

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИКРОКЛИМАТА И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА ИНДУСТРИАЛЬНО-РАЗВИТЫХ ГОРОДОВ ГЕРМАНИИ И РОССИИ

С. А. Куролап, Л. Катцшнер, А. Катцшнер, Р. Бюргхардт, И. В. Добрынина, Д. Р. Владимиров

*Воронежский государственный университет, Россия  
Кассельский университет, Институт экологической метеорологии, Германия*

*Поступила в редакцию 12 июля 2011 г.*

**Аннотация:** На примере крупных городов Германии (Кассель, Фрайбург) и России (Воронеж) проведены комплексные микроклиматические наблюдения и анализ закономерностей формирования очагов аэрогенного загрязнения окружающей среды. Установлено, что на городской микроклимат существенное влияние оказывают термические, ветровые характеристики, тип городской застройки и характер подстилающей поверхности. Для оценки теплового комфорта немецкими учеными применен биометеорологический индекс («РЕТ»), характеризующий эквивалент теплового комфорта для человека, находящегося в уличных условиях, послуживший основой создания микроклиматической карты г. Кассель. На примере г. Воронежа установлены 3 типа сезонной динамики загрязнения атмосферы по преобладающему характеру городской застройки: селитебно-промышленный, селитебно-транспортный, селитебно-рекреационный. Наибольший вклад в загрязнение воздушного бассейна вносят промышленно-транспортные зоны в летне-осенние сезоны, а лучшими «индикаторами» сезонного загрязнения атмосферы служат диоксид азота и формальдегид.

**Ключевые слова:** экологическая оценка, микроклимат, атмосферный воздух, загрязнение, городская среда.

**Abstract:** On the example of the large cities in Germany (Kassel, Freiburg) and Russia (Voronezh), complex microclimatic observations and analysis of regularities of formation of centres of aerogenic pollution have been carried out. It is established that the urban microclimate is significantly influenced by thermal, wind characteristics, the type of urban development and nature of the underlying surface. To evaluation of the thermal comfort German scientists used biometeorological index («РЕТ»), which characterizes the equivalent of thermal comfort for a person in the street conditions, served as a basis on creation a microclimate map of Kassel city. On the example of Voronezh city three types of seasonal variations of atmospheric pollution in the predominant character of urban development: residential-industrial, residential-transport, residential-recreational have been revealed. The industrial-transport zones in summer and autumn seasons have a greatest effect on air pollution. The best «indicators» of seasonal air pollution are nitrogen dioxide and formaldehyde.

**Key words:** ecological estimation, microclimate, atmospheric air, pollution, the urban environment.

Экологические проблемы большинства современных городов во многом связаны с качеством воздушного бассейна в условиях интенсивного техногенного загрязнения. На рубеже XX-XXI веков усиление процессов урбанизации проявилось в уплотнении городской застройки, росте загрязнения атмосферы, снижении аэрации городских территорий, что усугубляется на фоне современных глобальных и региональных климатических

изменений, в частности, «потепления» климата и тенденции к росту аномально жарких летних дней на территории Европы и Центральной России [4, 7]. На фоне этой неблагоприятной тенденции увеличивается заболеваемость и преждевременная смертность населения, а создание климатически комфортной среды обитания становится важнейшей задачей жизнеобеспечения городов.

В ходе совместных российско-немецких исследований по международному научному проекту «Global Climate Change and its effect on Urban

© Куролап С. А., Катцшнер Л., Катцшнер А., Бюргхардт Р., Добрынина И. В., Владимиров Д. Р., 2011

*Climate, Air Pollution and Thermal comfort* («Глобальное изменение климата и эффекты его воздействия на городской климат, загрязнение атмосферы и тепловой комфорт») на примере индустриально-развитых городов Западной Германии (Кассель, Фрайбург) и Центральной России (Воронеж) проведено изучение термического комфорта, закономерностей формирования микроклимата и очагов аэрогенного загрязнения городских территорий как основы современной градостроительной политики, направленной на повышение комфортности и безопасности среды обитания. Выбранные модельные города достаточно крупные индустриальные центры с развитой архитектурно-планировочной организацией, многочисленными объектами промышленности, транспорта, бизнеса и жилищной инфраструктуры, создающими экологические проблемы.

Методология исследований базируется на положениях о том, что в городе, в условиях неоднородного рельефа, комбинированной застройки в комплексе с зелеными насаждениями, водоемами и другими элементами архитектурно-планировочной структуры создаются особые микроклиматические условия, связанные с понижением скоростей ветра, повышением температур воздуха, снижением испарения из-за асфальтовых покрытий, что приводит к возникновению «островов тепла» и способствует росту загрязнения воздуха, снижающего комфорт жизнеобеспечения [1, 5, 6, 7].

Основой изучения микроклимата служили натурные инструментальные исследования экологического состояния атмосферы на территориях модельных городов в теплый сезон (май-сентябрь),

при типичных для каждого месяца синоптических ситуациях, когда фоновые параметры максимально соответствовали среднегодовым характеристикам. Изменялись температурно-влажностные, радиационные и ветровые характеристики на расстоянии 1,5 м от поверхности земли. Исследования проведены в течение 2008-2010 гг. по системе экспериментальных площадок (опорных точек наблюдений) в условиях различной застройки, плотности озеленения и различных форм рельефа.

