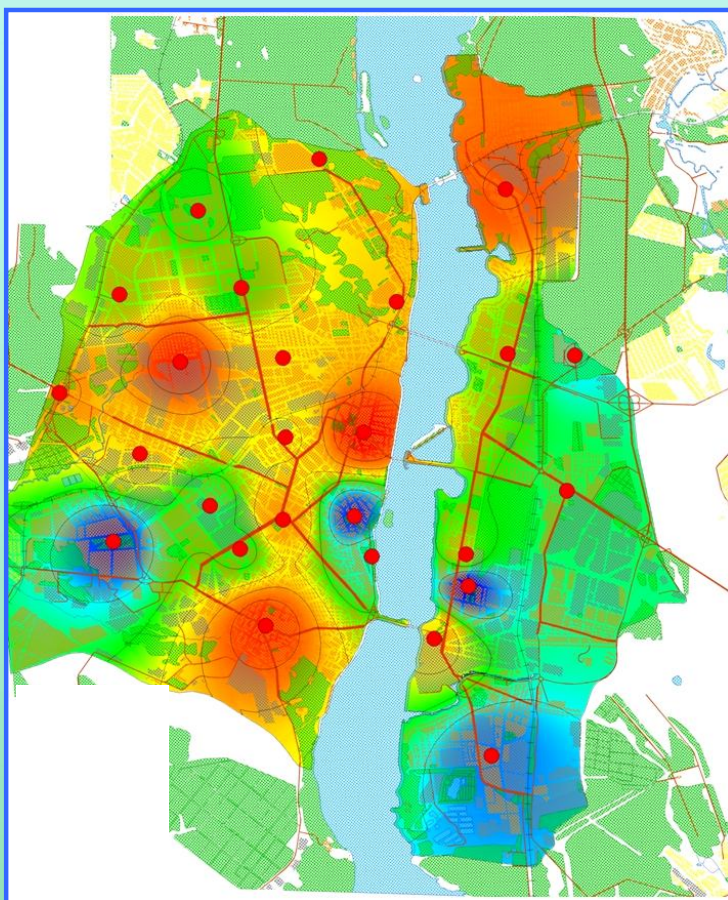




ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ



Воронеж 2014

Воронежский государственный университет

*80-летию факультета географии,
геоэкологии и туризма посвящается*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Сборник научных статей

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

Воронеж 2014

УДК 502.55:504.064.2

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

Экологическая оценка и картографирование состояния городской среды : Сборник научных статей / Под общ. редакцией С.А. Куролапа и О.В. Клепикова. – Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2014. – 167 с.

ISBN 978-5-906384-20-1

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

В статьях изложены основные принципы и подходы к комплексной оценке и картографированию экологического состояния городской среды, приведены оригинальные данные по результатам анализа микроклимата, техногенного загрязнения воздушного бассейна, почвенного покрова, водоемов в местах рекреации пригородной зоны, реакций древесных растений на состояние среды обитания, а также результаты исследования зависимости общественного здоровья от факторов экологического риска на территории крупного промышленного центра - города Воронежа. Показаны возможности геоинформационных технологий в обеспечении городской системы экологического мониторинга и электронном картографировании экологических ситуаций.

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

УДК 502.55:504.064.2

ISBN 978-5-906384-20-1

© Авторский коллектив, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Методические подходы к комплексной оценке и картографированию экологического состояния территории крупного промышленного города (<i>Куrolап С.А., Клепиков О.В.</i>)	5
Анализ микроклимата городской среды (<i>Попова И.В., Куролап С.А.</i>).....	30
Оценка динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосфере в зависимости от метеорологических параметров (<i>Акимов Л.М., Акимов Е.Л.</i>).....	41
Анализ влияния функционально-планировочной структуры города на загрязнение воздушного бассейна (<i>Акимов Л.М., Виноградов П.М., Акимов Е.Л.</i>).....	55
Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха по данным мониторинга на маршрутных постах наблюдения (<i>Клепиков О.В., Болдырев В.Д.</i>).....	66
Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска для здоровья населения (<i>Куrolап С.А., Клепиков О.В.</i>).....	71
Исследование взаимосвязи уровня загрязнения атмосферного воздуха и заболеваемости населения (<i>Клепиков О.В., Куролап С.А., Ильина И.С.</i>).....	95
Мониторинг загрязнения снежного покрова (<i>Прожорина Т.И., Беспалова Е.В.</i>)	107
Оценка загрязнения почвенного покрова города (<i>Иванова Л.О., Синегубова В.В.</i>).....	119
Биоиндикация загрязнения урбанизированных территорий тяжелыми металлами (<i>Клевцова М.А.</i>).....	130
Эколого-геохимическая оценка вод в местах рекреации пригородной зоны г. Воронежа (<i>Маслова М.О., Прожорина Т.И.</i>).....	144
Применение геоинформационных технологий для обеспечения эффективного функционирования системы экологического мониторинга (<i>Виноградов П.М.</i>).....	152
Технология создания электронной карты-основы ГИС «Экогеохимия города Воронежа» и оценка экологического риска (<i>Епринцев С.А., Виноградов П.М.</i>).....	160

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник научных статей – итог первого этапа исследований (2013-2014 гг.), выполненных в рамках научного проекта по гранту Русского географического общества – Российского фонда фундаментальных исследований /проект 13-05-41401_а «Интегральная оценка и картографирование экологического состояния территории крупного промышленного центра (на примере города Воронежа)»/.

Информационной основой послужили данные официальной статистики по состоянию окружающей среды и здоровью населения городского округа город Воронеж, а также результаты оригинальных собственных экогеохимических, вероятностно-статистических и геоинформационных исследований авторов.

Результаты исследований являются закономерным продолжением и углублением многолетних совместных научно-практических исследований ученых Воронежского государственного университета, Воронежского государственного университета инженерных технологий и Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области по оценке риска для здоровья населения, связанного с состоянием окружающей среды города Воронежа, вошедших в научную литературу по образному выражению известного ученого в области экологии человека Б.Б. Прохорова как «Воронежский эксперимент» («Организация компьютерного мониторинга и оценка медико-экологической ситуации в г. Воронеже», 1995; «Экология и мониторинг здоровья города Воронежа», 1997; «Эколого-гигиенические основы мониторинга и охраны городской среды», 2002; «Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды», 2006; «Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска», 2010).

В отличие от ранее изданных книг приведены новые данные по микроклимату и качеству воздушного бассейна, почв города, водоемов в местах рекреации пригородной зоны, состоянию биоты и общественному здоровью. Особое внимание уделено экологической оценке различных функционально-планировочных зон города (промышленной, транспортной, жилой, селитебно-рекреационной). С помощью современных геоинформационных технологий осуществлено картографирование полей загрязнения окружающей среды и уровней экологического риска.

Реализация проекта позволит разработать научно-обоснованную модель сбалансированного, экологически безопасного и эффективного градостроительства как основу устойчивого развития городской среды.

Доктор географических наук, профессор С.А. Куропан
Доктор биологических наук, профессор О.В. Клепиков

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

С.А. Куропан, О.В. Клепиков

Усиление процессов урбанизации на рубеже XX-XXI веков привело к обострению экологических проблем в крупных промышленных городах мира. Это проявилось, прежде всего, в уплотнении городской застройки, ухудшении микроклимата, росте загрязнения атмосферы и почвы, а ответной реакцией на снижение качества городской среды становится рост заболеваемости населения. Накопленный опыт исследований в области урбоэкологии и экогеохимии городских ландшафтов в сочетании с концепцией экологического риска показывает актуальность количественной оценки зависимостей «доза-эффект» для широкого спектра экологических факторов, в том числе микроклиматических, экогеохимических и биотических, формирующих экологическую ситуацию и общественное здоровье крупных городов (С.Л. Авалиани, Н.С. Касимов, С.М. Новиков, Г.Г. Онищенко, Б.Б. Прохоров, Б.А. Ревич и др.) [1, 3, 6, 7, 9, 10]. Эффективность исследований значительно повысилась с внедрением современных геоинформационных технологий и тематического геоэкологического картографирования как важных инструментов территориального планирования и обеспечения устойчивого развития городской среды.

Экологические основы адаптации и факторы риска

Анализ причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и определяющими его факторами среды обитания базируется на многочисленных знаниях о причинности отдельных болезней, в этиологии которых значительную роль играют экологически опасные факторы. Теория экологической эпидемиологии рассматривает многие болезни человека как «ответную реакцию» на ухудшение условий существования при воздействии техногенных факторов риска и снижении степени адаптации к среде обитания [5, 7, 10].

Снижение адаптации выражается в специфических реакциях организма на воздействие неблагоприятных вредных и опасных техногенных факторов. Известно, что в процессе адаптации к неблагоприятным изменениям окружающей среды состояние организма человека характеризуется напряжением компенсаторно-приспособительных механизмов, резервы которых со временем истощаются, что выражается в значительном росте так называемых «болезней цивилизации» и в увеличении удельного веса хронических патологических процессов.

Изучение механизмов реакции организма на воздействие вредных факторов среды обитания, прежде всего, ее загрязнение, показывает, что рост уровня заболеваемости населения при этом носит нелинейный характер (рис. 1). Известно, что первоначальная реакция организма проявляется в стимуляции защитных сил в ответ на действие слабых раздражителей, росте неспецифических реакций, активности процессов обезвреживания ксенобиотиков в организме (фаза «стимуляции»).

