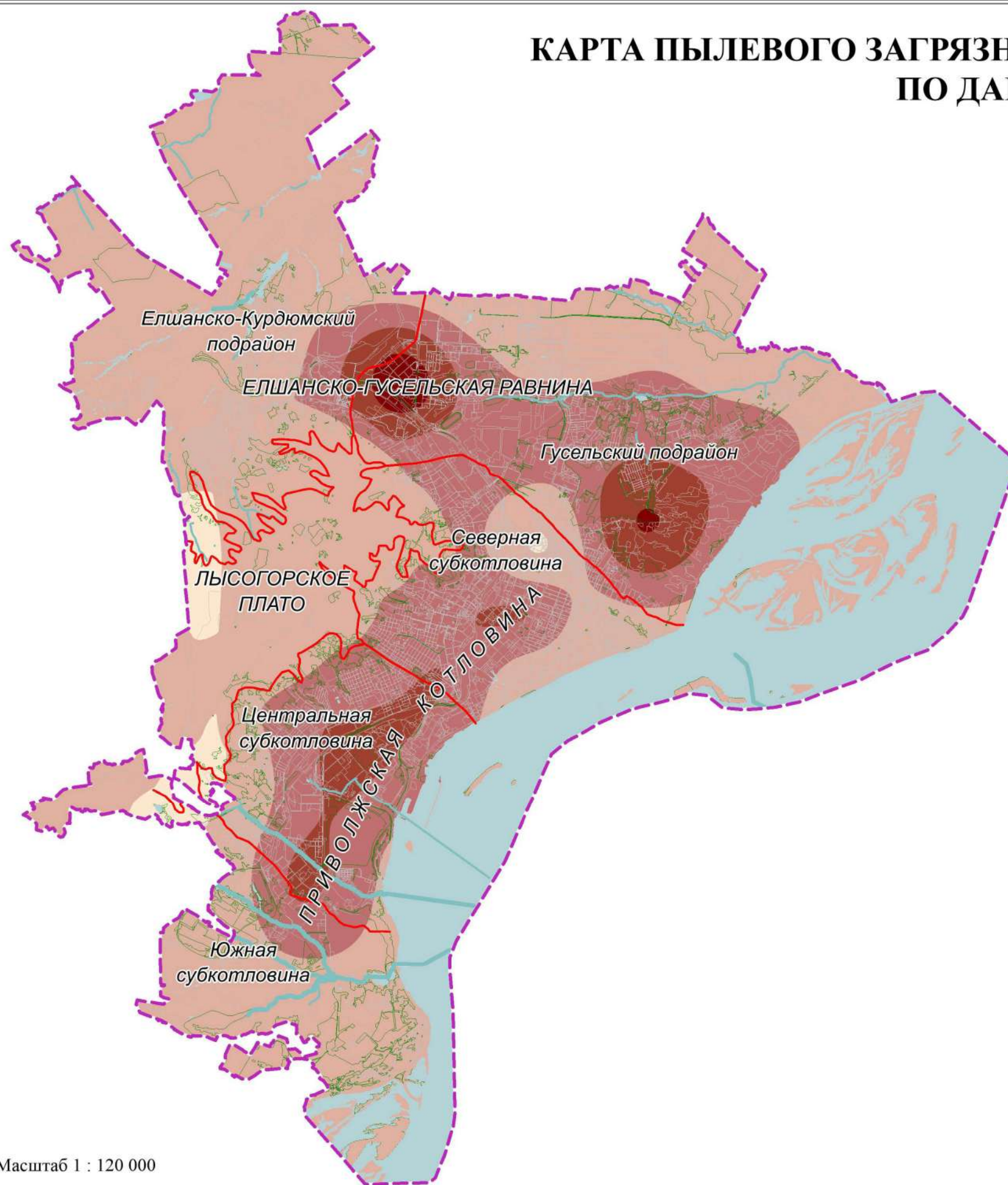
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Количество взвешенных веществ
(кратность превышения ПДК)



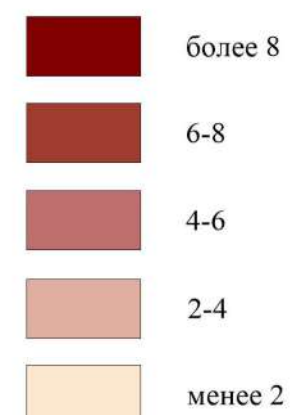
Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ 2017 Г.



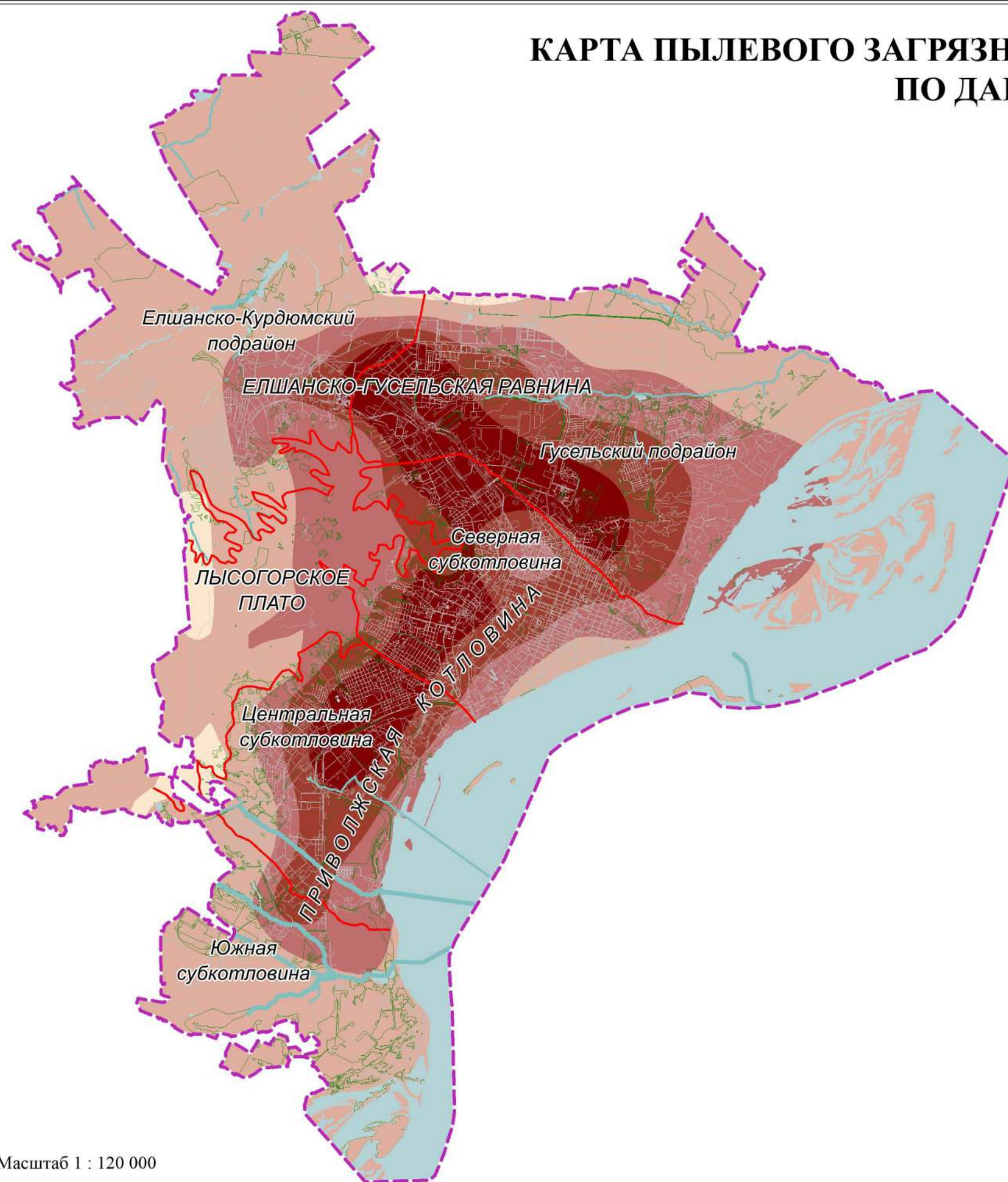
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Количество взвешенных веществ
(кратность превышения ПДК)



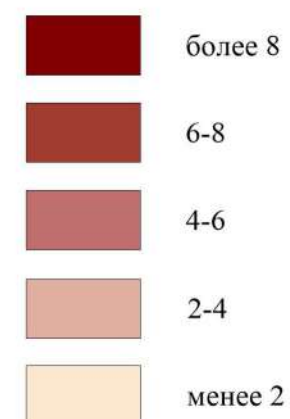
Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ 2024 Г.