В городах Касселе и Фрайбурге систематически охвачена наблюдениями вся территория, а в г. Воронеже детально исследован левобережный сектор города (около 50 опорных точек наблюдений). Измерения метеорологических параметров проводились с использованием специализированного оборудования. В Германии многие годы применяют мобильную метеостанцию (рис. 1), адаптированную к компьютерной обработке фиксируемых параметров микроклимата, прежде всего, температуры, влажности воздуха, направления и скорости ветра, солнечной радиации. Причем, экспериментальные наблюдения дополнительно подкреплялись результатами социологических опросов населения (учитывали территории, где выше людность, например, в общественных местах, на открытых площадях и т.д.), чтобы сопоставить субъективное восприятие городского микроклимата с объективной оценкой термического режима.

В г. Воронеже микроклиматические наблюдения были проведены с помощью отечественного портативного прибора – метеометра «МЭС-2» (рис. 2), способного в автоматическом режиме определять температуру, относительную влажность

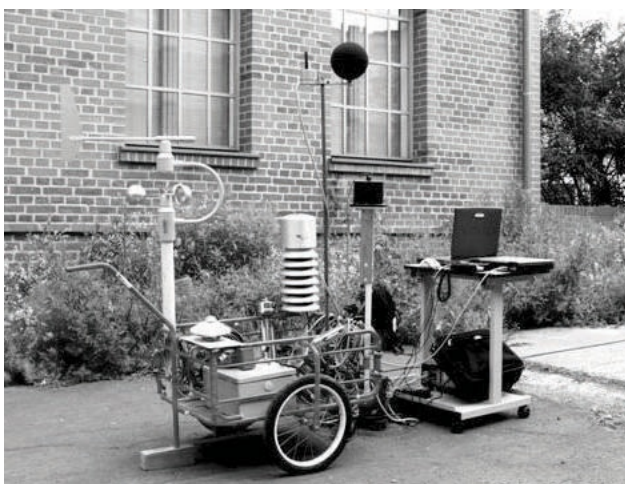


Рис. 1. Передвижной комплекс для микроклиматических наблюдений (мобильная метеостанция)



Рис. 2. Портативный прибор для микроклиматических наблюдений (метеометр «МЭС-2»)

воздуха, скорость ветра и атмосферное давление (рабочий диапазон позволяет проводить измерения только в теплое время года).

Исследования в городах Кассель (численность – около 200 тыс. жителей) и Фрайбург (численность – около 220 тыс. жителей) направлены на анализ микроклимата и создание карт термического комфорта городской среды. Это новое направление в урбэкологии получило развитие еще в 70-х гг. прошлого столетия как «концепция городского климатического картографирования» (ГКК), активно разрабатываемая в настоящее время L. Katzschner, U. Wang, M. Rötgen и другими немецкими учеными [5, 6, 7].

Карты создаются в специальном 2D-формате с помощью геоинформационных технологий (ENVI-met, ArcView) путем математико-картографического синтеза различных климатических параметров: температуры, направления и скорости ветра, параметров солнечной радиации, а также информации об особенностях рельефа, характере подстилающей поверхности, объемных размеров зданий, характеристик улично-дорожной сети, плотности озеленения. Созданные этим методом карты иллюстрируют влияние городской застройки на термический режим, особенности аэрации, а также циркуляции воздушных масс в урбанизированной среде [6, 7]. Моделирование осуществляется с помощью специальной ГИС-модели, которая разбивает город на пространственные ячейки, для каждой из которых рассчитываются тепловые индексы. Дальнейший алгоритм заключается в комбинировании тематических картографических ГИС-слоев: термического, топографического, систем застройки, озеленения и некоторых других, позволяющих рассчитывать интегральный индекс климатического потенциала территории города.

Проведенные в городах Германии исследования позволили установить следующие закономерности.

1. На городской микроклимат существенное влияние оказывают условия аккумуляция тепла, тепловой баланс и неоднородность подстилающей поверхности, количественные оценки которых служат вводными параметрами для создания карт климатического комфорта. Тепловой баланс поверхности определяет скорость ее охлаждения или аккумуляции тепла.

2. Здания оказывают существенное влияние на аккумуляцию тепла, что приводит к формированию на территории городов «островов тепла» (осо-

бенно важны объемные параметры здания, т.е. высота, длина, ширина строений, а также плотность и параметры материалов и ограждающих конструкций).

3. Топографическая структура города, склоновый рельеф и характер подстилающей поверхности (асфальтированные улицы, открытые площади, водные акватории, озеленение и др.) формируют «вертикальный ветровой профиль», который в сочетании с термическими условиями формирует климатический потенциал города в целом.

При математико-картографическом моделировании для каждого ГИС-слоя устанавливаются «весовые» индексы, характеризующие его значимость: чем выше «вес», тем больше значимость (таблица). Причем объем здания (для расчета теплового баланса) и открытость пространства для продувания имеют самые высокие «весовые» индексы, поскольку эти факторы определяют термическую комфортность среды в теплый период [6].

Микроклиматическая карта г. Кассель показана на рис. 3, где интенсивность «тоновой заливки» характеризует различные условия аккумуляции тепла, термического режима, а также параметры движения воздуха с учетом характера застройки и подстилающей поверхности (сочетание термического и аэрационного режимов). На карте фрагментами показаны 3 основные категории микроклиматических условий: 1) наиболее благоприятный микроклимат, который в летнее время формируется на «окраинных» территориях, а также в районах, где присутствуют элементы природного комплекса (водоемы, зеленые насаждения); 2) удовлетворительный микроклимат с элементами дневного перегрева, но вполне комфортный ночью («буферные» территории); 3) наименее комфортный микроклимат (территории, где могут формироваться «острова тепла» с высоким риском дневного перегрева, приуроченные к центральной, индустриально-развитой части города).