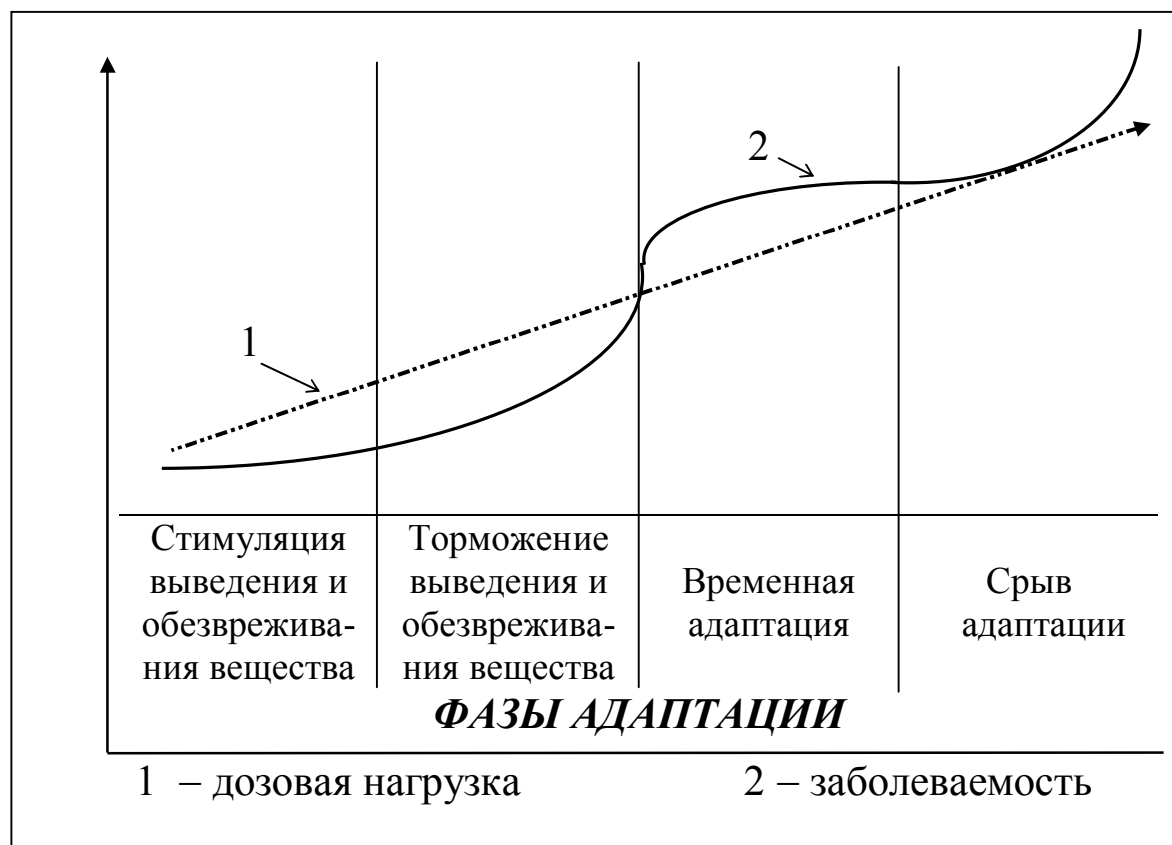


Рис. 1. Типичные реакции биосистем на рост уровня воздействия химического загрязнителя окружающей среды (по А.В. Киселеву, К.Б. Фридману [5])

Это практически никак не сказывается на статистике заболеваемости населения, однако, в дальнейшем, вследствие перенапряжения защитных систем организма происходит торможение адаптационных процессов, что сопровождается почти скачкообразным ростом уровня неспецифической патологии (фаза «торможения»). По мере роста воздействия включается механизм адаптации, что приводит к стабилизации уровня заболеваемости и иногда даже к ее снижению (фаза «временной адаптации»). При прогрессирующем возрастающем воздействии в дальнейшем происходит срыв механизмов неспецифической адаптации и очередной скачок уровня заболеваемости с возможным летальным исходом (фаза «срыв адаптации»). Пороги чувствительности организма, безусловно, индивидуальны,

а степень патогенности фактора обычно выявляется на основании действия «закона больших чисел», в больших по численности популяциях.

Особенно отчетливо эти закономерности проявляются в урбанизированных регионах, в условиях постоянного воздействия на население неблагоприятных техногенных факторов с сильным медико-биологическим эффектом. Так, на территориях урбанизированных регионов Урала (Магнитогорск, Челябинск, Екатеринбург) и Южной Сибири (Красноярск, Новокузнецк) часто встречается такой вид предпатологических реакций, как нарушение иммунного статуса. Индикатором нарушения иммунного статуса в загрязненных районах, например, служит анемизация населения, проявляющаяся в увеличении числа лейкоцитов в крови при снижении гемоглобина. Этот факт отмечен Ю.Е. Саеом, Б.А. Ревичем с соавт. [3] во многих городах России с повышенным уровнем техногенного давления на среду обитания и, соответственно, высоким загрязнением атмосферы и почв.

Важнейшим предпатологическим критерием является биокумуляция ксенобиотиков как показатель, характеризующий наличие эндогенного риска. Углубленное клинико-лабораторное обследование детей, проживающих в зонах высокого атмосферного и почвенного загрязнения среды тяжелыми металлами, выявило у 70% детей повышенное содержание металлов (медь, цинк, никель, свинец и др.) в волосах и в моче. По материалам Б.А. Ревича с соавт. [7] у детей, проживающих на таких территориях, были обнаружены симптомы интоксикации, функциональные изменения со стороны мочеполовой системы, желудочно-кишечного тракта, анемия, изменения иммунного статуса. В последнее время диагностику донозологических состояний предлагается осуществлять при помощи выделения устойчивых симптомокомплексов и определения донозологического статуса целостного организма.

Кроме детей высоким «ответным откликом» на токсическое воздействие вредных факторов отличается репродуктивная функция женщин. Высокая чувствительность женского организма к токсическим соединениям объясняется специфическим влиянием ксенобиотиков на генеративную функцию. В загрязненных регионах чаще встречаются неблагоприятно протекающие беременность и роды. Дети, рожденные после патологической беременности и родов в районах, загрязненных промышленными выбросами в атмосферный воздух, имеют низкую массу тела и уровень физического развития, функциональные отклонения в состоянии дыхательной и сердечно-сосудистой систем. В таких регионах обычно повышается и частота врожденных аномалий (пороков развития).

В подавляющем большинстве случаев в связи с загрязнением окружающей среды наблюдается однотипная структура изменения показателей состояния здоровья детей – основной «индикаторной» группы населения,

отражающей реакцию населения на вредные воздействия факторов среды. Например, «отклик организма» на уровень атмосферного и почвенного загрязнения среды в порядке убывания образует ряд: 1) иммунологическая реактивность; 2) острые заболевания органов дыхания аллергического характера; 3) отклонения от нормы функциональных и физиологических показателей – нарушение гармонического физического развития, анемия, снижение вентиляционной функции легких и т.д.; 4) рост хронических заболеваний; 5) увеличение частоты врожденных аномалий, новообразований, болезней крови, системы кровообращения, реагирующих на качество среды обитания. Причем наиболее чувствительными (лабильными) к воздействиям факторов среды обитания являются кроветворная, сердечно-сосудистая, дыхательная, центральная нервная и мочеполовая системы. Общеизвестно, что наиболее информативны с экологической точки зрения параметры физического развития и здоровья детского населения. В силу анатомо-физиологических особенностей дети более чувствительны к качеству среды обитания, а сроки проявления у них неблагоприятных эффектов короче. Это повышает достоверность статистических исследований, позволяя делать более объективные выводы об «экологической обусловленности» заболеваний [7, 10].

Основываясь на современных данных литературы по этиологии большинства заболеваний, в качестве основных маркеров степени экологического риска можно рекомендовать следующие группы показателей: а) индикаторную патологию, характеризующую высокую степень зависимости от загрязнения окружающей среды (профессиональные болезни, онкологические заболевания, врожденные аномалии и генетические дефекты, аллергозы); б) экологически зависимую патологию, характеризующую среднюю степень зависимости от загрязнения окружающей среды (перинатальная, младенческая и общая детская смертность, вторичные иммунодефициты, хронические бронхиты, бронхиальная астма и пневмония у детей); в) экологически обусловленную патологию, характеризующую умеренную степень зависимости от загрязнения окружающей среды (патология беременности, анемия, хронические бронхиты и повышенная общая заболеваемость); г) интегрирующие показатели общего медико-экологического благополучия (динамика смертности населения, средняя продолжительность жизни, инвалидность).

В формировании общественного здоровья урбанизированных регионов важнейшую роль играют такие гигиенические критерии как параметры загрязнения атмосферы, питьевой воды и почвы населенных мест. В настоящее время не вызывает сомнения, что глобальное загрязнение атмосферного воздуха в условиях городской среды обитания сопровождается достоверным ухудшением состояния здоровья населения. Причем негативное влияние аэротехногенной нагрузки прослеживается во всех при-

родных средах, так как основная масса загрязнений выпадает на поверхность земли (твердые вещества) либо вымывается из атмосферы с помощью осадков. Эти многочисленные исследования последних лет послужили основанием для развития нового научного направления - *экогеохимии городских ландшафтов* [9].

В ряде региональных медико-экологических исследований показано, что загрязнение атмосферного воздуха можно считать ведущим параметром дифференциации территории промышленно развитых городов по состоянию среды обитания [2, 3, 6, 7, 9]. Например, у детей в городах с металлургической промышленностью и высоким загрязнением воздушной среды по сравнению с контрольными группами замедлено физическое и нервно-психическое развитие, проявляющееся в запаздании времени, когда ребенок начинает ходить и говорить, в более позднем появлении молочных зубов. Нарушение нормального развития наблюдается и в более старшем возрасте. Так, среди детей 5-7 лет, проживающих в проблемных районах, значительно меньше детей с нормальным физическим развитием и существенно больше детей с дефицитом и избытком массы тела.