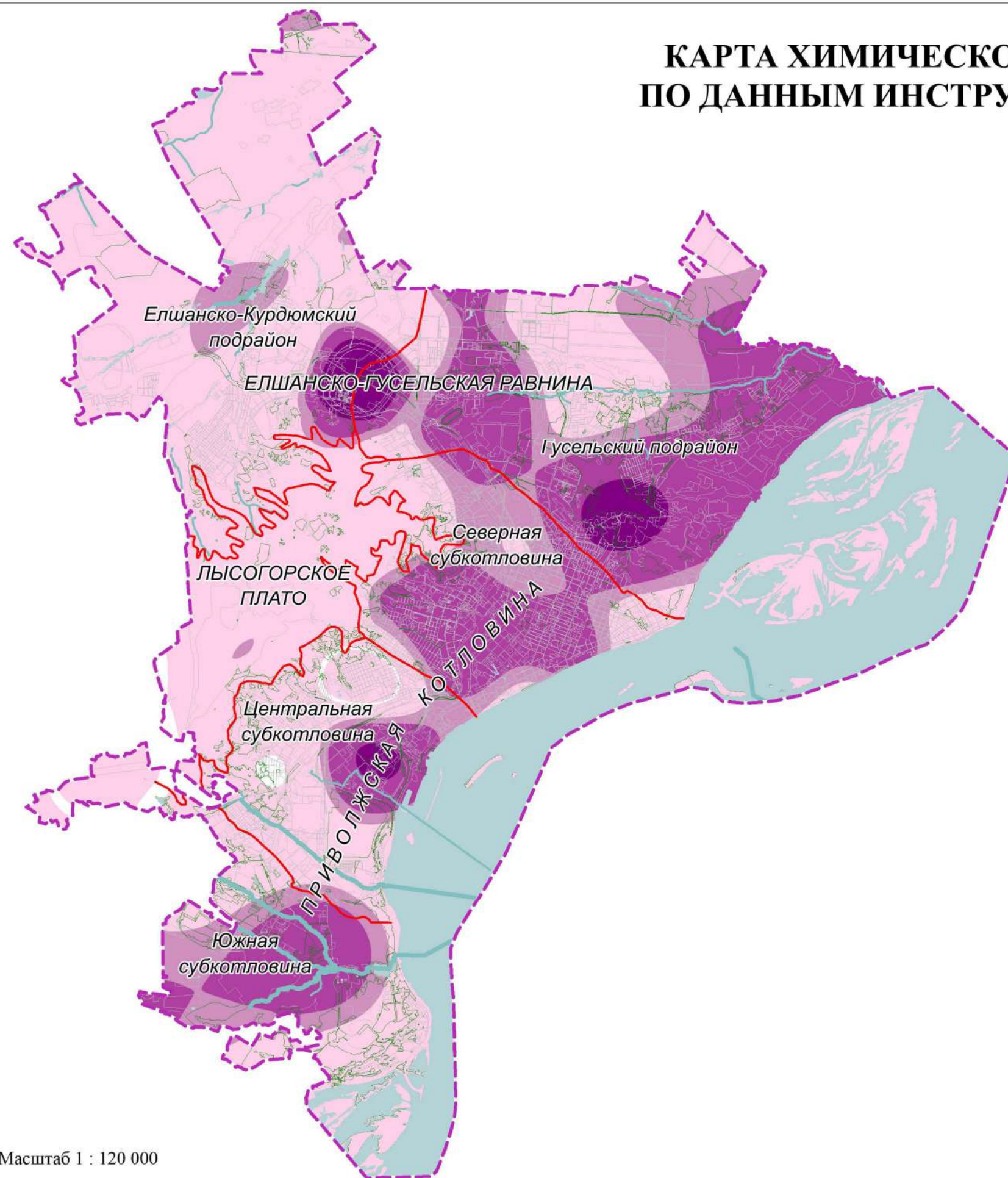
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Количество взвешенных веществ
(кратность превышения ПДК)



Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗАМЕРОВ В 2013 Г.



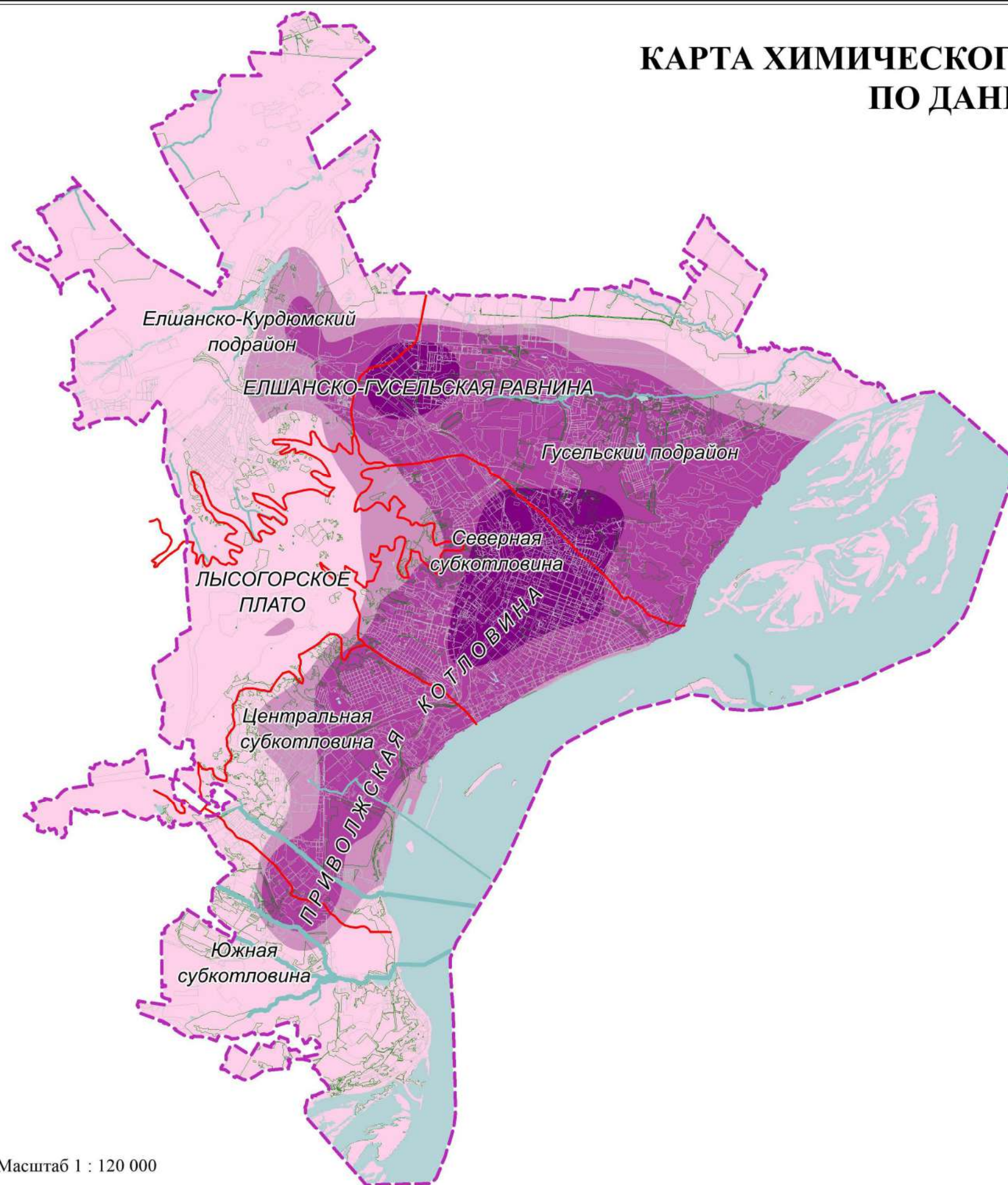
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)



Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПНЗ В 1992 Г.



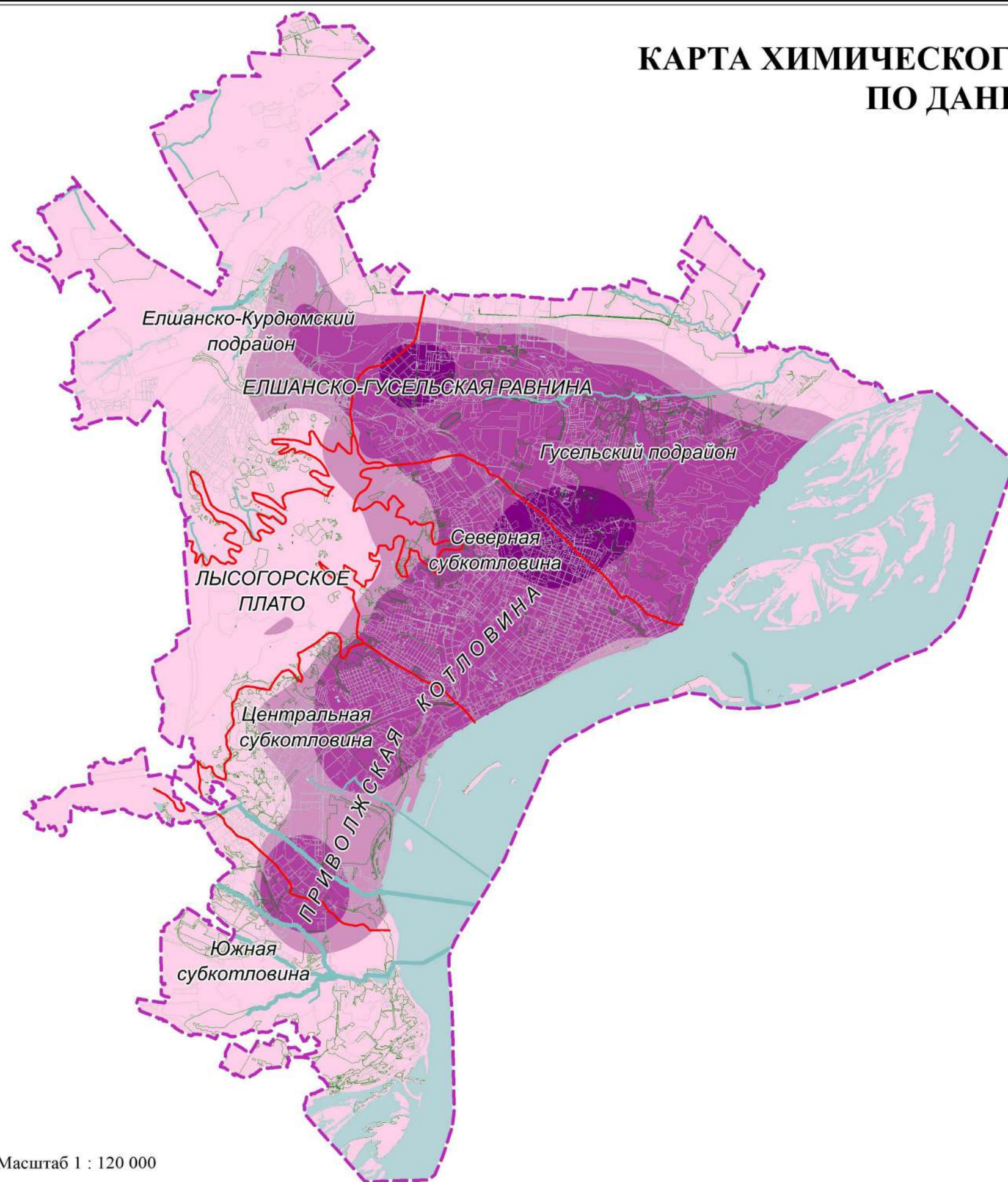
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)

	очень высокий, ИЗА более 14
	высокий, ИЗА 7-14
	повышенный, ИЗА 5-6
	низкий, ИЗА менее 5

Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПНЗ В 1993 Г.