Оценка микроклимата дополняется расчетным «тепловым индексом» – физиологическим эквивалентом температуры (международно-признанным индексом «PET», введенным Норме (1999, 2002) [5, 7]), основанном на описании теплового баланса человека с позиции биометеорологии). Биометеорологический индекс «PET» рассчитывается по таким метеорологическим параметрам как средняя радиационная температура ( $T_{mrt}$ ), температура воздуха ( $T_a$ ), скорость ветра ( $V$ ), упругость водяных паров ( $RH$ ) и определяется как температура воздуха, при которой в нормальных комнатных

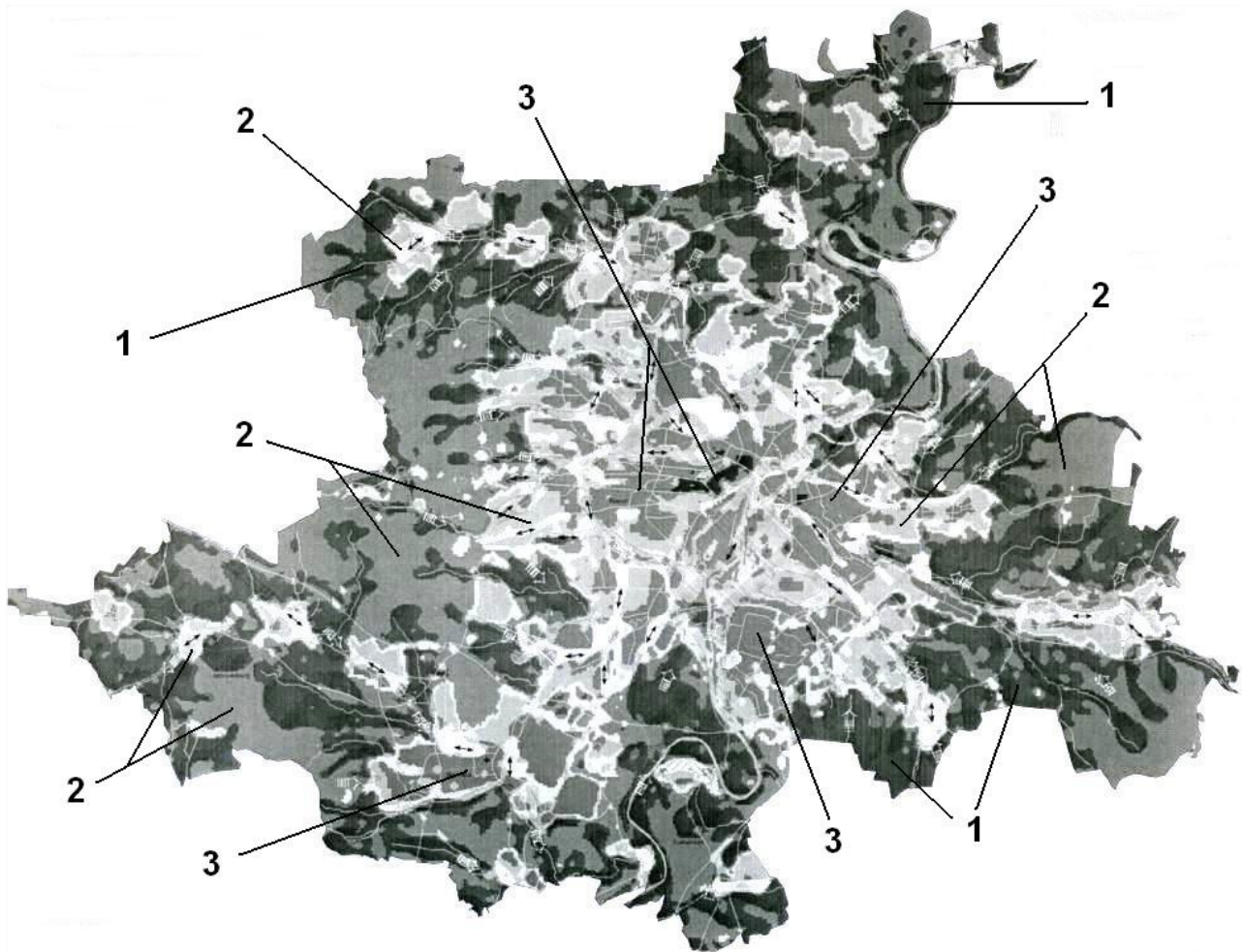


Рис. 3. Микроклиматическая карта г. Кассель (Urban Climate Map of Kassel) /Германия/

Интенсивность «тоновой заливки» соответствует различным уровням термического и аэрационного комфорта в летний период: **1** – территории с благоприятным микроклиматом, где господствует прохладный, освежающий воздух в условиях преобладающей нисходящей циркуляции /темно-зеленый цвет/ (the green colors mean cold air production with downstream drainage or fresh air with or without relief energy); **2** – «буферные» территории, сильно нагревающиеся днем и существенно охлаждающиеся ночью /светло-зеленый и оранжевый цвет/ (the light green and orange areas are mixed zones which can be warm during day but are able to cool down at night); **3** – территории, аккумулирующие тепло, с повышенным риском дневного перегрева /«острова тепла», красный цвет/ (the red colors indicate areas with more risk of heat accumulation).