Воздействие атмосферных загрязнений сопровождается изменением функции внешнего дыхания и сердечно-сосудистой системы. Например, в зоне влияния выбросов нефтехимического комплекса и вблизи автомагистралей у детей жизненная емкость легких, резервные объемы вдоха и выдоха снижены на 10-13%.

Наиболее быстро на загрязнение атмосферного воздуха реагирует респираторная заболеваемость. Среди других «индикаторных» показателей следует отметить гематологические параметры, характеристики нервно-психического и иммунного статуса. По мере увеличения интенсивности загрязнения воздушного бассейна число детей с повышенным содержанием лейкоцитов в крови увеличивается в промышленных районах в 1,6 раз и до 2 раз в городах с опасным уровнем загрязнения. Морфофункциональные сдвиги в системе крови свидетельствуют о напряжении адаптационных резервов в организме. По данным Б.А. Ревича с соавт. [7] совместное действие пыли и ряда загрязнителей в современных городах имеет высокотоксичный эффект: а) бензол + никель + сажа + бенз(а)пирен + формальдегид - канцерогенный эффект; б) углеводороды + тяжелые металлы (свинец, медь, ртуть) – нарушение репродуктивной функции.

Наряду с атмосферой почва выполняет функцию универсального биологического адсорбента, нейтрализатора органических и минеральных загрязнений. Благодаря этой функции в почве происходят процессы самоочищения, хотя и гораздо медленнее, чем в воздушной и водной средах. Особенно опасно для человека загрязнение почв тяжелыми металлами – медью, цинком, хромом, свинцом, ртутью, кадмием и др.

Промышленные предприятия и транспорт являются приоритетными источниками загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха тяжелыми металлами вносят предприятия черной и цветной металлургии, теплоэнергетики. Процессы выплавки и переработки чугуна сопровождаются выбросом в атмосферу соединений марганца, свинца, паров ртути, редких металлов. В выбросах мартеновских и конвекторных сталеплавильных цехов присутствуют пыль из металлической шихты, пары и окислы металлов, преобладающими из которых являются триокись железа и алюминия. Предприятия цветной металлургии являются источником поступления в атмосферный воздух алюминия, меди, свинца, олова, цинка, никеля и др. металлов. Проникновение металлов в окружающую среду происходит при сжигании топлива и горючего на предприятиях теплоэнергетики. В угле и нефти содержатся все металлы периодической таблицы, и, в первую очередь, свинец, ртуть, мышьяк, ванадий, никель, хром. Наряду с указанными отраслями промышленности, все большее значение в загрязнении окружающей среды приобретает химическая промышленность и особенно химия органического синтеза, где металлы (хром, никель, ванадий, кобальт, торий, палладий) используются в качестве катализаторов оргсинтеза и дожигания.

Повышенное содержание тяжелых металлов в воздухе, воде, почве приводит к загрязнению ими продуктов питания и широкому спектру токсических эффектов для человека. Избыточные концентрации металлов могут вызывать серьезные изменения в обмене веществ и дезорганизацию метаболических процессов, что способствует снижению неспецифической резистентности организма, приводит к нарушению аллергического и соматического статуса, а, следовательно, и к нарушению функций различных органов и систем. Под воздействием металлов повреждается процесс гемопоэза, что, в свою очередь, ведет к нарастанию иммунодефицитного состояния в организме.

Под действием токсичных металлов в той или иной степени страдают сердечно-сосудистая, выделительная, пищеварительная, эндокринная, иммунная, кроветворная системы, а ряд металлов и их соединений (никель, мышьяк, бериллий и др.) способны провоцировать канцерогенные эффекты у населения.

Приведенные данные свидетельствуют, что загрязнение окружающей среды в городах – один из важных факторов, формирующих состояние здоровья горожан. Изучение территориальной неравномерности медико-экологических показателей, связанных с состоянием среды обитания, является одним из основных элементов метода экологогигиенического ранжирования (зонирования) территории промышленных городов. По степени и характеру загрязнения атмосферного воздуха, ко-

торый чаще всего принимается в качестве основного критерия дифференциации городской среды, выделяют до 4-х зон, различающихся по эколого-гигиеническому фону: 1) условно чистая зона – жилая застройка вне промышленных зон и вдали от главных транспортных магистралей; 2) транспортная зона – жилая и промышленная застройки, прилегающие к транспортным магистралям; 3) промышленная зона – территория города, подверженная значительному воздействию промышленных выбросов в атмосферу, но расположенная вдали от транспортных магистралей; 4) промышленно-транспортная или смешанная зона, характеризующаяся сочетанием загрязнения атмосферного воздуха транспортными и промышленными выбросами.

Таким образом, многочисленные региональные медико-географические исследования свидетельствуют о достоверной зависимости критериев общественного здоровья от качества окружающей среды, что служит предпосылкой количественной оценки риска для здоровья населения, обусловленного техногенным загрязнением городской среды обитания.

Методы оценки экологического риска для здоровья населения

Для оценки воздействия техногенного загрязнения окружающей среды на здоровье населения урбанизированных регионов целесообразно применение современных методик оценки экологического риска.

Риск для здоровья - вероятность развития угрозы жизни или здоровью человека либо угрозы жизни или здоровью будущих поколений, обусловленная воздействием факторов среды обитания.

Под ***факторами риска здоровью*** понимаются факторы (биологические (вирусные, бактериальные, паразитарные и иные), химические (загрязняющие вещества), физические (шум, вибрация, ультразвук, инфразвук, тепловые, ионизирующие, неионизирующие и иные излучения), социальные (питание, водоснабжение, условия быта, труда, отдыха), провоцирующие или увеличивающие риск развития определенных заболеваний.

Оценка риска для здоровья – это процесс установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных последствий для здоровья человека или здоровья будущих поколений, обусловленных воздействием факторов среды обитания.

Количественная оценка риска может осуществляться с помощью вероятностно-статистических методов, например, корреляционно-регрессионного анализа. По коэффициентам корреляций можно судить о связи между загрязнением среды и состоянием здоровья населения, а регрессионный анализ позволяет оценить тренды динамики состояния среды и общественного здоровья, а также построить математическую модель за-

зависимости критериев общественного здоровья от качества окружающей среды.

В этом случае количественной характеристикой силы связи служит коэффициент парной линейной корреляции (r), рассчитываемый по формуле (1):

$$r = \frac{\sum (x_1 - M_1) \cdot (x_2 - M_2)}{\sqrt{\sum (x_1 - M_1)^2 \cdot \sum (x_2 - M_2)^2}} \quad (1)$$

где x_1, x_2 – значения первой и второй переменных; M_1, M_2 – средние значения первой и второй переменных. В качестве переменных рассматриваются показатели состояния окружающей среды и критерии общественного здоровья.

Коэффициент корреляции изменяется в пределах от 1 до –1. Абсолютное значение коэффициента корреляции характеризует степень тесноты линейной зависимости, причем при значениях « r » в интервале от 0 до $|\pm 0,30|$ связь считают слабой; от $|\pm 0,30|$ до $|\pm 0,70|$ – средней; а выше $|\pm 0,70|$ – сильной. Если корреляционная связь не достигает порога достоверности, что часто встречается в медико-географических исследованиях, особенно на малых выборках, то говорят о тенденции статистической связи, которая свидетельствует о наличии определенной, но слабо выраженной закономерности.

Для статистического вывода о наличии или отсутствии корреляционной связи между исследуемыми случайными переменными необходимо не только определить величину выборочного коэффициента корреляции, но и провести проверку его значимости. Для этого используется критерий Стьюдента (t), определяемый по формуле (2):

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

который сравнивается с критическим значением $t_{\text{крит}}$, найденным по таблице распределения Стьюдента, при выбранной вероятности ошибки $\alpha = 0,05$ (5%) и числе степеней свободы $\nu = N - 2$, где N – число пар значений.

Если $t_i > t_{\text{крит}}$, можно утверждать, что связь между переменными достоверная, хотя значение коэффициента корреляции может быть небольшое.

Следует заметить, что при относительно большом объеме выборки ($N > 30$), даже низкие значения коэффициентов парных корреляций, классифицируемые в практике как «слабая» и «средняя» силы связи, оказываются статистически значимыми и заслуживают рассмотрения.

В последние годы быстро развивается новое научное направление, базирующееся на теории риска для здоровья, связанного с химическим загрязнением окружающей среды. Оно получило развитие на базе совместных разработок Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, Федерального Центра экологической политики России и Американского агентства по охране окружающей среды (US. EPA) [6]. Базируясь на этой методологии, возможно идентифицировать и количественно оценивать уровни риска, а также планировать меры по организации мониторинга окружающей среды и снижению риска в экологически неблагополучных районах

Основные положения этой методологии оценки риска здоровью населения закреплены в руководстве Р 2.1.10.1920—04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (утверждено главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 05.03.2004 г.) [8].

В соответствии с данным «Руководством» процедуру оценки риска для здоровья населения, обусловленного воздействием химических загрязнителей среды обитания, можно подразделить на пять взаимосвязанных этапов.

- **Идентификация опасности:** выявление потенциально вредных факторов, оценка связи между изучаемым фактором и нарушениями состояния здоровья человека, достаточности и надежности имеющихся данных об уровнях загрязнения различных объектов окружающей среды исследуемыми веществами; составление перечня приоритетных химических веществ, подлежащих последующей характеристике.