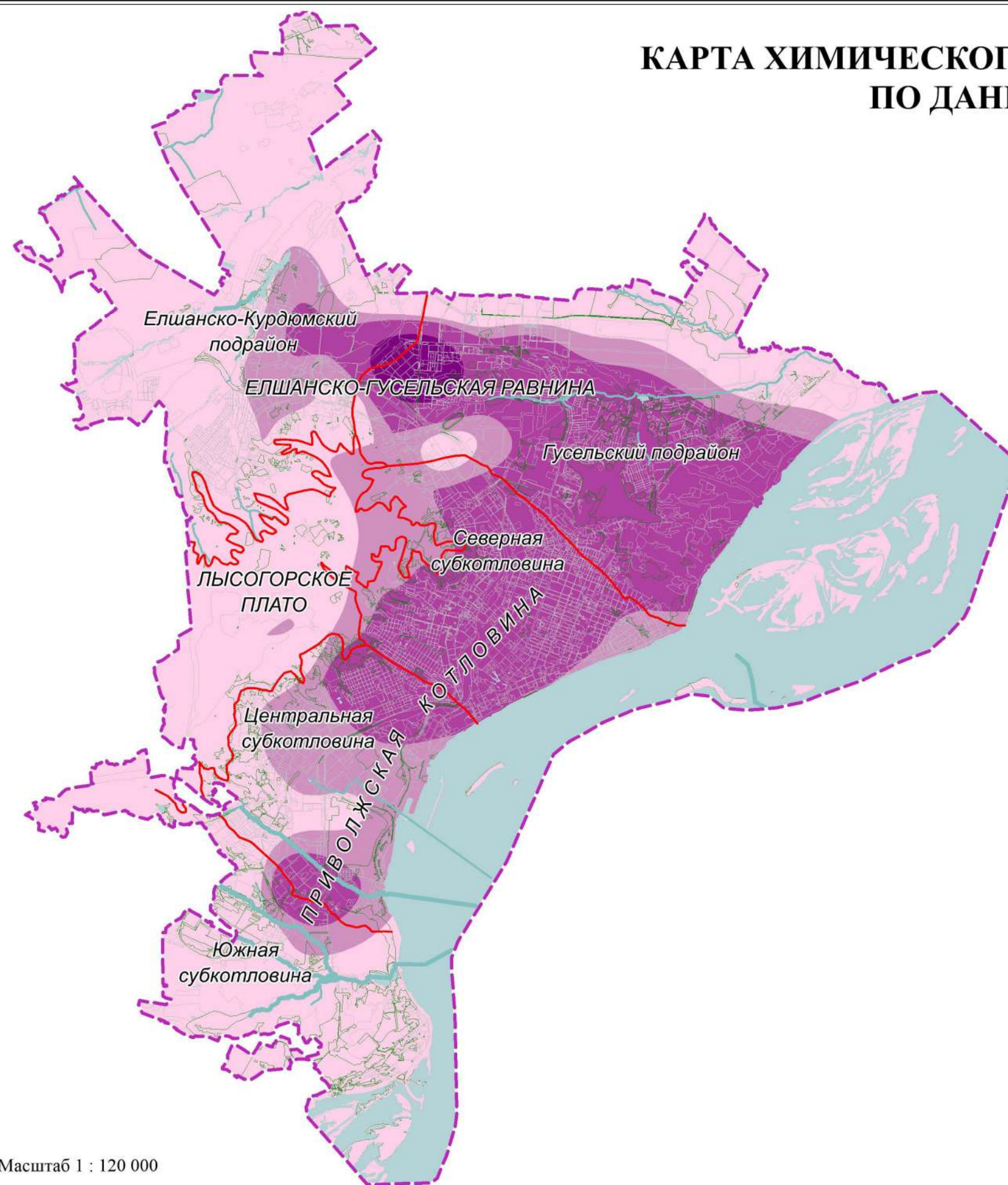
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)

	очень высокий, ИЗА более 14
	высокий, ИЗА 7-14
	повышенный, ИЗА 5-6
	низкий, ИЗА менее 5

Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПНЗ В 1994 Г.



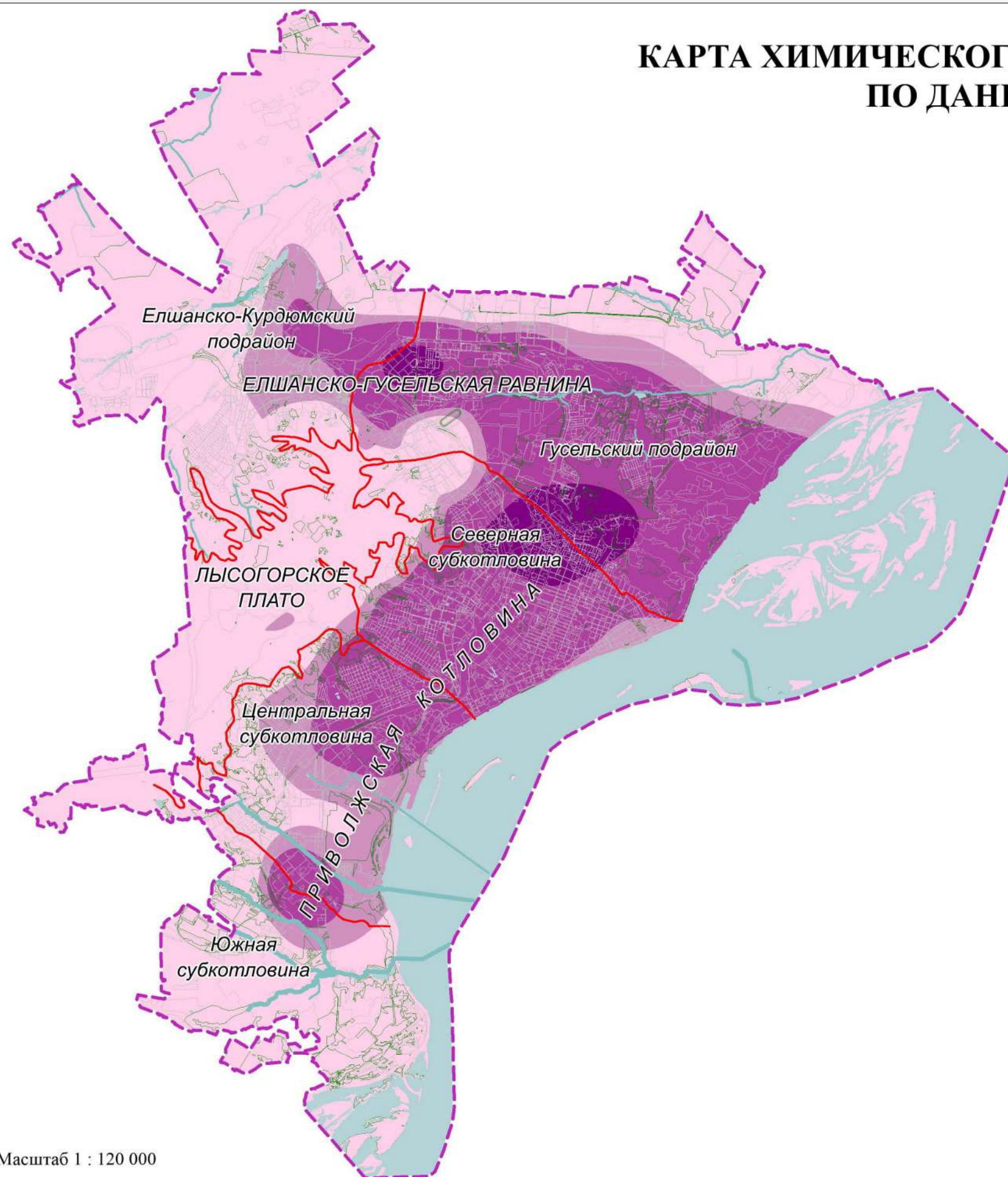
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)

	очень высокий, ИЗА более 14
	высокий, ИЗА 7-14
	повышенный, ИЗА 5-6
	низкий, ИЗА менее 5

Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПНЗ В 1995 Г.



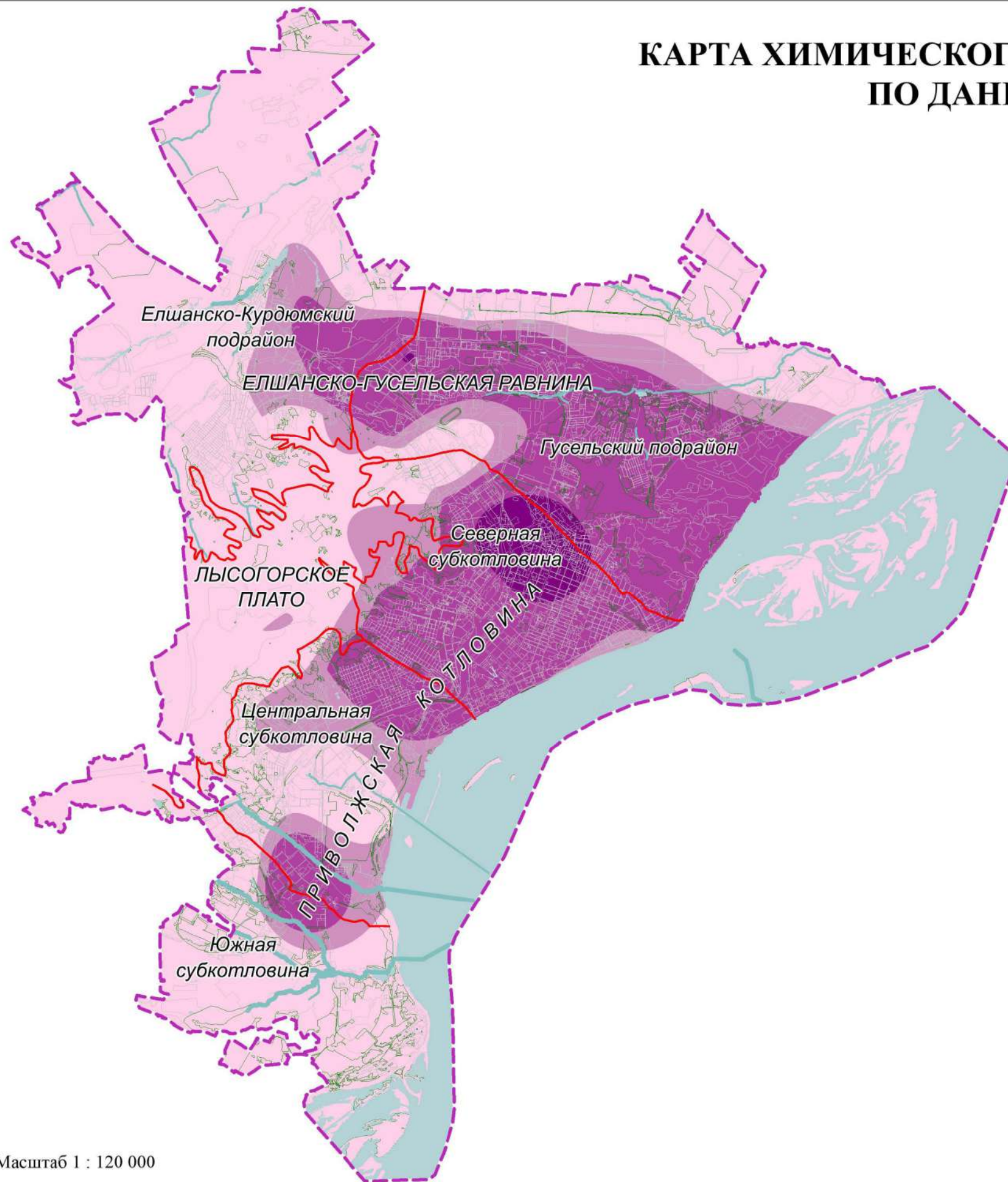
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)

	очень высокий, ИЗА более 14
	высокий, ИЗА 7-14
	повышенный, ИЗА 5-6
	низкий, ИЗА менее 5

Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПНЗ В 1996 Г.