условиях (без ветра и инсоляции) тепловой баланс человеческого тела находится в равновесном состоянии с окружающей средой при одинаковых значениях внутренней температуры и температуры поверхности тела. Следовательно, индекс «PET» характеризует условный эквивалент теплового комфорта для человека, находящегося в уличных условиях.

В ходе социологических исследований и натуральных наблюдений отмечено, что жители немецких городов в летний зной избегают открытых пространств и предпочитают для передвижения по городу застроенные, «затененные» пространства с более плотным озеленением. В этой связи биометеорологическое картографирование террито-

рий городов – эффективный метод выявления зон термического риска для населения.

Исследования в г. Воронеже – крупнейшем индустриально-развитом городе Центрального Черноземья с населением около 1 млн. человек – направлены на изучение микроклимата и закономерностей формирования очагов загрязнения атмосферы в условиях различных функционально-планировочных зон: селитебной, промышленной, транспортной, рекреационной. Микроклимат города формируется в условиях неоднородной подстилающей поверхности (водораздельный сектор и крутой коренной склон правобережья – акватория внутригородского водохранилища – низменное левобережье), причем, за счет водной аквато-

ГИС-слои, использованные при создании климатической карты г. Кассель

Категория	ГИС-слой	Микроклиматический эффект	Исходные данные	Единицы измерений	Статистический «вес»
А	объем зданий	аккумуляция тепла	информация о зданиях и характере застройки	объем в м <sup>3</sup>	6
В	застроенность или открытость территории	аккумуляция тепла и аэрация	информация о зданиях и характере застройки	% соотношение застроенных и незастроенных земель (плотность застройки)	6
С	формирование прохладного, освежающего воздуха, «зеленые» участки	оптимальный тепловой баланс и благоприятный микроклимат для человека	классификация видов городского землепользования и состояния поверхности	м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> *чел. («уровень охлаждения»)	3
Д	шероховатость поверхности, сильная аэрация, продуваемость	повышенная аэрация и ветровой дискомфорт	классификация видов городского землепользования и состояния поверхности	градусы шероховатости, скорость ветра	2
Е	склоны и нисходящие склоновые воздушные потоки	«высвобождение энергии» для аэроциркуляции	цифровая модель рельефа	крутизна склонов в градусах	3

рии водохранилища формируется бризовая циркуляция воздушных масс, а в границах городской черты повышена относительная влажность воздуха.

В целом г. Воронеж отличается относительно низким потенциалом загрязнения воздушного бассейна и достаточной естественной аэрацией. Однако, имеются многочисленные рассредоточенные источники загрязнения атмосферы, что является следствием исторически сложившихся нескольких промышленно-производственных комплексов: левобережного, включающего ТЭЦ, заводы по производству синтетического каучука, шин для автомобилей, авиационной техники; правобережного, где расположены заводы преимущественно машиностроительного, радиотехнического и строительного профилей. Около 83 % в загрязнение атмосферы привносит автотранспорт, причем, крупные автомагистрали, пролегая через плотнозаселенные микрорайоны, в большинстве случаев не обеспечивают достаточную пропускную способность и

надежную защиту населения от выхлопных газов и шума. Причина высокого загрязнения атмосферы города помимо загруженности автотранспортом кроется в низком качестве дорожного покрытия, недостаточном озеленении, близости жилой застройки к проезжей части, т.е. в недостаточном учете экологического фактора в целом.

В ходе экспериментальных исследований на территории г. Воронежа нами выявлены следующие закономерности формирования микроклимата в условиях комбинированной городской застройки.

1. На территории города наблюдается повышение температур воздуха в сравнении с фоновыми характеристиками, особенно в теплый период года, что создает «острова тепла» и способствует росту загрязнения воздуха, снижающего комфорт жизнеобеспечения. Так, температура воздуха в условиях городской застройки отличается от фоновых характеристик на 4,5-4,9° С. Наименьшие вариации температуры наблюдаются в «частном секто-

ре» и на территории застройки средней плотности (застроенная площадь составляет 15-25% территории) с достаточным озеленением, а наиболее высокие – на открытых и не озелененных пространствах, вблизи проезжей части крупных автомагистралей, либо на участках плотной застройки (>25% территории), где минимально внутриквартальное озеленение.

2. Снижение скоростей ветра (при преобладающих ветрах западных румбов и средней скорости ветра около 3 м/с) прослеживается на подветренной стороне зданий. Наименьшие скорости ветра наблюдаются в плотной 5-ти этажной застройке, особенно во дворах, закрытых от господствующих ветров, а наибольшие – в так называемых «аэродинамических коридорах» (например, вдоль ул. Полины Осипенко, ул. Циолковского, ул. Героев Стратосферы), у «домов-свечек» (по Ленинскому пр.), вблизи домов широтной ориентации и во дворах, открытых на западную сторону.

3. По параметрам биоклиматической комфортности наиболее благоприятными являются внутридворовые участки 5-ти этажной застройки (скорость ветра снижается более чем на 50%, влажность и температура воздуха оптимальны и более стабильны в течение дня), а наименее благоприятными – дворы многоэтажных домов, открытых на западную сторону, причем, во дворах домов широтной ориентации и вблизи «домов-свечек», где наблюдается значительное повышение температуры воздуха, а ветер часто имеет порывистый характер. Внутригородское Воронежское водохранилище оказывает смягчающее действие на микроклимат, играя роль «аэродинамического коридора», снижающего контрасты температур в период летней жары.