- **Оценка воздействия (экспозиции) химических веществ на человека:** характеристика источников загрязнения, маршрутов движения загрязняющих веществ от источника к человеку, путей и точек воздействия; определение доз и концентраций, воздействовавших в прошлом, воздействующих в настоящем или тех, которые, возможно, будут воздействовать в будущем; установление уровней экспозиции для популяции в целом и ее отдельных субпопуляций, включая сверхчувствительные группы.

- **Оценка зависимости «доза-ответ»:** выявление количественных связей между показателями состояния здоровья и уровнями экспозиции. Для этого, как правило, используются экспериментальные данные (токсикологический эксперимент, спланированное эпидемиолого-гигиеническое исследование и др.).

- **Характеристика риска:** анализ всех полученных данных; расчет рисков для популяции и её отдельных подгрупп; сравнение рисков с допустимыми (приемлемыми) уровнями; сравнительная оценка и ранжирование различных рисков по степени их статистической, медико-биологической и социальной значимости; установление медицинских

приоритетов и тех рисков, которые должны быть предотвращены или снижены до приемлемого уровня.

- **Управление риском:** заключительный этап, связанный с мероприятиями по минимизации риска, которые осуществляются на основе выявленных приоритетов.

Эффекты воздействия вредных веществ на организм человека с точки зрения ответной реакции экспонированного населения можно с некоторой долей условности разделить на две основные группы:

- **канцерогенные;**

- **неканцерогенные (общетоксические).**

Под **канцерогеном** понимают любой химический, физический или биологический агент, способный вызвать развитие рака (злокачественной опухоли), а под **канцерогенным эффектом** - возникновение злокачественных новообразований при воздействии факторов окружающей среды. Известно, что канцерогенные эффекты приближаются к прямой (линейной) зависимости: чем выше доза, тем сильнее эффект (тяжелые металлы, бенз(а)пирен и т.д.). Однако, определенный порог в принципе есть всегда (в малых дозах и радиация безвредна), но для канцерогенов он довольно низок. Как правило, канцерогены вызывают также побочные неканцерогенные эффекты.

Неканцерогенный эффект характеризует возрастание вероятности развития заболеваний различной природы, за исключением канцерогенных, и в отличие от канцерогенного эффекта проявляется по типу порогового эффекта, когда после определенного уровня воздействия эффект становится достоверным (проявляется не менее, чем у 1/6 части популяции, т.е. у 16,7 % экспонированных лиц), а рост патологических реакций проявляется по экспоненциальному закону.

Для расчета уровней рисков применяются некоторые справочные величины, установленные экспериментальным путем (**SF**, **RfD**, **RfC**).

SF – фактор канцерогенного потенциала ($\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сутки}))^{-1}$ - мера дополнительного индивидуального канцерогенного риска или степень увеличения вероятности развития рака при воздействии канцерогена. Факторы канцерогенного потенциала определены в экспериментальных исследованиях на животных на основе использования линейной многоступенчатой модели и с учетом статистической экстраполяции с высоких доз, где наблюдаются эффекты в лабораторных условиях, на малые дозы, реально встречающиеся в объектах окружающей среды, при которых эффект в эксперименте не выявляется. Фактор канцерогенного потенциала – табличная (справочная) величина, определяемая экспериментальным путем с последующим применением математических методов экстраполяции воздействия «высоких» доз на воздействие «низких».

RfD – референтная доза - суточное воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья (**RfC** – концентрация). Как и фактор канцерогенного потенциала - это справочные величины.

Очень часто вредные эффекты характеризуют по локализации: поражение ЦНС, желудочно-кишечного тракта, органов кроветворения, репродуктивной системы и т.д. **Критические органы и системы** – те органы (системы), которые наиболее чувствительны к действию наименьших из эффективных доз или концентраций химических веществ; причем, при одновременном поражении нескольких органов эффекты носят название «системные эффекты». Так, для воздействующих аэрогенным путем диоксида азота критическими будут органы дыхания, фенола – органы дыхания и глаза, толуола – ЦНС.

Таким образом, зависимости «доза-эффект» отражают основные количественные закономерности между воздействующей дозой и частотой вредных эффектов в экспонированной популяции. Наиболее типичны для химических загрязнителей среды обитания. Уровень реакции организма зависит от дозы. Чем выше доза, тем больший % населения реагирует на химическое воздействие и тем тяжелее реакция. Для канцерогенных эффектов пороговые дозы не признаются, а эффекты имеют линейный характер. Неканцерогенный эффект проявляется только после достижения пороговых (референтных) доз, а достоверным эффект считается в случае, если он проявляется не менее, чем у 16,7 % части экспонированной популяции.

При оценке риска потенциальные дозы загрязняющих веществ, как правило, усредняются с учетом массы тела и времени воздействия. Такая доза носит название **средней суточной дозы (ADD)**.

При этом обычно принимается допущение, что в среднем суточное потребление атмосферного воздуха для взрослого человека составляет 20 м³/сутки, а потребление питьевой воды - 2 л.

Боле точно, как приведено в «Руководстве по оценке риска» [8], расчет среднесуточных доз при ингаляционном воздействии загрязняющих веществ, поступающих с атмосферным воздухом, проводится по формуле (3):

$$ADD = ((Ca * Tout * Vout) + (Ch * Tin * Vin)) * EF * ED / (BW * AT * 365) \quad (3)$$

При этом, как правило, принимаются стандартные значения показателей (факторов экспозиции), приведенные в таблице 1.

Справочные величины (SF, RfC, RfD, критические органы и системы по веществам, стандартные значения факторов экспозиции), необходимые

для расчета рисков, приводятся в приложении к «Руководству по оценке риска»[8].

Таблица 1

Стандартные значения факторов экспозиции, принимаемых для расчета среднесуточных доз при ингаляционном воздействии загрязняющих веществ

Параметр	Характеристика	Стандартное значение
ADD	Среднесуточная доза (величина поступления), мг/(кг*день)	-
Ca	Концентрация вещества в атмосферном воздухе, мг/м ³	-
Ch	Концентрация вещества в воздухе жилища, мг/м ³	при отсутствии данных: Ch = Ca
Tout	Время, проводимое вне помещений, час/день	8 ч/день
Tin	Время, проводимое внутри помещений, час/день	16 ч/день
Vout	Скорость дыхания вне помещений, м ³ /час	1,4 м ³ /час
Vin	Скорость дыхания внутри помещения, м ³ /час	0,63 м ³ /час
EF	Частота воздействия, дней/год	350 дней/год
ED	Продолжительность воздействия, лет	взрослые: 30 лет; дети: 6 лет
BW	Масса тела, кг	взрослые: 70 кг; дети: 15 кг
AT	Период осреднения экспозиции, лет	взрослые: 30 лет; дети: 6 лет; канцерогены: 70 лет (независимо от возраста)

Канцерогенный риск (CR) в течение жизни определяется по формуле (4):

$$CR = ADD * SF \quad (4)$$

где *ADD* - средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг *день);
SF - фактор канцерогенного потенциала.

Неканцерогенный риск (для воздушной среды) количественно оценивается на основе расчета коэффициента опасности (*HQ*) по формуле (5):

$$HQ = Ci / RfC \quad (5)$$

где HQ - коэффициент опасности; C_i - средняя концентрация ($мг/м^3$); RfC - референтная (безопасная) концентрация, ($мг/м^3$).

С учетом однонаправленности воздействия веществ рассчитывается индекс опасности (CI или HI) в зависимости от характера суммируемых рисков, т.е. риск комбинированного эффекта по формулам (6) и (7):

$$CI = CR_1 + CR_2 + \dots + CR_n \quad (6)$$

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n \quad (7)$$

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

Обычно в практике расчета рисков определяют индивидуальный и популяционный риски для здоровья населения:

- **Индивидуальный риск** - оценка вероятности развития неблагоприятного эффекта у экспонируемого индивидуума, например, риск развития рака у одного индивидуума из 1 000 лиц, подвергавшихся воздействию (риск 1 на 1 000 или $1 \cdot 10^{-3}$). Обычно рассчитывается на период «в течение жизни».

- **Популяционный риск** – риск токсических эффектов у экспонированной группы населения (обычно рассчитывается на 1 год).

Оценка неканцерогенного риска проводится суммарно, а также по отдельным критическим органам и системам (табл. 2), например:

Таблица 2

Пример расчета рисков по отдельным органам (системам)

Вещество	Доза, мг/кг	RfD, мг/кг	HQ	Орган
А	0,005	0,05	0,1	почки
Б	16,0	4,0	4,0	печень
С	0,12	0,4	0,3	почки
Д	0,08	0,2	0,4	печень
Суммарный риск		HI общий	4,8	-
		HI почки	0,4	-
		HI печень	4,4	-

Как видно из таблицы 2, наибольший вклад как в суммарную величину HI, так и в риск воздействия на печень вносит вещество Б. Наименее значимую роль в формировании риска играет вещество А.

Шкала оценки рисков. При оценке индивидуального риска для здоровья ориентируются на систему критериев приемлемости (безопасности). Они различны для показателей канцерогенного и неканцерогенного рисков.

Канцерогенный риск (CR):

1. Первый диапазон риска (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или меньший $1 * 10^{-6}$, что соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн. экспонированных лиц) характеризует такие уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных рисков. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий (**риск допустимый; не вызывающий беспокойства**).

2. Второй диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни более $1 * 10^{-6}$, но менее $1 * 10^{-4}$) соответствует предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска. Данные уровни подлежат постоянному контролю (**риск, вызывающий беспокойство**).

3. Третий диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни более $1 * 10^{-4}$, но менее $1 * 10^{-3}$) приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Требуется разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий (**опасный риск**).