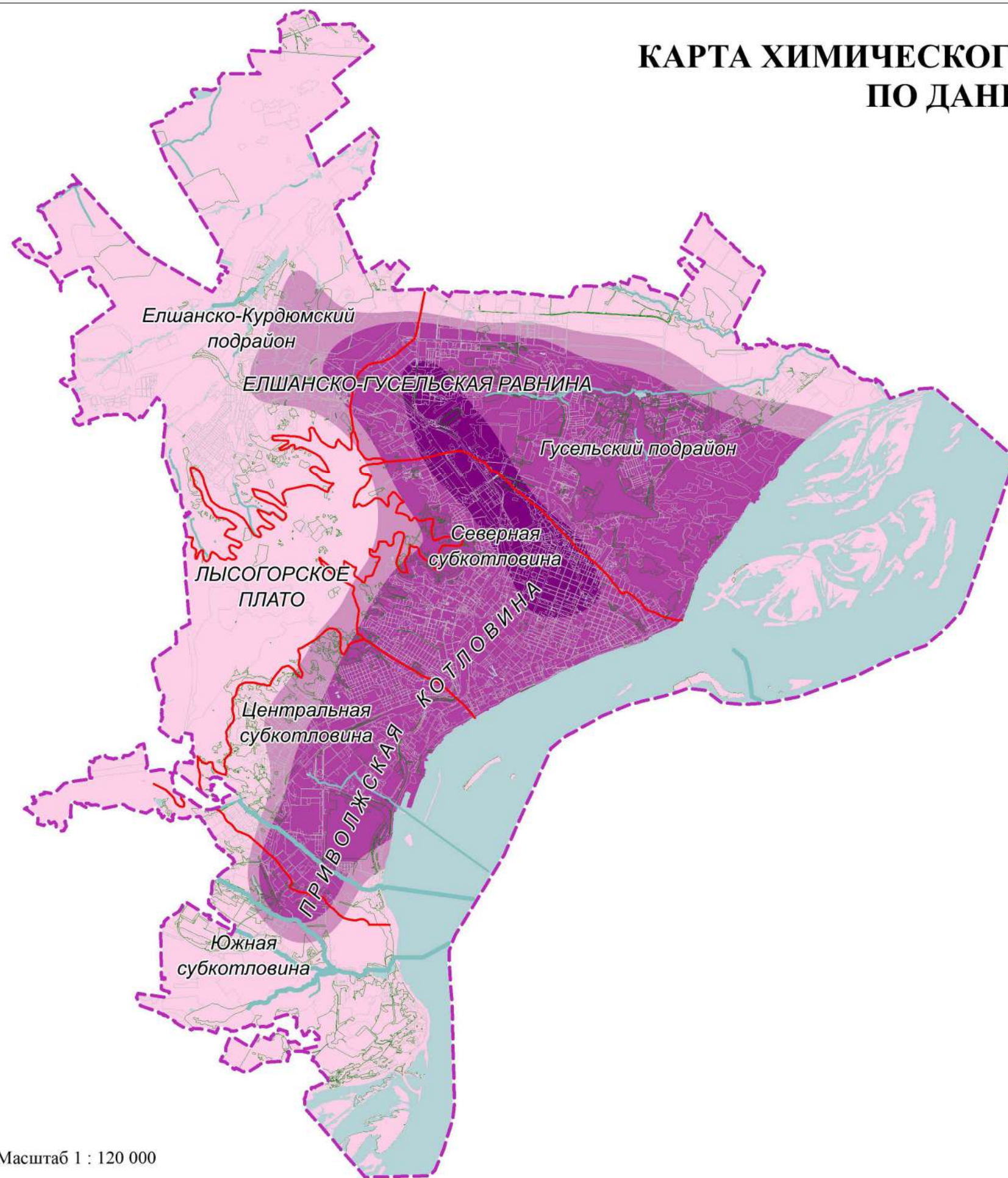
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)

	очень высокий, ИЗА более 14
	высокий, ИЗА 7-14
	повышенный, ИЗА 5-6
	низкий, ИЗА менее 5

Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПНЗ В 2020 Г.



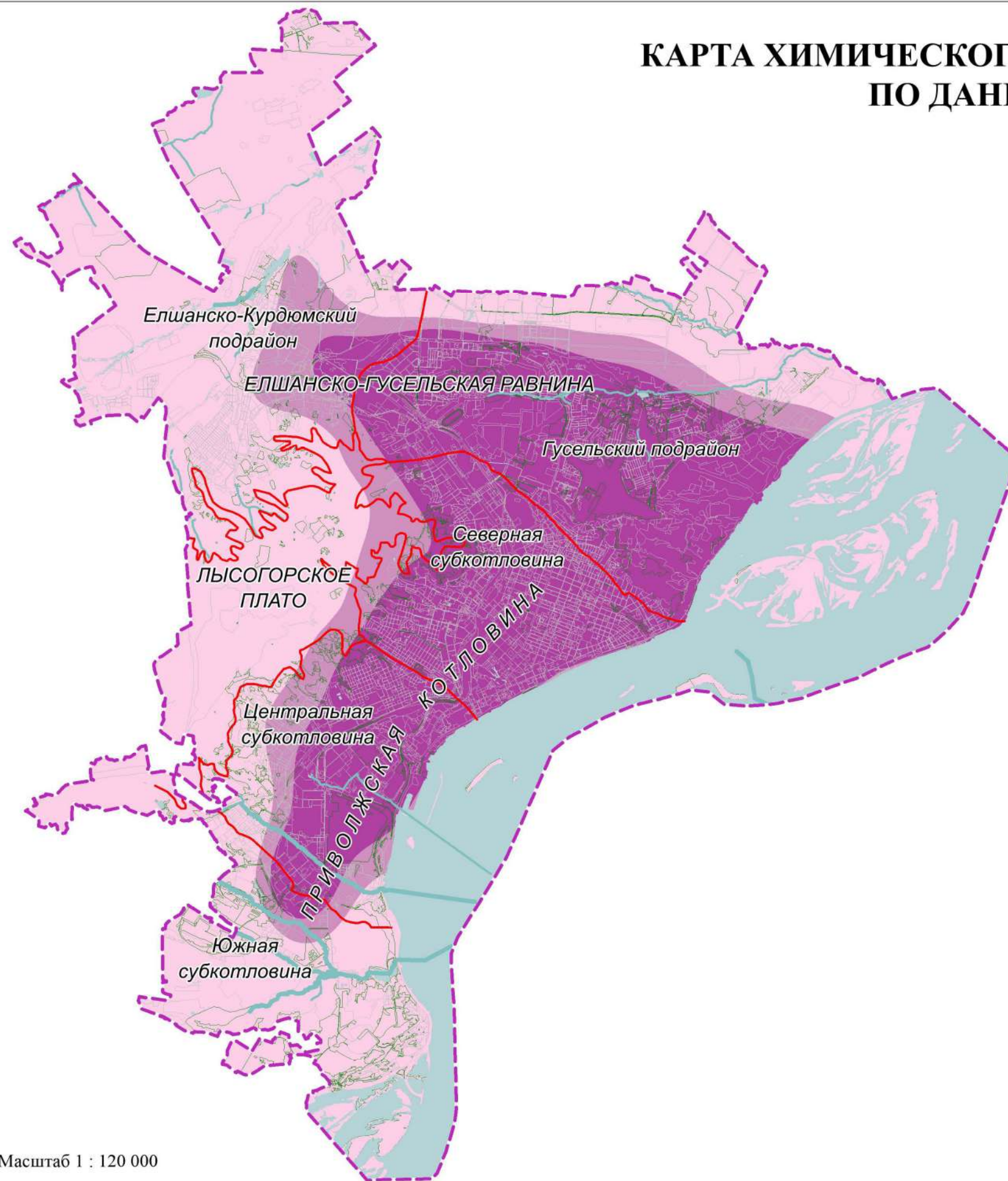
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)

	очень высокий, ИЗА более 14
	высокий, ИЗА 7-14
	повышенный, ИЗА 5-6
	низкий, ИЗА менее 5

Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПНЗ В 2021 Г.