Для оценки уровня техногенной нагрузки на воздушный бассейн города с использованием фоновых данных Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области (данные маршрутных постов контроля и 70 выборочных точек контроля воздушного бассейна) [1, 2] нами проанализирована динамика среднесуточных концентраций приоритетных загрязняющих веществ и расчетных индексов экологического состояния атмосферы ( $I_n$  и  $K_{атм}$ ) по 4 сезонам года за 3-х летний период. Индексы экологического состояния (загрязнения) атмосферы рассчитаны по отечественным гигиеническим рекомендациям [3].

Так, парциальный индекс загрязнения атмосферного воздуха ( $I_n$ ) определен по формуле (1):

$$I_n = (C_i / ПДК_i)^k \quad (1)$$

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

Комплексная оценка качества атмосферного воздуха проведена с использованием интегрального индекса загрязнения атмосферы ( $K_{атм}$ ), рассчитанного по формуле (2):

$$K_{атм} = \sum \left( \frac{C_1}{N_1 ПДК_{C_1}} + \frac{C_2}{N_2 ПДК_{C_2}} + \dots + \frac{C_n}{N_n ПДК_{C_n}} \right) \quad (2)$$

где  $C_i$  – среднегодовая концентрация  $i$ -вещества;  $ПДК_i$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация  $C_i$ -вещества;  $N_{1,2,\dots,n}$  – коэффициент (константа), величина которого зависит от класса опасности вещества: для I класса – 1, для II класса – 1,5, для III класса – 2, для IV класса – 4;  $n$  – число веществ.

Расчет  $K_{атм}$  для г. Воронежа проведен по 6 приоритетным загрязняющим веществам, контролируемым санитарно-эпидемиологической службой: оксид углерода, диоксид серы, диоксид азота, формальдегид, фенол, пыль.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие обобщения.

1. Главный очаг аэрогенного загрязнения в зимний сезон формируется на низменном левобережье вблизи ТЭЦ-1 и заводов ОАО «Воронежсинтезкаучук», ОАО «Амтел-Черноземье» с отходящим языком повышенного загрязнения в правобережную центральную зону города по Чернавскому мосту и ул. Степана Разина – ул. Манежная – ж/д вокзал – ул. Урицкого – Московский пр. Значительный вклад в загрязнение воздушного бассейна привносит диоксид серы не только в промышленных районах, но и за счет рассредоточенного загрязнения от многочисленных котельных в жилых микрорайонах.

2. Зона загрязнения с наступлением весны «размывается», а очаг загрязнения переходит на высокое правобережье города и аккумулируется вдоль ул. 9-е Января (определенную роль играет сезонная смена ветров юго-восточного направления).

3. В летний сезон формируются два «острова тепла» и повышенного загрязнения на левом и правом берегу Воронежского водохранилища, приуроченные к двум промышленно-транспортным зо-