4. Четвертый диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или более $1 * 10^{-3}$) неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. Требуется экстренной профилактики (**чрезвычайно опасный, недопустимый риск**).

Неканцерогенный риск (NQ) количественно оценивается на основе расчета коэффициента опасности:

1. Если величина риска $NQ < 0,8$, то неканцерогенный риск считается **допустимым** ($< 0,5$ = целевой риск), не вызывающим беспокойства.

2. Если величина риска NQ от 0,8 до 1,0 - риск **предельно допустимый**, вызывающий беспокойство.

3. Если $NQ > 1$ – **опасный риск**.

Управление риском - процесс принятия решений, включающий рассмотрение совокупности политических, социальных, экономических медико-социальных и технических факторов совместно с соответствующей информацией по оценке риска с целью разработки оптимальных решений по устранению или снижению уровней риска. Является логическим продолжением оценки риска и направлен на обоснование наилучших в данной ситуации решений по его устранению или минимизации, а также контролю (мониторингу) экспозиций и рисков, оценке эффективности и корректировке оздоровительных мероприятий.

С целью снижения уровней риска могут использоваться следующие подходы: снижение числа и мощности воздействия источников опасности; повышение эффективности очистки выбросов загрязняющих веществ; уменьшение числа экспонированных лиц; снижение вероятности аварийных ситуаций.

Воронеж - крупнейший промышленный центр ЦЧР

Целью наших исследований является оценка экологического состояния крупнейшего промышленно развитого города Центрального Черноземья – Воронежа – с населением более 1 млн. человек.

Город расположен в лесостепной зоне, в бассейне Среднего Дона. Геологической основой территории служит докембрийский кристаллический фундамент, перекрытый 110-120 метровой толщей мергелистых глин, песчаников. Территория находится на границе двух геоморфологических провинций – Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности. В меридиональном направлении территорию пересекает долина р. Воронеж, расширяющаяся в черте города в пределах акватории созданного в 1972 г. Воронежского водохранилища. Правобережная часть города представляет собой высокое холмистое суглинистое плато с абсолютными отметками высот от 100 до 160 м и крутым коренным склоном около 35 м, обрывающимся к водохранилищу. Левобережная часть – пониженная выровненная поверхность 2-ой надпойменной террасы, возвышающаяся над урезом водохранилища на 10-20 м, преимущественно песчаного механического состава.

Климат города – умеренно-континентальный, с неустойчивым увлажнением. Средняя годовая температура воздуха около $+6,0^{\circ}\text{C}$. Зимой небольшие морозы (-8 – -11°C) часто сменяются оттепелями. В отдельные холодные зимы морозы достигают -35 – -37°C . Устойчивый снежный покров держится с декабря по март и составляет до 1,0 м. Лето теплое с ясной погодой, преобладающая дневная температура $+20$ – $+25^{\circ}\text{C}$, в отдельные дни достигает $+32$ – $+36^{\circ}\text{C}$ и более. Характерны высокая относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца – 83%, наиболее теплого месяца – 66%. Годовое количество осадков – около 550 - 600 мм. В холодный период года часты туманы, снижающие рассеивающую способность атмосферы, а в теплый период нередко перепады в состоянии погоды: выпадение осадков в виде ливневых дождей, гроз или засухи, чаще приходящиеся на вторую половину лета.

В розе ветров в целом преобладают западные румбы (около 40%), однако существенны и сезонные различия. Так, в зимне-весенний период увеличивается повторяемость юго-восточных ветров, а в летне-осенний – северных и северо-западных.

Под влиянием застройки в городе складывается микроклимат с повышенной температурой воздуха по сравнению с зональным фоном, увеличен и безморозный период. По данным Э.Ю. Безуглой [2] по потенциалу загрязнения атмосферы (ПЗА) Воронежская область находится на границе двух зон: умеренного и повышенного ПЗА. Частота инверсий со-

ставляет около 30 - 40%, причем максимум приземных инверсий, способствующих аккумуляции загрязняющих веществ, приходится на май (64%), август (66%), сентябрь (59%) и февраль (55%); минимум же - на январь (18%), декабрь (19%) и ноябрь (21%). При слабых ветрах характер движения воздушных масс определяется возникновением «острова тепла», вследствие которого над городом возникает небольшая депрессия. Анализ повторяемости слабых ветров (0-1 м/с) показывает, что максимум штилей наблюдается летом, минимум – зимой и весной. Наиболее часто слабые ветры наблюдаются в южной, низменной части города. В центре города и в северной его части, как правило, слабые ветры проявляются реже.

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

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

Современный Воронеж - индустриально развитый город, включающий шесть административных районов. В правобережной части расположены Центральный, Ленинский, Коминтерновский и Советский районы, на левом берегу Воронежского водохранилища - Левобережный и Железнодорожный. В центральной части города наибольшее развитие получили административно-селитебные зоны застройки преимущественно 50-60-х гг. прошлого века, которые окружены прерывистым кольцом промышленных предприятий. С 70-х годов начало формироваться внешнее функциональное кольцо, представленное жилыми микрорайонами. В настоящее время непосредственно застройкой занято около 20 тыс. га. Жилой фонд составляет около 17 млн. кв м жилой площади, 80% которой приходится на многоэтажную, а 20% - на низкоэтажную застройку.

В структуре города довольно отчетливо прослеживается общественно-деловой центр, в то же время общественные подцентры левобережья,

юго-западного и северного секторов города выражены слабо, хотя и образуют локальные «ядра» городской общественно-деловой застройки. Разветвленная и насыщенная городская инфраструктура, многочисленные промышленные предприятия машиностроительного, нефтехимического, энергетического профилей, загруженные автомагистрали и железнодорожное полотно, пересекающее как в широтном, так и в меридиональном (по левобережью) направлениях территорию города, создают предпосылки эколого-гигиенического неблагополучия. Наличие многочисленных низких источников вредных выбросов в атмосферный воздух преимущественно в трех промышленных районах города в сочетании с транспортной загруженностью создают потенциальную угрозу опасного загрязнения среды обитания.

На территории города исторически сложилось несколько промышленно-производственных комплексов. Одним из крупнейших является левобережный промышленно-производственный район (куст промышленных объектов, включающий ТЭЦ-1, заводы по производству синтетического каучука, шинный, авиационный). К другому крупному промышленному району относится Коминтерновский промышленный район (заводы преимущественно машиностроительного и радиотехнического профиля). В течение периода послевоенной застройки города промышленные районы и коммунально-складские зоны оказались поглощенными городской застройкой, а большинство жилых микрорайонов в настоящее время находятся в зоне влияния производственных объектов.

Крупные автомагистрали, пролегая через плотно заселенные микрорайоны, в большинстве случаев не только не соответствуют современным нормативам транспортной инфраструктуры в городах, но не в состоянии обеспечить достаточную пропускную способность, надежную защиту населения, проживающего вблизи крупных автомагистралей, от выхлопных газов и шума. Положение в последние годы особенно обострилось в связи с огромным числом личного автотранспорта и маршрутных такси, буквально «наводнивших» город.

Причина высокого загрязнения атмосферы помимо загруженности автотранспортом магистралей города кроется в низком качестве дорожного покрытия, отсутствии надлежащего озеленения, приближенности зоны жилой застройки к проезжей части, т.е. невыполнении современных градостроительных нормативов. Причем, плотная застройка продолжает наращиваться без адекватного развития инженерно-транспортной инфраструктуры, что приводит к ухудшению эколого-гигиенического состояния жилых микрорайонов и рекреационного потенциала пригородной зоны. Северный микрорайон разрастается, постепенно наступая на зеленую зону - северную дубраву, разделяющую аэропорт и городскую застройку. Не-

обходима продуманная система перспективной застройки города, а основными проблемами в области градостроения являются следующие:

- явная диспропорция в развитии функциональных зон города (с одной стороны, интенсивная застройка по ул. 9-е Января - А. Овсенко, Ломоносова, Московский пр-т - Шишкова, Рижская - Димитрова, а, с другой, - отставание наполнения её необходимой социально-бытовой инфраструктурой - сетями водотеплоснабжения, школами, детскими садами, зонами отдыха и т. д.);

- застройка преимущественно «староосвоенной» центральной части города, вырубка зеленых массивов без адекватных природоохранных компенсационных мероприятий;

- расширение многоквартирной застройки коттеджного типа в частном секторе без реконструкции инженерных коммуникаций (возрастание числа жителей обостряет транспортную проблему, ведет к дефициту питьевой воды, а чрезмерная и хаотичная застройка склонов правобережья водохранилища потенциально опасна из-за оползневых процессов);

- бессистемное размещение автозаправочных станций, объектов автосервиса, автостоянок иногда без согласования необходимых санитарно-защитных зон, следствием чего является повышенный риск экологически обусловленных заболеваний населения.

Таким образом, одной из главных проблем городской инфраструктуры является проблема сильной загруженности улично-дорожной сети и отсутствие резервных площадей для перспективного развития городской застройки. Развитие на юг ограничено 30-ти километровой санитарной зоной Нововоронежской АЭС, расширение застройки в северном направлении лимитировано ландшафтно-рекреационными комплексами, в частности, Воронежской дубравой, в западном направлении расширение застройки нецелесообразно вследствие пойменных земель долины Дона, вплотную подходящих к черте города. В соответствии с концепцией территориально-градостроительного развития г. Воронежа (1996) и Генпланом г. Воронежа (2006) развитие города (жилого фонда) намечено по двум направлениям: 1) на свободных от застройки территориях, занятых в основном сельскохозяйственными угодьями, 2) реконструкция ветхих и малоценных строений с модернизацией массовых серий 50-х годов XX века. Кроме того, небольшие площади для застройки жилыми зданиями будут изысканы при выносе из центральной части города отдельных промышленных предприятий (асфальтобетонных заводов, ряд автотранспортных предприятий и др.).