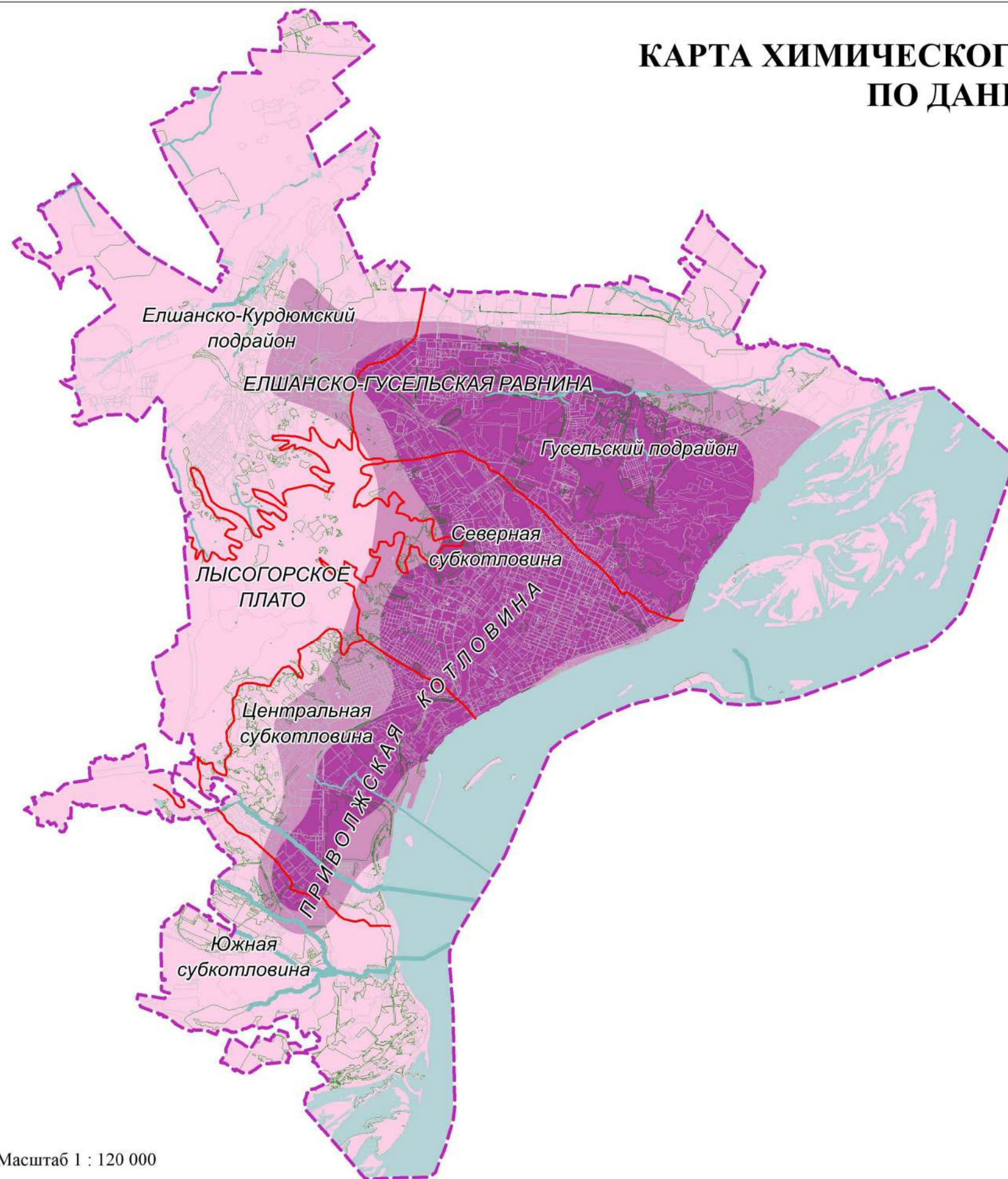
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)



Масштаб 1 : 120 000

КАРТА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПНЗ В 2022 Г.



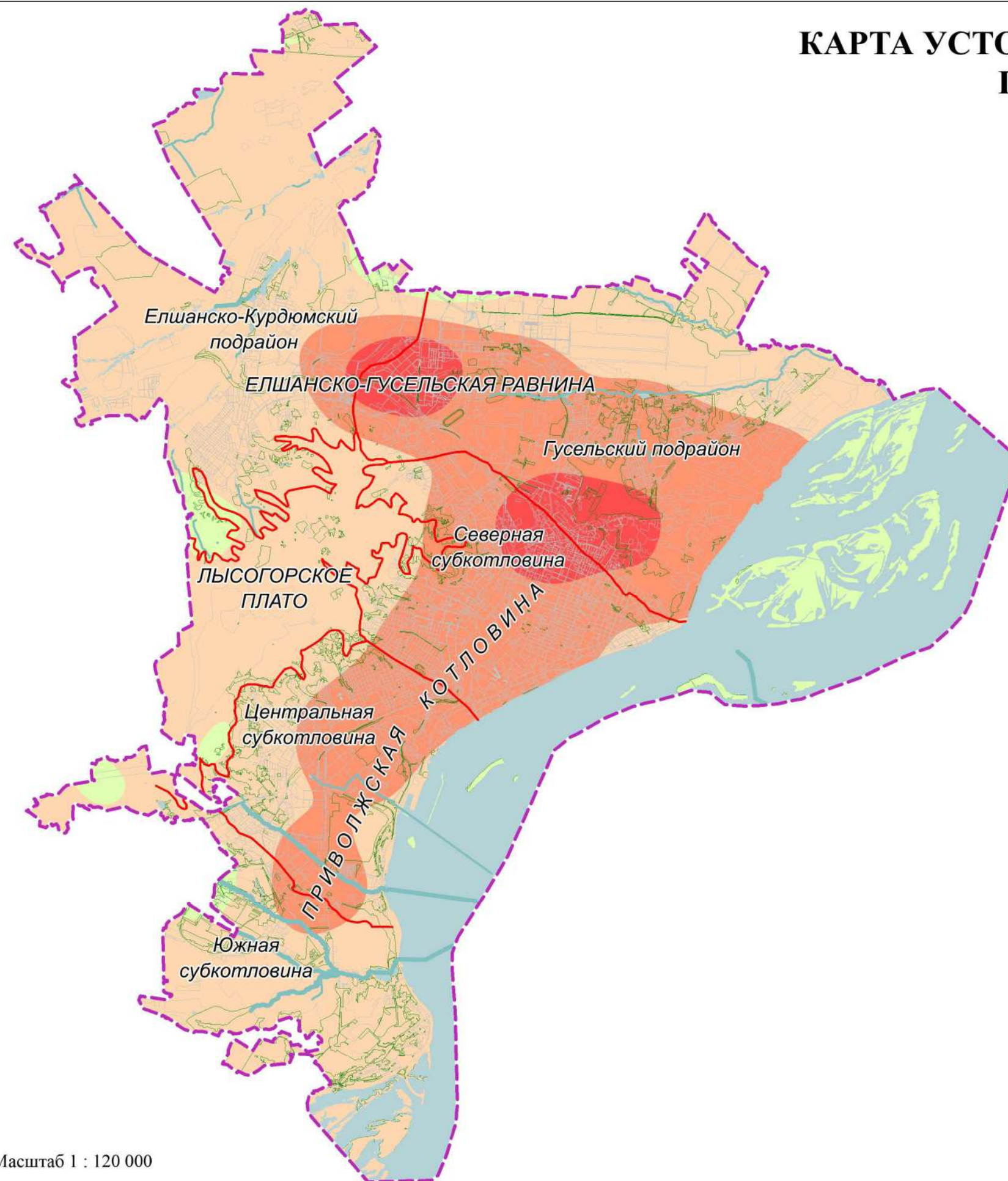
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
основными загрязнителями
(значение ИЗА)

	высокий, ИЗА 7-14
	повышенный, ИЗА 5-6
	низкий, ИЗА менее 5

Масштаб 1 : 120 000

КАРТА УСТОЙЧИВЫХ ОРЕОЛОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОГО ВОЗДУХА



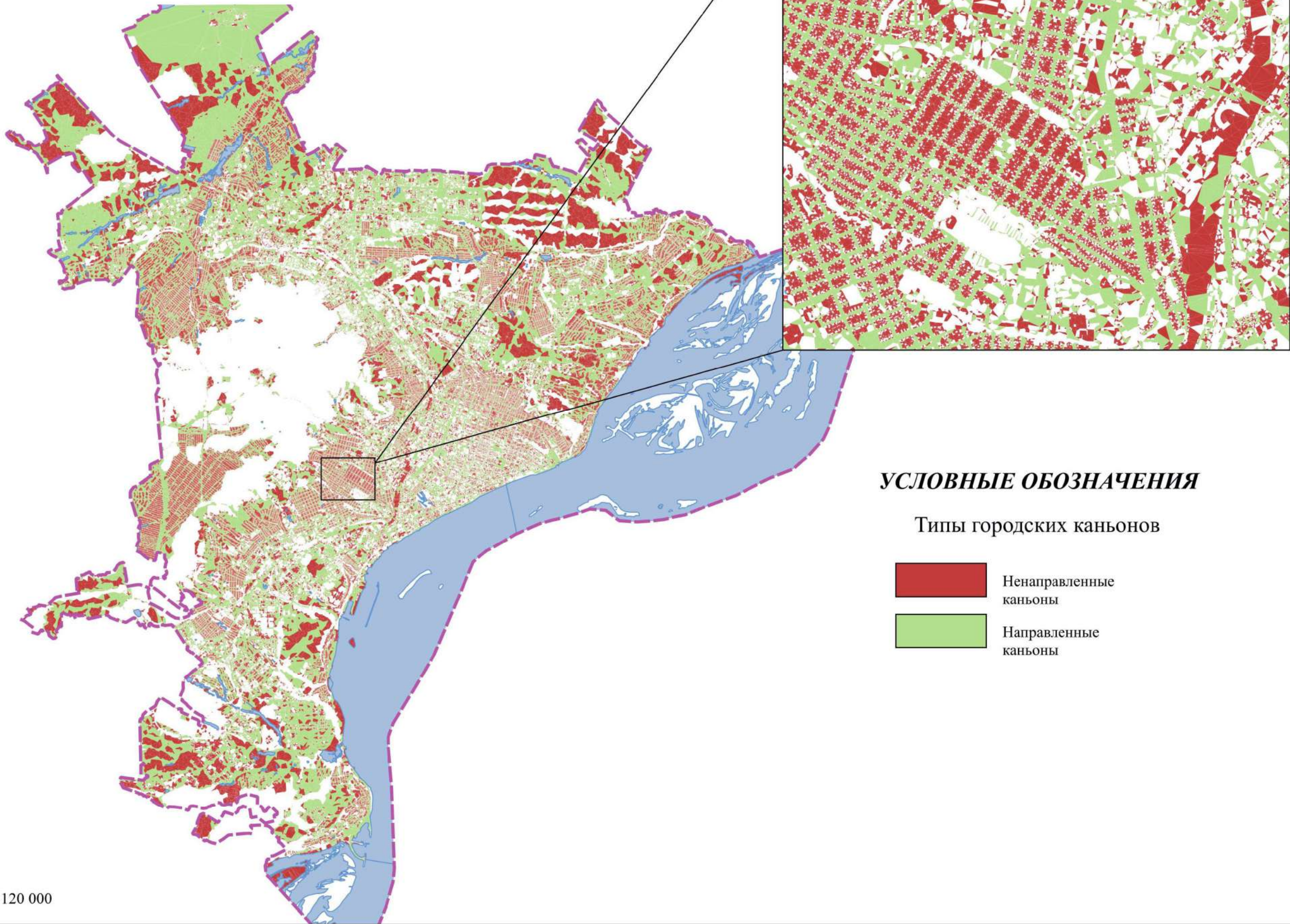
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы
(по данным многолетних наблюдений)