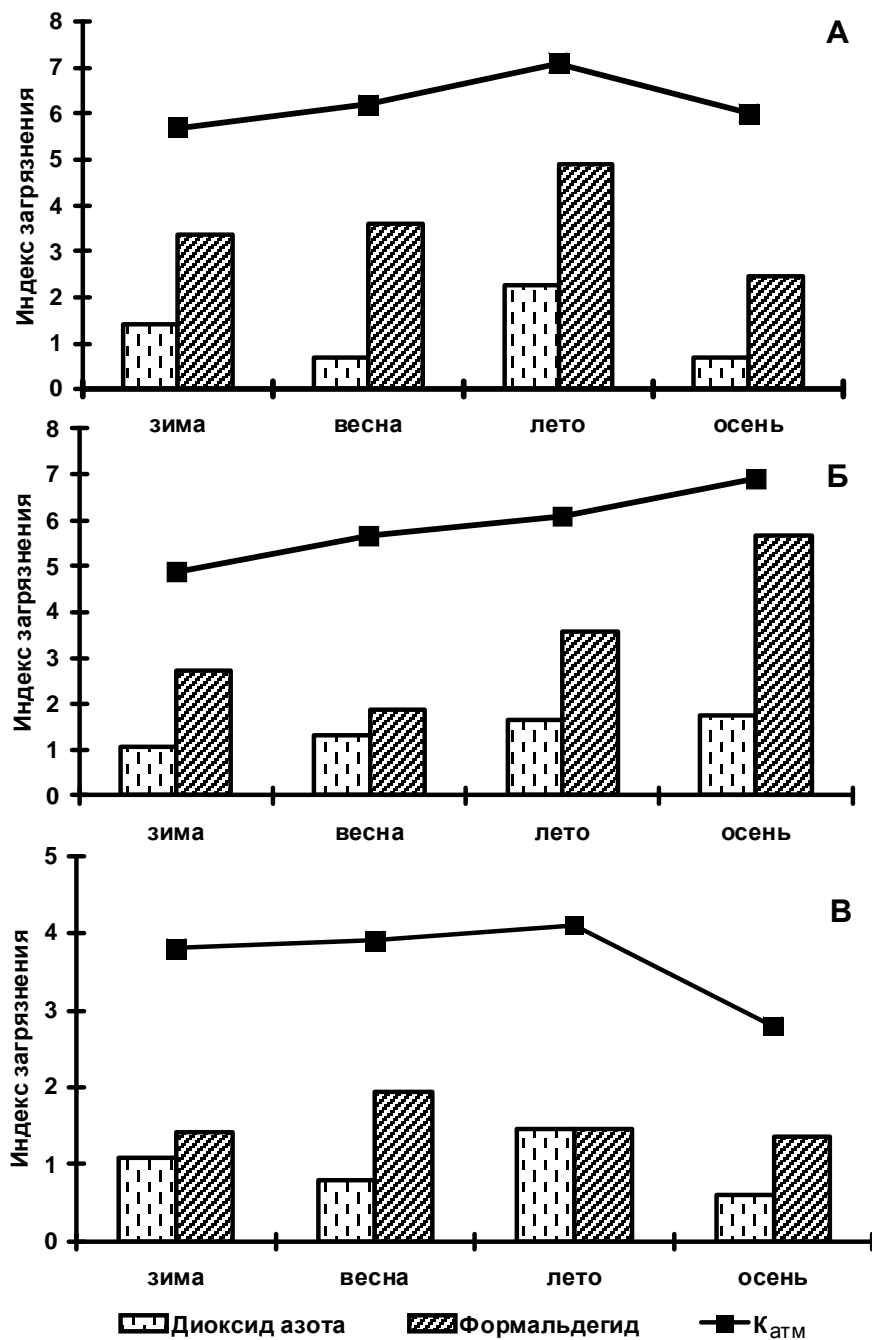


Рис. 4. Сезонная динамика загрязнения воздуха в основных функционально-планировочных зонах г. Воронежа: А – селитебно-промышленной, Б – селитебно-транспортной, В – селитебно-рекреационной

нам: правобережного Коминтерновского района (вблизи ОАО «Тяжэкс», ТЭЦ-2 и др.) и юго-восточного промышленного левобережья города, причем весь левобережный сектор города летом становится более загрязненным. Диоксид азота становится вполне надежным индикатором мест пролегания автотрасс города, т.к. конфигурация зон загрязнения этим поллютантом совпадает в общих чертах с главной осью автотранспортного развития города (по маршруту расположения ул. А.Овсеенко – 9-е Января – Кольцовская – 20 лет Октяб-

ря – Вогрэсовский мост – Героев Стратосферы – Циолковского).

4. Аналогичная ситуация сохраняется и *осенью*, однако, очаги загрязнения как по правобережью, так и по левобережью «размываются» к северу, в том числе более загрязненной становится практически вся левобережная застройка города вдоль Ленинского проспекта.

В годовой картине загрязнения наиболее типична ситуация, характерная для летне-осеннего периода с двумя довольно четко выделяющимися

зонами загрязнения воздушного бассейна вблизи промышленно-транспортных микрорайонов.

Анализ состояния атмосферного воздуха с учетом показателей антропогенной нагрузки свидетельствует о формировании в городе контрастных экологических районов с различным уровнем загрязнения атмосферного воздуха по сезонам года. Установлены 3 типа сезонной динамики загрязнения атмосферы по преобладающему характеру городской застройки и ее функциональному назначению [1, 2]: **А) селитебно-промышленный, Б) селитебно-транспортный, В) селитебно-рекреационный.** Критерий выделения типов динамики – статистически достоверные отличия динамики среднесезонных индексов суммарного загрязнения атмосферы по 6 приоритетным загрязняющим веществам.

В **селитебно-промышленных** микрорайонах наибольшее загрязнение атмосферы наблюдается в летний период года, что связано с формирующимися локальными «островами тепла» (рис. 4А). В **селитебно-транспортных** микрорайонах пик загрязнения смещается на осенний период, вследствие сезонного ухудшения рассеивающей способности атмосферы при увеличении частоты штилей, приземных инверсий в период с августа по октябрь (рис. 4Б). **Селитебно-рекреационные** микрорайоны отличаются относительно равномерной сезонной динамикой загрязнения с некоторой тенденцией увеличения концентраций загрязняющих веществ в весенне-летний период на фоне снижения рассеивающей способности атмосферы из-за увеличения частоты приземных инверсий в мае и летних «островов тепла» (рис. 4В).

В целом пространственное распределение полей загрязнения атмосферы показывает увеличение индекса загрязнения в селитебно-промышленной зоне (среднегодовой  $K_{атм} = 6,25$ ), затем – в селитебно-транспортной ( $K_{атм} = 5,88$ ). Самая благоприятная ситуация наблюдается в общественно-деловом центре и особенно – в селитебно-рекреационных микрорайонах города ( $K_{атм} = 3,65$ ), где индексы загрязнения во все сезоны достоверно ниже (в 1,5-2 раза), чем в промышленной и транспортной зонах.

Анализ структуры сезонного вклада в загрязнение воздушного бассейна различных функционально-планировочных зон свидетельствует о том, что в городе пик загрязнения атмосферы приходится на лето и осень (55% вклада в селитебно-транспортных микрорайонах), средний уровень загрязнения формируется весной, минимальный –

зимой (рис. 5). Максимальные колебания сезонных индексов загрязнения в сравнении со среднегодовым индексом составляют от +9,2% (для летнего сезона) до –11,9% (для зимнего сезона). Фактические данные свидетельствуют, что с сезонным ростом температуры воздуха запыленность и газозагрязненность атмосферы возрастает по большинству ингредиентов, а сезонный диапазон колебаний между летом и зимой достигает 20%.

Степень загрязнения атмосферы в целом согласуется с уровнем техногенной нагрузки на городскую среду, а зоны наибольшего экологического риска приурочены к промышленно-транспортным микрорайонам (преимущественно юго-восточное левобережье города). В зимний период атмосферный воздух в городе менее загрязнен, но повышается удельный вклад в аэрогенное загрязнение диоксида серы и пыли из-за работы отопительных систем. Наибольшее загрязнение приходится на теплое время года, когда повышаются концентрации оксида углерода, диоксида серы, диоксида азота и пыли в основном за счет увеличения количества автомашин на улицах и формирования локальных «островов тепла» в центральном секторе города с пониженной рассеивающей способностью атмосферы. Повышенные концентрации формальдегида и фенола в течение года обусловлены выбросами промышленных объектов и работой автотранспорта.