В перспективном градостроительстве, видимо, следует ориентироваться на расширение пешеходных зон и ограничение движения транзитного транспорта в центральном секторе города; проектирование надземных и подземных переходов на автомагистралях и сокращение остановок

на светофорах; оснащение объектами соцкультбыта перспективных, но отдаленных микрорайонов - ВАИ, Агроуниверситета, Северо-Восточного; ограничение застройки зоны рекреации и склона водохранилища; повышение качества санитарной очистки города от отходов производства и потребления.

Наличие рассредоточенной разноэтажной застройки с элементами совмещения селитебной, промышленной и транспортной инфраструктуры без четкого градостроительного зонирования приводит к формированию очагов техногенного загрязнения городской среды обитания.

Основными источниками антропогенного загрязнения города являются промышленные предприятия, автотранспорт, инженерные сети, коммунальные и энергетические объекты, строительные и отделочные материалы, применяемые при возведении зданий. Так, если в 70-х годах прошлого века доля загрязнений, привносимых автотранспортом в атмосферу, составляла менее 13%, то в настоящее время, она достигает более 80% и продолжает нарастать. Специфика передвижных источников загрязнения атмосферы проявляется в расположении выхлопных труб практически в зоне дыхания человека, худшем рассеивании ветром выхлопных газов (по сравнению с промышленными выбросами, имеющими высокие дымовые трубы), а также в близости источников к жилым микрорайонам. На территории города зарегистрировано более 300 тысяч единиц транспортных средств, в том числе 2551 единица грузового автотранспорта, приписанных к предприятиям и организациям города [4].

Основными составляющими выхлопных газов являются оксиды углерода, азота, серы, углеводорода, взвешенные вещества, содержание которых возрастает в процессе эксплуатации автомобиля в связи с износом двигателей. В пассажирских перевозках г. Воронежа крайне мала доля электротранспорта, который является более экологически чистым. При этом, в областном центре количество троллейбусов в 2013г., по сравнению с 2011 годом, снизилось с 73 до 59 единиц [4].

Существенный вклад в загрязнение воздушного бассейна г. Воронежа помимо автотранспорта обеспечивают стационарные источники. Основная роль в загрязнении атмосферного воздуха принадлежит предприятиям производства транспортных средств, машиностроения и оборудования (ОАО «ВАСО», ОАО «Тяжекс», ФКА «Воронежский механический завод»), химической промышленности (ООО «Воронежский шинный завод», ОАО «Воронежсинтезкаучук»), теплоэнергетики (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 ОАО «Квадра»); коммунального хозяйства (Правобережные очистные сооружения ООО «РВК-Воронеж», ООО «Левобережные очистные сооружения»). Приоритетными загрязняющими веществами в выбросах перечисленных предприятий являются: азота диоксид, углерода оксид, сероводород, формальдегид, углеводороды [4].

Следует отметить в ряде случаев довольно неудачное размещение селитебных зон города относительно приоритетных стационарных источников загрязнения атмосферы, особенно в юго-восточном левобережном секторе города вблизи мощных промышленных гигантов ТЭЦ-1, ОАО «Воронежсинтезкаучук» и ООО «Воронежский шинный завод», который жители города образно называют «Воронежский Бермудский треугольник», подчеркивая его высокую потенциальную опасность для населения, проживающего в зоне влияния данных объектов. Нерациональное градостроительное зонирование – важнейший потенциальный фактор формирования зон экологического риска.

Относительно благополучными по состоянию воздушной среды могут быть признаны только Северный жилой район и жилая зона в микрорайоне «Березовая роща – Агроуниверситет». Эти преимущественно «спальные» микрорайоны лишены промышленных узлов; кроме того они характеризуются хорошими условиями самоочищения: в первом случае удачно расположение района относительно промышленных зон как по рельефу, так и ветровому режиму (вне зоны промышленного воздействия), во втором – доминирующую роль в состоянии среды играют зелёные насаждения, в которые «встроена» застройка. Запылённость воздуха снижается и над гладью Воронежского водохранилища, которое меняет биоклиматические параметры воздушной среды на локальном уровне и является естественным проводником воздушных масс со стороны северных лесных массивов.

Таким образом, разветвленная и насыщенная инфраструктура, многочисленные предприятия нефтехимического, машиностроительного, энергетического профилей, загруженные автомагистрали и железнодорожное полотно, пересекающее территорию города, создают предпосылки эколого-гигиенического неблагополучия.

Методическая схема исследования экологического состояния городской среды

Нами разработана и поэтапно реализуется следующая методическая схема исследования экологического состояния среды обитания г.Воронежа.

1. Оценка микроклимата и загрязнения воздушного бассейна города. Предусмотрены комплексные микроклиматические исследования для оценки аэрации, термического комфорта, выявления городских "островов тепла" и климатопов; оценка загрязнения атмосферы по приоритетным загрязняющим веществам (пыль, окислы азота, серы, фенол, формальдегид, углеводороды и др.) с помощью анализа данных стационарных, передвижных и подфакельных постов контроля атмосферы. В зимний период

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

2. Оценка загрязнения почвенного покрова. Предусмотрен отбор проб и их анализ лабораторными методами на содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов как приоритетных загрязнителей городской среды, что позволит оценить корреляцию ("сходимость") данных по качеству среды (атмосфера - почва) и обосновать интегральный индекс качества городской среды по уровню техногенного загрязнения.

3. Анализ реакций древесных растений на состояние городской среды (биоиндикация). Направлен на выявление неблагоприятных эффектов в состоянии древесных растений и включает: инвентаризацию зеленых насаждений и их таксономический, географический, биоморфологический, экологический анализ; определение жизненного состояния древесных растений, произрастающих в различных условиях воздушного загрязнения; оценка влияния экологического состояния почвенного субстрата на зеленые насаждения. Виды-биоиндикаторы экологического состояния территории г.Воронежа: береза повислая (*Betula pendula* Roth.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), вяз перистоветвистый (*Ulmus pinnato-ramosa* Desck.); биоиндикационные показатели: макроскопические морфологические изменения - хлорозы, некрозы, изменение размера органов, флуктуирующая асимметрия. Предусмотрены специализированные гистохимические исследования (дитизиновая методика).

4. Анализ состояния здоровья городского населения и оценка риска здоровью, связанного с состоянием городской среды. Будет базироваться на современных подходах к оценке канцерогенного, неканцерогенного рисков в соответствии с "Руководством по оценке риска" (2004) [8], методах вероятностно-статистического анализа; в качестве индикаторной группы выбрано детское население; база данных по материалам официальной статистики Департамента здравоохранения г.Воронежа включает период ретроспекции за последние 5 лет (2009 - 2013 гг.).

5. Создание геоинформационно-аналитического комплекса для обеспечения мониторинга и интегральной оценки экологического состояния городской среды ("ЭКОГИС" г.Воронежа). Функции ГИС: "послойное" отображение с пространственной привязкой элементов городской инфраструктуры и природного комплекса (эколого-функциональные зоны и участки с различным микрорельефом, радиационным балансом, микроклиматом): рельеф, застройка жилая, застройка промышленная, транспортные коммуникации, ландшафтно-рекреационные объекты. Отдельные "слои" характеризуют источники техногенного риска (промышленные объекты,

автотранспорт и интенсивность транспортных потоков), состояние окружающей среды (качество воздушного бассейна, загрязнение почвенного покрова, состояние видов-биоиндикаторов), состояние общественного здоровья и индексы потенциального риска здоровью населения.

Создание "ЭКОГИС" г.Воронежа будет служить основой тематического геоинформационного картографирования экологических ситуаций. В качестве технологической платформы создания информационных баз данных и аналитических исследований используется стандартный пакет анализа MS EXCEL (корреляционно-регрессионный анализ), а также комплекс геоинформационных технологий (в среде MapInfo).

Основа формируемого банка данных - информация по пунктам мониторинга различных сред, в том числе стационарным и передвижным постами контроля загрязнения воздушного бассейна, а также выбранным нами дополнительным локальным пунктам мониторинга для относительно равномерного охвата всей территории города с учетом функционально-планировочных зон. Всего для экогеохимических исследований экспертным путем выбрано 75 точек (для снежного покрова - 48) - пунктов систематического мониторинга состояния городской среды, краткая характеристика которых приведена в таблице 3.