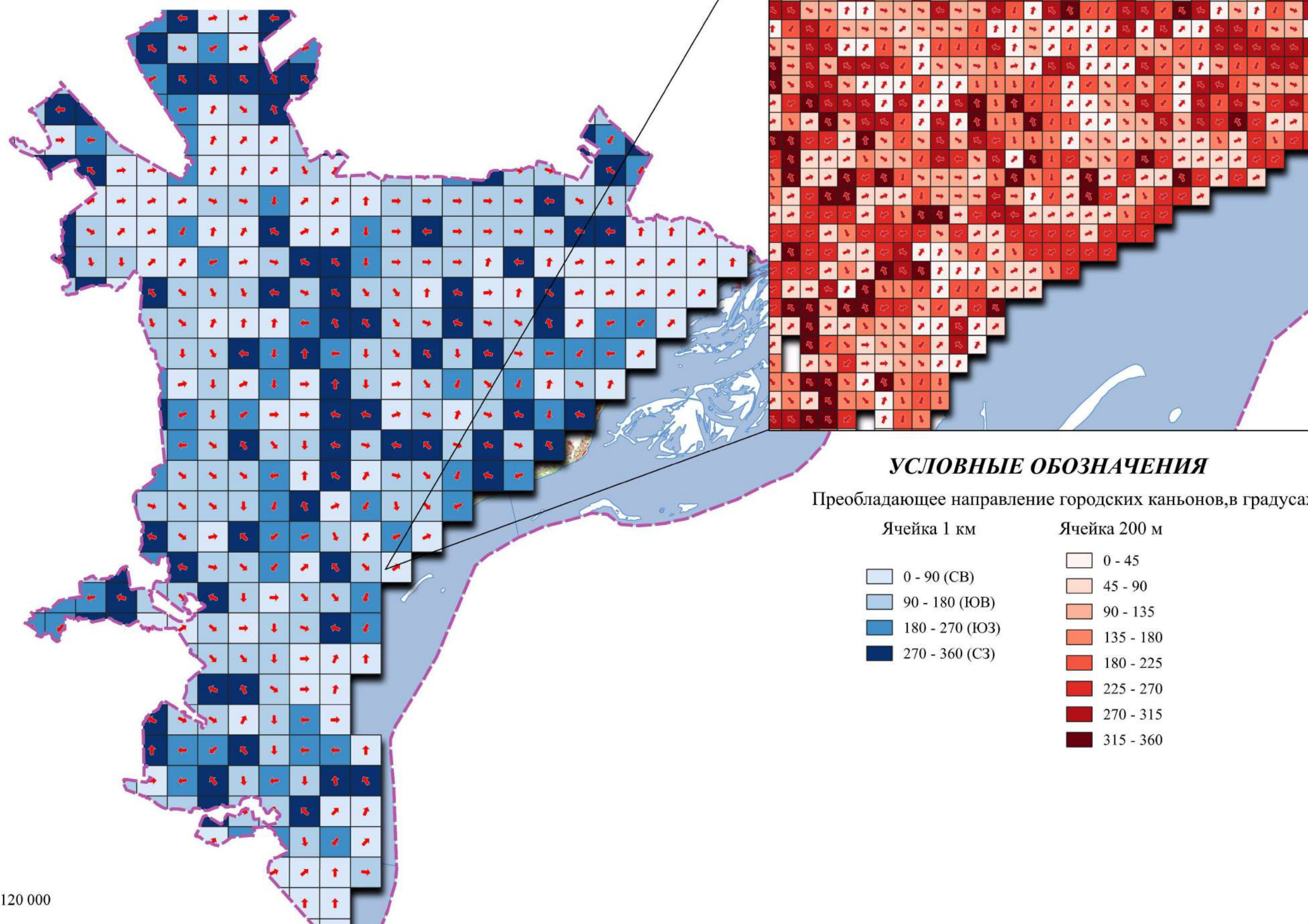


Масштаб 1 : 120 000

ТИПЫ ГОРОДСКИХ КАНЬОНОВ

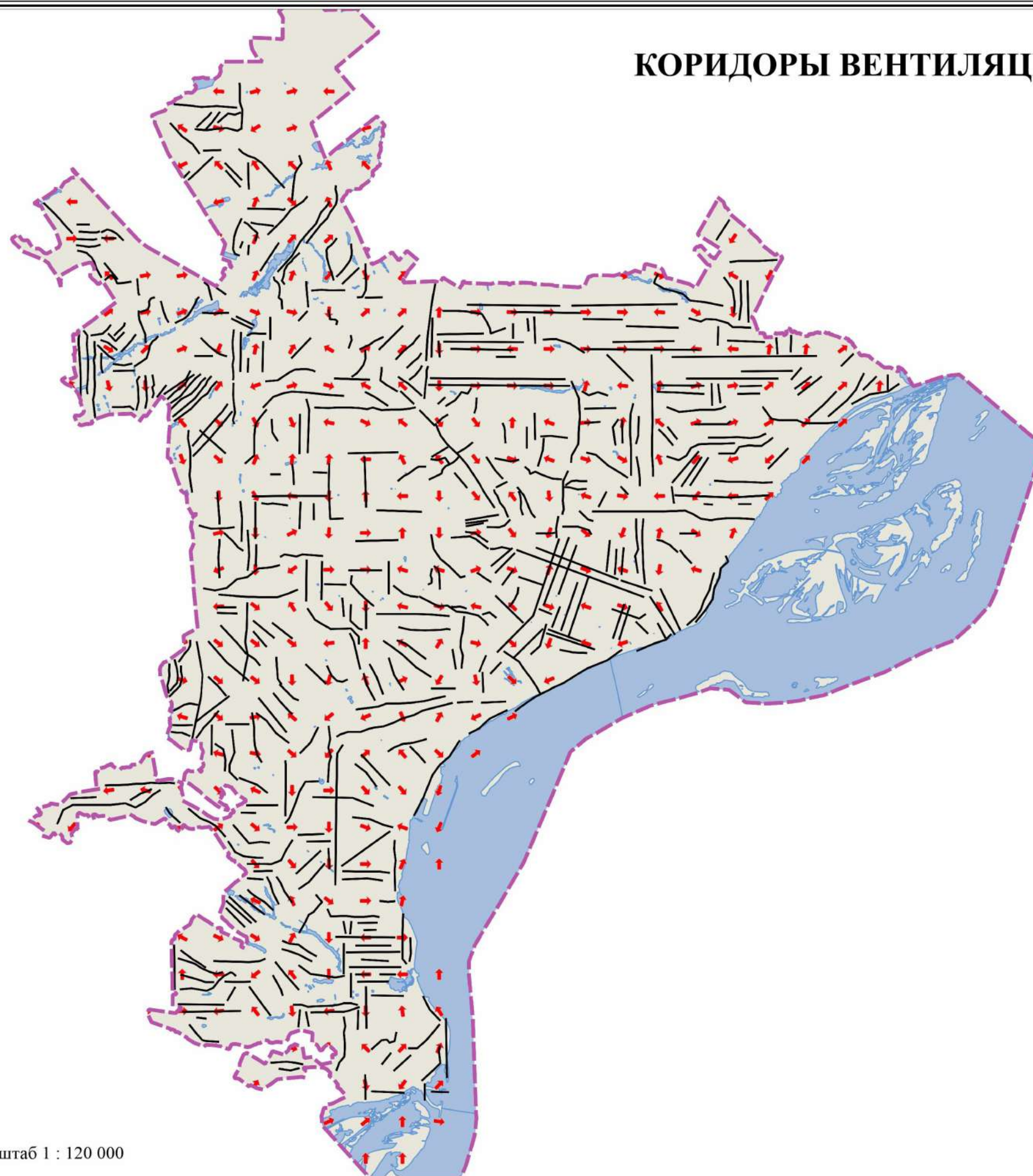


Масштаб 1 : 120 000



Масштаб 1 : 120 000

КОРИДОРЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

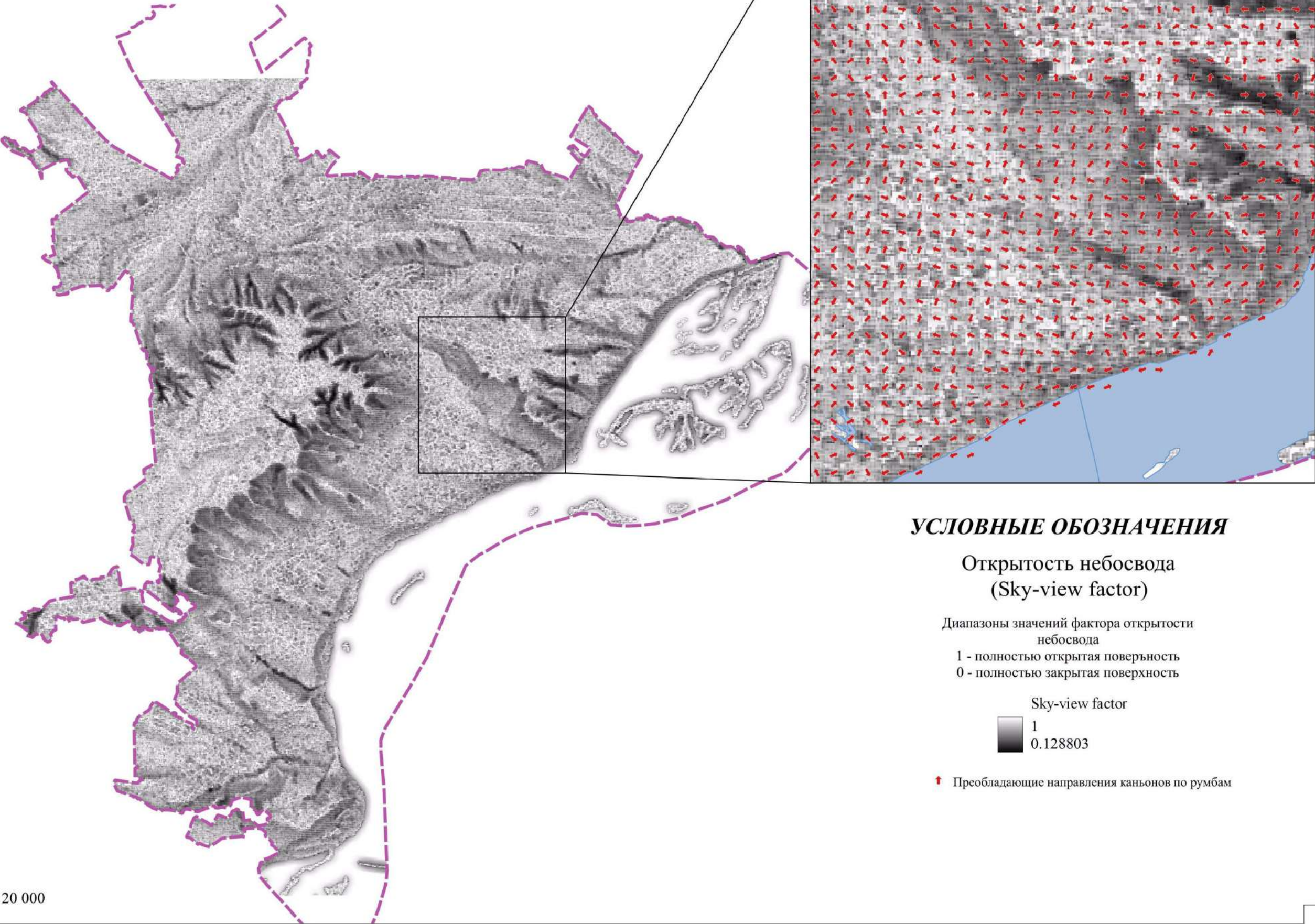
Преобладающее направление городских каньонов