Таким образом, наибольший вклад в загрязнение воздушного бассейна города вносят промышленно-транспортные зоны в летне-осенние сезоны, а наиболее загрязненными можно считать автомагистрали и прилегающие массивы городской застройки в осенний сезон. Лучшими «индикаторами» сезонного загрязнения независимо от функциональной специфики микрорайона служат диоксид азота и формальдегид – наиболее чувствительные к сезонным колебаниям рассеивающей способности атмосферы и отражающие существенный вклад в загрязнение атмосферы автотранспорта и предприятий теплоэнергетики. Самым типичным сезоном по загрязнению атмосферы является осенний (коэффициент корреляции осеннего  $K_{атм}$  со среднегодовым  $K_{атм}$  составляет +0,84), а наиболее изменчивым и нетипичным – весенний (коэффициент корреляции составляет +0,69).

Уровень «ответной реакции» населения на техногенное загрязнение городской среды проявляется в достоверном увеличении заболеваемости взрослого и особенно детского населения в техногенно-загрязненных микрорайонах центра и индустриальных зонах.



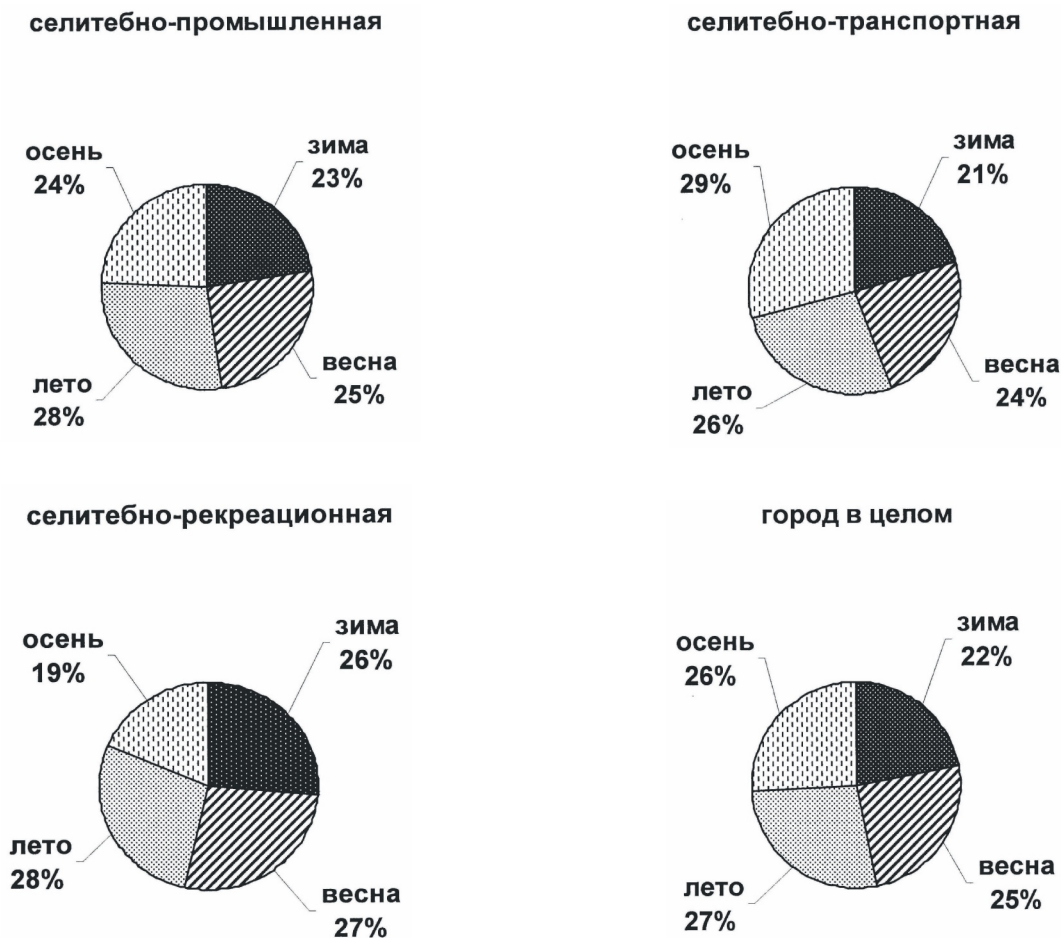


Рис. 5. Структура загрязнения воздуха по сезонам в основных функционально-планировочных зонах г. Воронежа (удельный вклад сезонного  $K_{атм}$  в среднегодовой  $K_{атм}$ , %)

стриального сектора Левобережного района г. Воронежа. Относительно низкая заболеваемость детского и взрослого населения наблюдается в «спальном» Северном жилом микрорайоне и в жилой, хорошо озелененной застройке вблизи агроуниверситета [1].

Таким образом, сопряженная оценка микроклимата и загрязнения воздушного бассейна – необходимый компонент городского планирования, который позволит в будущем снизить негативные последствия урбанизации и обеспечить климатическую комфортность среды жизнеобеспечения. Геоинформационное картографирование можно эффективно применять для выработки рекомендаций по ограничению летнего дневного нагрева городской территории и увеличению потенциала охлаждения воздуха ночью. Это может быть достигнуто путем рациональной планировки и обеспечением оптимального баланса открытых городских пространств и застроенных участков, применением затенения, «солнцезащитных» материалов, а также созданием направленной циркуля-

ции воздуха, вызванной разностью термических состояний зданий и подстилающей поверхности. Необходимо планировочными мерами формировать циркуляцию и движение прохладных воздушных масс от периферии к центру города для нейтрализации «островов тепла».