Таблица 3

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

№ точки *	Местоположение точки отбора проб	Функциональная зона**	Исследуемые среды (+)			
			атмосфера	снег	почва	растения
1	2	3	4	5	6	7
1(С)	ул. Ростовская, 44	жилая ЦИ	+	+	+	+
2(С)	ул. Лебедева, 2	промышленная	+	+	+	+
3	ул. Черепанова, 18	жилая ЧС	+	+	+	+
4	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	рекреационная	+	+	+	+
5(П)	ул. Героев Стратосферы, 8	жилая ЦИ	+	+	+	+
6	ул. Ильюшина, 12б	промышленная	+	+	+	+
7	ул. Димитрова-ул. Волгоградская	транспортная	+	+	+	+
8	ул. Старых Большевиков, 47	промышленная	+	+	+	+
9	Парк «Дельфин» (ул. Остужева)	рекреационная	+	+	+	+
10	Ленинский проспект, 149	транспортная	+	+	+	+

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
11	больница Электроника	рекреационная	+	+	+	+
12	ул. Грибоедова, 5	жилая СП	+	+	+	+
13	ул. Землячки, 1	промышленная	+	+	+	+
14	ул. Б. Хмельницкого, 35	промышленная	+	+	+	+
15	ул. Куйбышева – ул. Панфилова	транспортная	+	+	+	+
16	ул.Калининградская, 61	жилая ЧС	+	+	+	+
17	СОК «Олимпик»	рекреационная	+	+	+	+
18	ул. Ломоносова, 114/13	рекреационная	+	+	+	+
19(П)	ул. Дарвина, 1	рекреационная	+	+	+	+
20	ул. Ломоносова, 83	жилая ЦИ	+	+	+	+
21	ул. Вл. Невского, 53	жилая СП	+	+	+	+
22	ул. Хользунова, 102	транспортная	+	+	+	+
23	ул. Генерала Лизюкова, 73а	жилая СП	+	+	+	+
24	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	+	+	+	+
25	ул. Ломоносова, 1	жилая ЧС	+	+	+	+
26(С)	ул. Лидии Рябцевой, 51б	промышленная	+	+	+	+
27(П)	Московский проспект, 36	транспортная	+	+	+	+
28	ул. Машиностроителей, 8	промышленная	+	+	+	+
29	Ясный проезд, 13	промышленная	+	+	+	+
30	ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко	транспортная	+	+	+	+
31	ул. Холмистая, 41	промышленная	+	+	+	+
32	ул. 3 Интернационала, 4	жилая ЦИ	+	+	+	+
33	Парк «Орленок»	рекреационная	+	+	+	+
34	ул. Степана Разина – ул. Большая Манежная	транспортная	+	+	+	+
35(С)	ул. 9 Января, 49	транспортная	+	+	+	+
36	ул. Володарского, 60	жилая ЦИ	+	+	+	+
37(П)	ул. 20-летия Октября, 94	транспортная	+	+	+	+
38	ул. Пирогова, 79	промышленная	+	+	+	+
39	Петровская Набережная	рекреационная	+	+	+	+
40	ул. Моисеева, 11	жилая СП	+	+	+	+
41	ул. Депутатская, 12	жилая ЦИ	+	+	+	+
42(С)	ул. Ворошилова, 30	жилая ЦИ	+	+	+	+
43	Парк «Танаис» (ул. Южно-Моравская)	рекреационная	+	+	+	+
44	ул. Кривошеина, 11	промышленная	+	+	+	+
45(П)	ул. Матросова, 6	транспортная	+	+	+	+
46	ул. Краснознаменная – пер. Казарменный	транспортная	+	+	+	+

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
47	ул. Саврасова – ул. Заслонова	транспортная	+		+	+
48	ул. Ленинградская, 98а	промышленная	+		+	+
49	ул. Циолковского – ул. Туполева	жилая ЧС	+		+	+
50	ул. Волгоградская, 48	промышленная	+		+	+
51	Парк «Алые паруса»	рекреационная	+		+	+
52	ул. Брусилова – Ленинский проспект	транспортная	+		+	+
53	ул. Димитрова - ул. Ленинградская	транспортная	+		+	+
54	ул. 25 Января, 16	жилая СП	+		+	+
55	ул. Маршала Одинцова, 11	рекреационная	+		+	+
56	ул. Дарвина	рекреационная	+		+	+
57	Победы бульвар – ул. 60 Армии	транспортная	+		+	+
58	ул. Ипподромная, 55	жилая ЧС	+		+	+
59	ул. Транспортная, 83а	жилая СП	+		+	+
60	ул. Шишкова, 53	жилая ЧС	+		+	+
61	ул. Нагорная, 65	жилая ЧС	+		+	+
62	ул. Набережная Массалитинова, 1	рекреационная	+		+	+
63	ул. Урицкого, 47	промышленная	+		+	+
64	проспект Труда, 111	промышленная	+		+	+
65	ул. 9 Января, 180	промышленная	+		+	+
66	ул. 9 Января, 262/1	рекреационная	+		+	+
67	ул. Дорожная, 15	промышленная	+		+	+
68	Патриотов проспект, 3	промышленная	+		+	+
69	ул. Скрибиса, 16	транспортная	+		+	+
70	санаторий им. Горького	фон	+	+	+	+
71	СТ «Северный бор»	фон	+	+	+	+
72	пгт. Рамонь, ул. Тутукова	фон	+		+	+
73	пгт. Рамонь, ул. Юбилейная, 5	фон	+		+	+
74	пгт. Рамонь, ул. Мосина, 6	фон	+		+	+
75	пгт. Рамонь, ул. 50 лет Октября, 7	фон	+		+	+

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

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

Для балльно-рейтинговой оценки мест рекреации в пределах города и пригородной зоны проведено эколого-химическое обследование основных пляжных участков территории города и ближнего Подворонежья.

Комплексный подход к исследованию экологического состояния городской среды позволит создать пространственно структурированные базы данных по основным экологически значимым компонентам среды обитания и критериям общественного здоровья для обеспечения экологического мониторинга и эффективного городского территориального планирования и благоустройства. Результаты первого этапа исследования изложены далее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авалиани С.Л. Региональная экологическая политика. Мониторинг здоровья человека и здоровья среды // С.Л. Авалиани, Б.А. Ревич, В.И. Захаров. – М.: ЦЭПР, 2001. – 76 с.
2. Безуглая Э.Ю. Чем дышит промышленный город / Э.Ю. Безуглая, Г.П. Расторгуева, И.В. Смирнова. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 256 с.
3. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сагит, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
4. Доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в городском округе город Воронеж в 2013 году. – Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2014. – 107 с.
5. Киселев А.В. Оценка риска здоровью / А.В. Киселев, К.Б. Фридман. – СПб.: Межд. Институт оценки риска здоровью, 1997. – 103 с.
6. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин и др.; под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
7. Ревич Б.А. Экологическая эпидемиология / Б.А. Ревич, С.Л. Авалиани, Г.И. Тихонова. – М.: Издат. центр «Академия», 2004. – 384 с.
8. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920 — 04). – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
9. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.
10. Экология человека: Учебн. пособие / Под ред. Б.Б. Прохорова. – М.: МНЭПУ, 2001. – 440 с.

АНАЛИЗ МИКРОКЛИМАТА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

И.В. Попова, С.А. Куролан

Одной из наиболее обсуждаемых проблем последнего десятилетия является гипотеза глобального изменения климата, которая имеет очевидные проявления в различных регионах. Так, среднегодовая температура воздуха на территории Воронежской области за последние 100 лет повысилась на 2°C [3]. Жаркое лето 2010 года – показательный индикатор процессов потепления климата в Европейской части России и их негативного влияния на здоровье населения. Для европейской части России, где большая часть населения проживает в городах, становится актуальным вопрос экологически ориентированного градостроительного планирования для смягчения последствий изменения климата и создания комфортной среды обитания. В этой связи изучение городского микроклимата и особенно термической комфортности приобретает большое практическое значение. Задачами исследования микроклимата города является оценка роли климатообразующих факторов в условиях городской среды, установление микроклиматических различий, выделение участков со схожим микроклиматическим режимом (климатопов).

На примере городского округа город Воронеж нами был опробован комплексный подход к изучению микроклимата города, включающий традиционные методы натурных микроклиматических наблюдений и современные геоинформационные технологии анализа городской среды, широко используемые в зарубежной практике. Получаемые карты микроклиматической дифференциации территории города наглядно иллюстрируют характер изменения основных климатических характеристик в зависимости от природных условий и градостроительной инфраструктуры [1].

Особенности городского микроклимата

Климатическая ситуация любой территории в вертикальном разрезе может быть охарактеризована на трех уровнях: микроклимат, мезоклимат и макроклимат.

Макроклиматические явления наблюдаются вне сферы возмущения атмосферы, вызываемого особенностями подстилающей поверхности, на высоте десятков и даже сотен метров.

Мезоклимат формируется во взаимодействии общеклиматических факторов с природными факторами подстилающей поверхности местного масштаба (наличие крупного водоема, лесного массива, города и т.д.).

Городской климат формируется в результате взаимодействия физических атмосферных процессов у поверхности земли в границах города и его окружения. Всемирная метеорологическая организация в 1981г. дала определение «городского климата» как климата, формирующегося вслед-

ствие непрерывного взаимодействия воздушных масс с подстилающей поверхностью городской среды и под ее влиянием. В настоящее время понятие «городской климат» определяют также как результат антропогенного изменения естественных процессов образования климата.

Структура и плотность городской застройки, размеры города, площадь свободных территорий и характер окружающего пространства, а также движение транспорта, работа теплоэлектростанций и предприятий города оставляют отпечаток на характере протекания атмосферных процессов. Здания и искусственные поверхности, способные накапливать тепло, недостаточное озеленение, а также выброс загрязняющих веществ в атмосферу приводят к образованию «островов тепла», характеризующихся увеличением средней температуры воздуха и количества ядер конденсации в атмосфере, снижением влажности, скорости ветра и затруднением аэрации городских территорий по сравнению с окружающими пространствами.

Наиболее характерные закономерности изменения температуры воздуха при переходе от сельской местности к центральной части города показаны на рисунке 1.