— Корридоры вентиляции

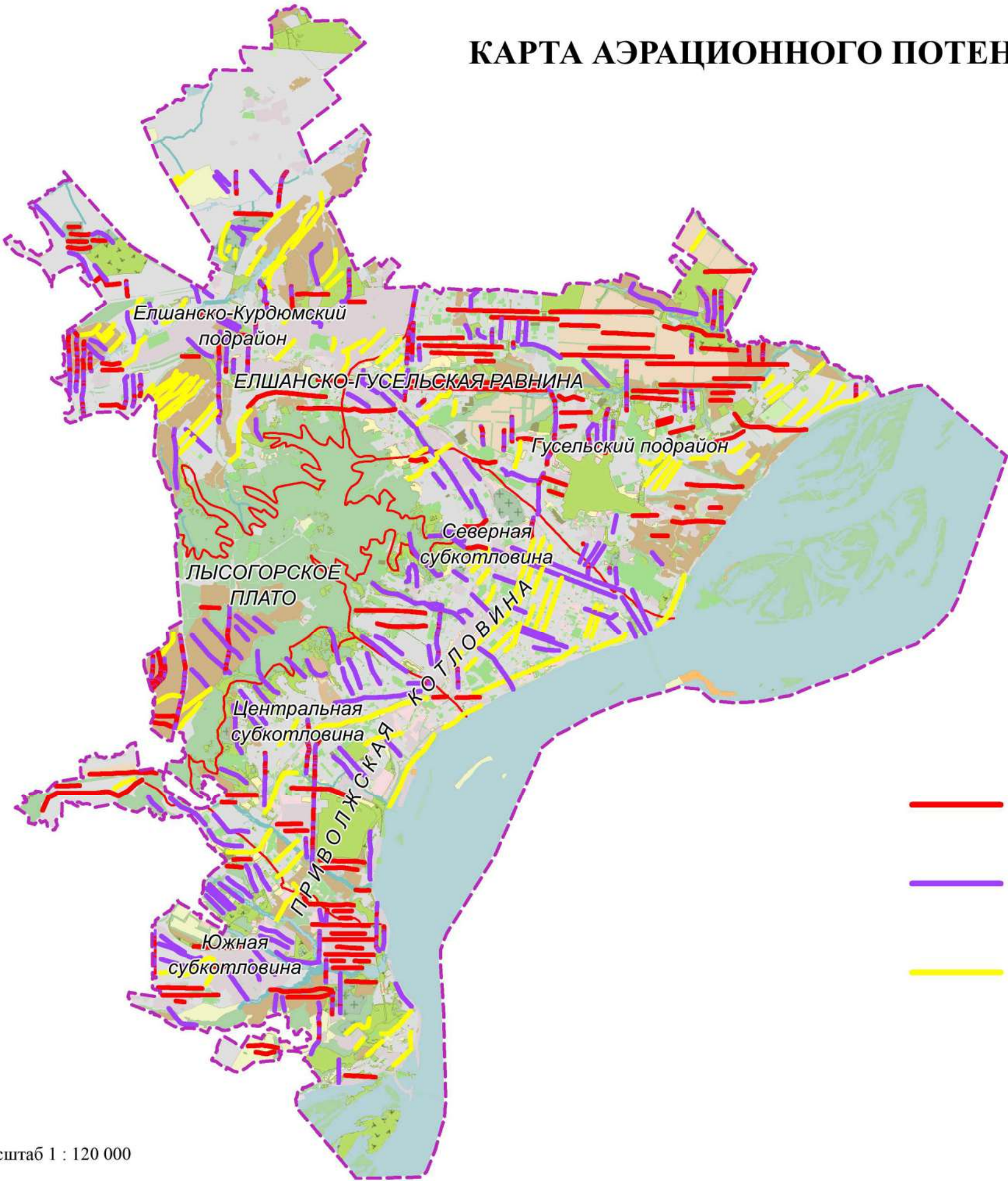
↑ Преобладающее направление каньонов

Масштаб 1 : 120 000

ИНДЕКС ОТКРЫТОСТИ НЕБОСВОДА



КАРТА АЭРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ



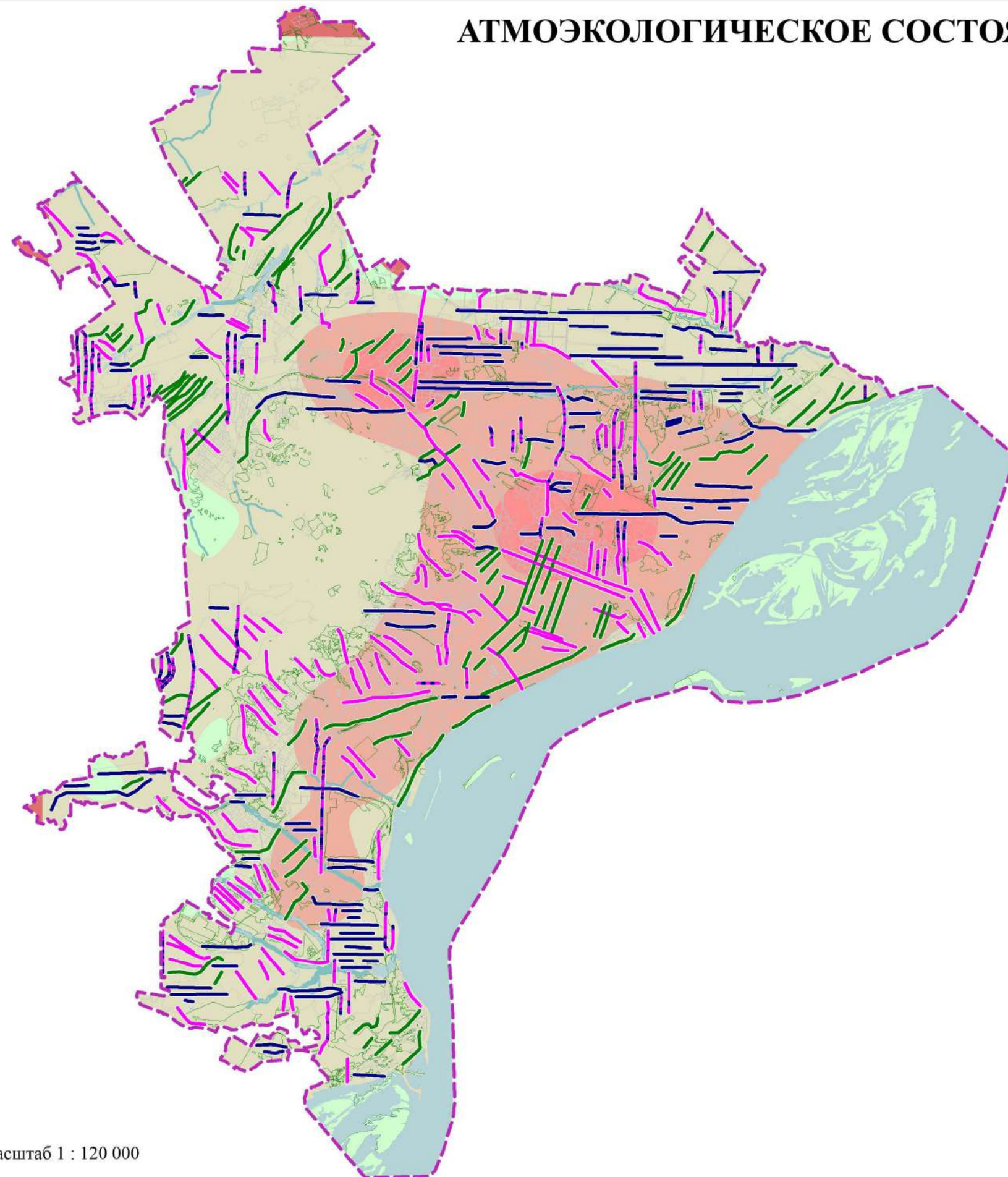
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Аэрационный потенциал городской застройки

- высокий: макроканьоны, хорошо продуваемые при ветрах преобладающих (западных и восточных) направлений
- средний: макроканьоны, умеренно продуваемые при ветрах всех направлений
- низкий: макроканьоны, препятствующие движению воздушных масс при ветрах преобладающих направлений (западных и восточных) и умеренно продуваемые при прочих направлениях ветра

Масштаб 1 : 120 000

АТМОСФЕРНОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Уровень загрязнения атмосферы

- очень высокий
- высокий
- умеренный
- низкий

Аэрационный потенциал городской застройки

- высокий
- средний
- низкий

Масштаб 1 : 120 000

УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АТМОСФЕРЫ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Естественный потенциал проветриваемости

- высокий
- умеренный
- низкий
- очень низкий

Уровень загрязнения атмосферы

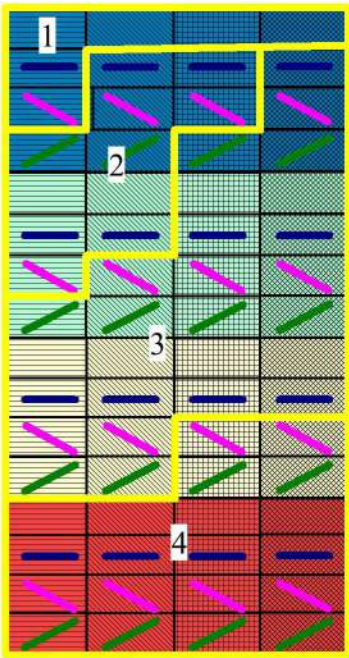
- очень высокий
- высокий
- умеренный
- низкий