Как показали исследования в г. Воронеже – типичном крупном городе Центральной России – для снижения экологического риска и оздоровления городской среды целесообразна городская экологическая политика, составными блоками которой могут быть: 1) модернизация транспортных сетей города и пригородной зоны с увеличением их пропускной способности, качества дорожного покрытия, средней скорости движения транспортных средств и созданием «транспортных коридоров» по типу современных «органических» систем» городского транспорта во многих европейских городах; 2) изменение топливного баланса в теплоэнергетической промышленности со снижением доли угля и мазута и переходом на газ в качестве топлива; 3) рациональное озеленение внутригород-

ского пространства с внедрением в состав посадок газоустойчивых зеленых насаждений, а также более широкое применение «вертикального озеленения» стен, крыш домов и внедрение других элементов ландшафтной архитектуры по опыту многих крупных городов Европы.

**Исследования выполнены при поддержке РФФИ, проект 11-05-00079.**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронеж : среда обитания и зоны экологического риска / С. А. Куролап [и др.]. – Воронеж : Истоки, 2010. – 207 с.

2. Куролап С. А. Экологическая оценка качества воздушного бассейна г. Воронежа / С. А. Куролап, О. В. Клепиков, Л. Н. Костылева // Экологические системы и приборы. – 2010. – № 5. – С. 29-34.

Куролап Семен Александрович  
доктор географических наук, профессор факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т.(473)266-56-54, E-mail: [kurolap@vmail.ru](mailto:kurolap@vmail.ru)

Катцшнер Лутц  
доктор наук, профессор кафедры архитектуры и планирования, институт экологической метеорологии университета г. Кассель, Германия, E-mail: [katzschn@uni-kassel.de](mailto:katzschn@uni-kassel.de)

Катцшнер Антье  
ассистент кафедры архитектуры и планирования, институт экологической метеорологии университета г. Кассель, Германия, E-mail: [katzschn@uni-kassel.de](mailto:katzschn@uni-kassel.de)

Бюргхардт Рене  
ассистент кафедры архитектуры и планирования, институт экологической метеорологии университета г. Кассель, Германия, E-mail: [katzschn@uni-kassel.de](mailto:katzschn@uni-kassel.de)

Добрынина Ирина Владимировна  
аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т.(473)266-56-54, E-mail: [IraDobr@yandex.ru](mailto:IraDobr@yandex.ru)

Владимиров Дмитрий Романович  
аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т.(473)266-56-54, E-mail: [kvint\\_88@mail.ru](mailto:kvint_88@mail.ru)

3. Методические рекомендации «Комплексное определение антропогенной нагрузки на водные объекты, почву, атмосферный воздух в районах селитебного освоения» (№ 01-19/17-17) / под ред. Р. С. Гильденскиольда [и др.]. – М. : ГКСЭН РФ, 1996. – 35 с.

4. Ревич Б. А. Изменение климата и здоровье населения России: анализ ситуации и прогнозные оценки / Б. А. Ревич, В. В. Малеев. – М. : ЛЕНАНД, 2011. – 208 с.

5. Katzschner L. Hohe Feinstaubbelastung in Städten – Stadtplanung Als Wichtiger Einflussfaktor / L. Katzschner, M. Rötgen // Die Planerin. – Heft, 2005. – 3, 05, 27.

6. Katzschner L. Urban Bioclimate and Open Space Planning / L. Katzschner // Fifth International Conference on Urban Climate. – Lodz, 2003. – Vol. 2. – P. 55-61.

7. Katzschner L. Urban Climatology and Applications (Городская климатология и планирование) / L. Katzschner // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2008. – № 2. – С. 95-100.

Kurolap Semyon Aleksandrovitch  
Doctor of Geography, Professor of the faculty of geography, geocology and tourism of the Voronezh State University, Voronezh, tel.(473)266-56-54, E-mail: [kurolap@vmail.ru](mailto:kurolap@vmail.ru)

Katzschner Lutz  
Doctor of Sciences, professor of the architecture and planning department, Institute of Environmental Meteorology, University Kassel, Germany, E-mail: [katzschn@uni-kassel.de](mailto:katzschn@uni-kassel.de)

Katzschner Antje  
Assistant of the architecture and planning department, Institute of Environmental Meteorology, University Kassel, Germany, E-mail: [katzschn@uni-kassel.de](mailto:katzschn@uni-kassel.de)

Burghardt Rene  
Assistant of architecture and planning department, Institute of Environmental Meteorology, University Kassel, Germany, E-mail: [katzschn@uni-kassel.de](mailto:katzschn@uni-kassel.de)

Dobrynina Irina Vladimirovna  
Post-graduate student of the chair of Geoecology and Environmental Monitoring of the Voronezh State University, Voronezh, tel. (473)266-56-54, E-mail: [IraDobr@yandex.ru](mailto:IraDobr@yandex.ru)

Vladimirov Dmitriy Romanovitch  
Post-graduate student of the chair of Geoecology and Environmental Monitoring of the Voronezh State University, Voronezh, tel. (473)266-56-54, E-mail: [kvint\\_88@mail.ru](mailto:kvint_88@mail.ru)