Аэрационный потенциал городской застройки

- высокий
- средний
- низкий

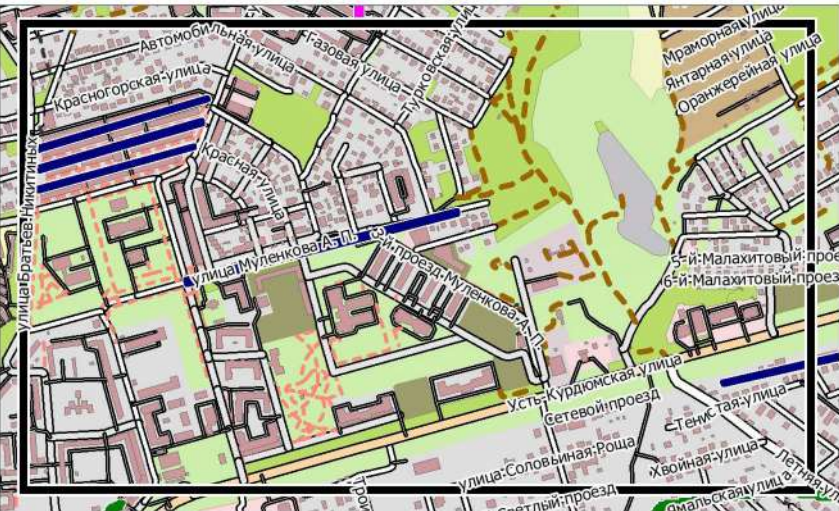
Зонирование территории по степени устойчивости к загрязнению атмосферы

загрязнение атмосферы

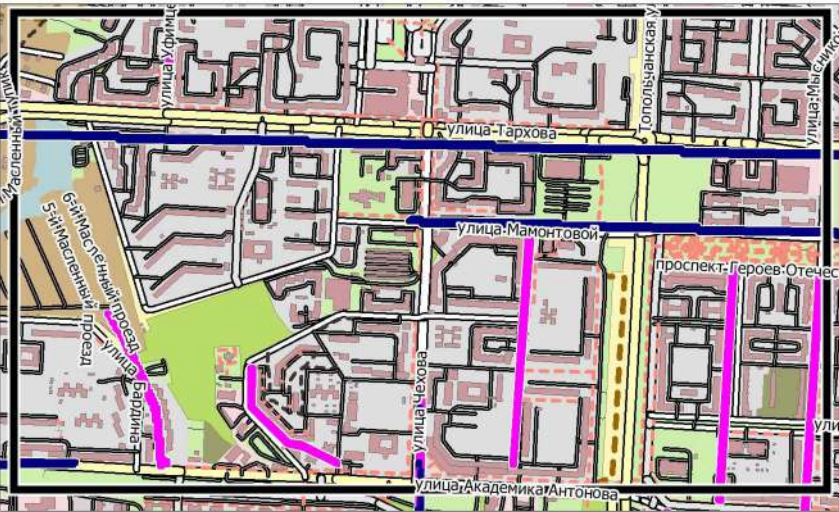


Зоны:

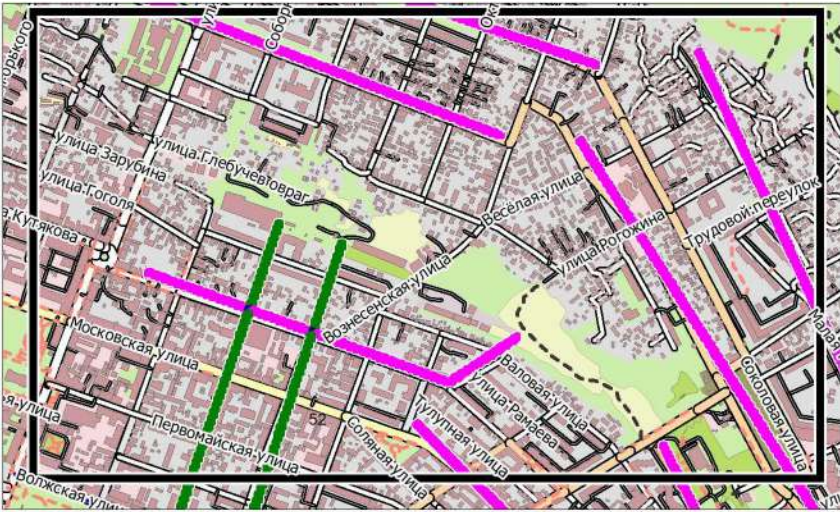
- 1. Высокоустойчивые
- 2. Устойчивые
- 3. Неустойчивые
- 4. Крайне неустойчивые



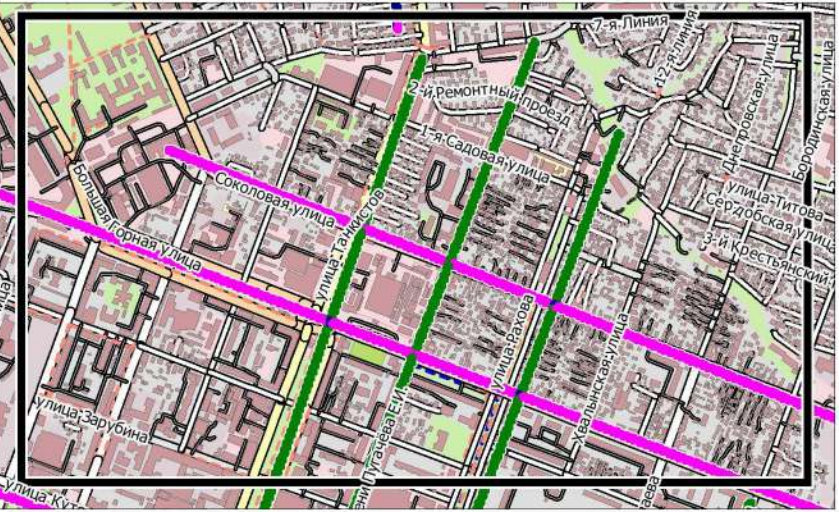
Пример 1. Территория, относящаяся к зоне 1 - высокоустойчивой к загрязнению атмосферы. Микрорайон "Юбилейный", район ЖК "Изумрудный". Масштаб 1 : 18 000



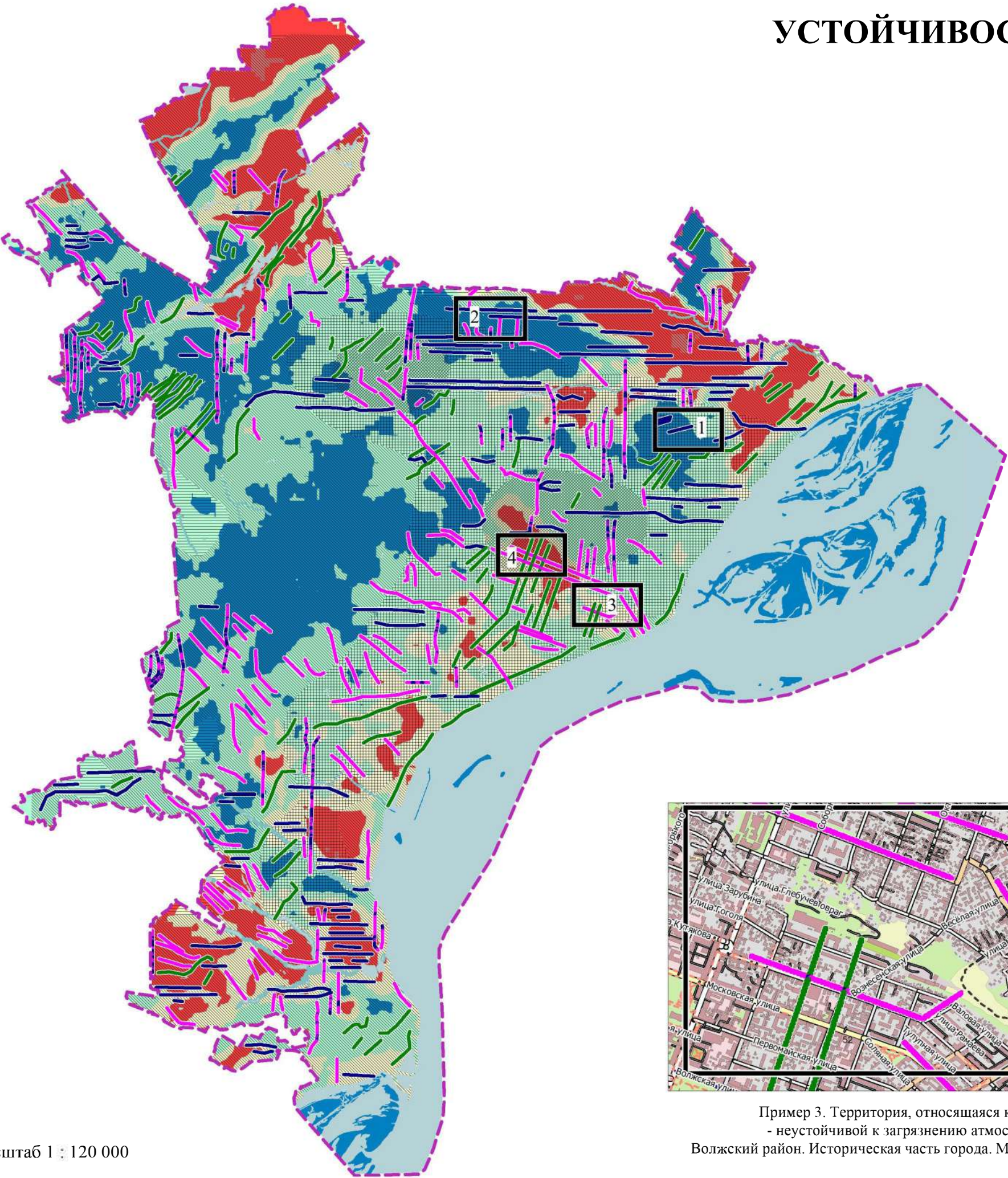
Пример 2. Территория, относящаяся к зоне 2 - устойчивой к загрязнению атмосферы. Микрорайон "Солнечный". Масштаб 1 : 18 000



Пример 3. Территория, относящаяся к зоне 3 - неустойчивой к загрязнению атмосферы. Волжский район. Историческая часть города. Масштаб 1 : 18 000



Пример 4. Территория, относящаяся к зоне 4 - крайне неустойчивой к загрязнению атмосферы. Кировский район (район Сенного рынка, Пугачевский поселок, улица Танкистов). Масштаб 1 : 18 000



Масштаб 1 : 120 000