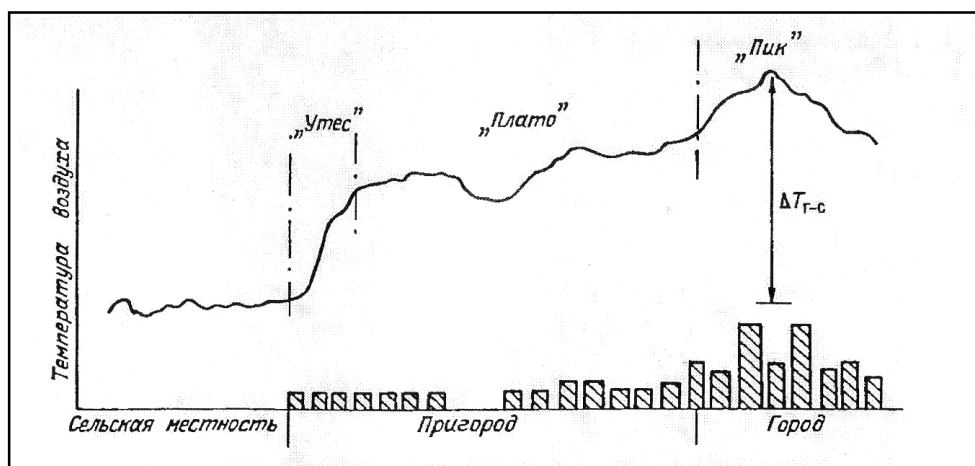


Рис. 1. Обобщенное сечение характерного «острова тепла»

Микроклимат формируется в результате преобразования солнечной энергии вблизи подстилающей поверхности почвы, в так называемом деятельном слое. Неоднородность строения этого слоя ведет к различиям метеорологического режима, которые даже в близкорасположенных пунктах иногда весьма различны. При анализе микроклиматической дифференциации городских территорий важно учитывать, что его формирование происходит под влиянием планировочной структуры, включая мощность и расположение промышленных территорий, степень развитости транспортной сети, но в большей степени зависит от интенсивности техногенных загрязнений, характера и особенностей их распространения.

Методический подход к анализу и картографированию микроклимата

Исследования микроклимата и создание термических карт городской среды – новое направление в урбоэкологии, которое получило развитие ещё в 70-х гг. прошлого столетия как «концепция городского климатического картографирования», активно разрабатываемая в настоящее время L. Katzschner, U.Wang, M. Röttgen и другими европейскими учеными [2, 5].

Основой изучения микроклимата обычно служат натурные инструментальные микроклиматические наблюдения на территории города в течение года, при типичных для каждого сезона синоптических ситуациях, когда фоновые параметры максимально соответствуют среднегодовым характеристикам. Измеряются температурно-влажностные и ветровые характеристики на расстоянии 1,5 м от поверхности земли.

Опираясь на принятые в Европе подходы, нами на примере г.Воронежа в течение 2013г. проведены исследования по системе экспериментальных площадок (опорных точек наблюдений) в условиях различной застройки, плотности озеленения и рельефа. Поскольку функциональное зонирование города проявляется не вполне четко, то были выбраны наиболее типичные участки городской среды.

Всего было намечено 17 точек: 10 точек на правом берегу и 7 точек на левом берегу Воронежского водохранилища, а их краткая характеристика представлена в таблице 1.

Маршрут микроклиматических наблюдений учитывает закономерности формирования микроклимата в различных климатопах города. Программа наблюдений позволяет в ограниченном временном промежутке, в условиях различных погодных условий статистически обрабатывать и объективно сравнивать данные измерений.

Наблюдения проводились по установленным срокам, для различных сезонов года: 06:00-09:00 (восход солнца, утро); 12:00-14:00 (полдень); 16:00-19:00 (послеполуденное время за 3 часа до захода солнца); 19:00-22:00 (заход солнца, вечер). В течение одного срока наблюдений (1-2 часа) были охвачены все опорные точки на одном из берегов города. Программа наблюдений выстроена в соответствии с гипотезой, что различные поверхности (строительные материалы, газон, водные поверхности) нагреваются, накапливают тепло и остывают с различной скоростью.

Результаты исследования в конечной точке наблюдения обнулялись и сравнивались с измеренной температурой на фоновой метеостанции, таким образом, чтобы полученные данные наблюдений в разное время, дни и сезоны могли быть сравнимы. То есть для статистической обработки мы использовали не фактические микроклиматические показатели, а структурированные температурно-влажностные характеристики, представляющие

собой разницу между измеренными показателями и данными фоновой метеостанции. В качестве фоновых климатических условий использовались данные метеостанции «34123-Воронеж», расположенной в координатной точке 51,6°с.ш. и 39,2°з.д., на высоте 104 м над уровнем моря.

Таблица 1

Характеристика опорных точек наблюдений

№ п/п	Адрес точки	Климатоп	Краткая характеристика
<i>Правый берег</i>			
1	ул. Ломоносова, 114/10	Селитебно-рекреационный	Жилая застройка в «экологически чистом» микрорайоне
2	ул. 20 лет Октября, 121	Садово-парковый	Парк «Живых и Мертвых»
3	ул. Генерала Лизюкова, 42	Садово-парковый	Парк «Десантников»
4	ул. Генерала Лизюкова, 53	Селитебный	9-ти этажная жилая застройка
5	ул. Свободы, 31	Селитебный	5-9-ти этажная застройка в историческом центре города
6	ул. Чернышевского, 1	Аквальный	Прибрежная зона водохранилища
7	ул. Донбасская, 18 а	Железнодорожный	Вблизи вокзала "Воронеж-Курский"
8	Московский проспект, 89 б	Транспортный	Пересечение ул. Хользунова и Московский проспект
9	ул. Кольцовская, 52	Транспортный	Пересечение ул. Кольцовская и ул. Плехановская
10	ул. Революции 1905 года, 86	Промышленно-индустриальный	Территория завода им. Калинина
<i>Левый берег</i>			
11	ул. Полины Осипенко, 13	Садово-парковый	Парк «Авиастроителей»
12	ул. Минская, 69	Селитебно-рекреационный	9-12-ти этажная застройка в «экологически чистом» микрорайоне
13	ул. Переверткина, 27	Селитебный	5-9-ти этажная жилая застройка
14	ул. Мопра, 8б	Аквальный	Прибрежная зона водохранилища
15	ул. Циолковского, 27	Железнодорожный	Станция «Придача»
16	Ленинский проспект, 95	Транспортный	Пересечение ул. Брусилова и Ленинский пр-т
17	ул. Лебедева, 2	Промышленно-индустриальный	Территория завод ТЭЦ-1

Для систематизации данных о микроклиматической дифференциации городской среды и изучения зон формирования экологического риска для

населения города Воронежа использована специально созданная геоинформационная система в программной среде ArcGIS (версия 10.0).

В качестве топоосновы послужили постоянно обновляемые аэрофотоснимки территории Воронежа, подгружаемые с сайтов Bingmap, Google, Yandex и др. в интерактивном режиме. Данные о застройке и реальном использовании земель были уточнены в результате маршрутных обследований территории.

Поскольку явление климатопы тесно связано с функциональным использованием земель, на первом этапе были созданы 14 векторных слоев, характеризующие функциональное зонирование городского округа город Воронеж и особенности подстилающей поверхности. Краткое описание и микроклиматическая характеристика каждого слоя представлена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика и микроклиматические особенности
векторных слоев в ArcGIS

Слой	Описание	Микроклиматические особенности
<i>Здания и сооружения</i>	Здания и сооружения различной этажности	Высокая способность накапливать и излучать тепло в окружающее пространство, зависящая от объемов здания. Наиболее нагретыми участками являются крыши
<i>Территории многоэтажной застройки</i>	Современная застройка с высокой плотностью размещения зданий выше 5-ти этажей и скудным озеленением придомовых территорий	Очень высокая способность накопления тепла. Высокий процент асфальтированных покрытий. Изменение направления и скорости ветра. Выраженный «остров тепла»
<i>Территории среднеэтажной застройки</i>	Трех-пятиэтажная застройка 50-70-х годов XX века со средней плотностью размещения зданий, высокой долей зеленых насаждений в структуре микрорайона	Низкая способность накопления тепла. Невысокая доля заасфальтированных участков. Изменение направления и резкое снижение скорости ветра. Сильное излучение тепла зимой за счет устаревания и несовершенства систем отопления микрорайона и нарушения герметичности внешних ограждающих конструкций. Ярко выраженный «остров тепла» зимой, который слабо прослеживается в летнее время

Слой	Описание	Микроклиматические особенности
<i>Территории малоэтажной застройки</i>	По большей части регулярная застройка низкой плотности. Частные дома с приусадебным участком в черте города; ветхая застройка прошлого столетия со средней степенью древесно-кустарникового озеленения; современные мало-семейные дома	Средняя способность накапливания тепла. Незначительное излучение тепла поверхностями. Асфальтовое покрытие только на дорогах и проездах. Образование ночного «острова тепла»
<i>Сады</i>	Частная малоэтажная застройка за чертой города, дачные участки с высокой степенью озеленения территории	Хорошо продуваемые территории, низкий уровень термического загрязнения
<i>Зеленые насаждения общего пользования</i>	Лесные насаждения, парки, скверы за городом и в его черте площадью более 600 м ²	Низкий уровень поглощенной и отраженной радиации, слабовыраженный дневной ход метеозлементов. Достаточно сильное ночное выхолаживание, низкая способность накапливания тепла
<i>Луговая и кустарниковая растительность</i>	Луга, в том числе заливные. Зеленые газоны. Редкая мелкокустарниковая растительность, отдельные деревья и древесные группы площадью менее 600 м ²	Хорошо продуваемые территории с ярко выраженным суточным ходом метеозлементов, более интенсивное прогревание по сравнению с лесными насаждениями и более высокая влажность по сравнению с сельскохозяйственными полями
<i>Сельскохозяйственные территории</i>	Сельскохозяйственные поля, в том числе паровые	Обширные открытые территории, занятые невысокими сельскохозяйственными видами растительности. Высокая степень накапливания тепла.
<i>Промышленная зона</i>	Здания и сооружения из различных строительных конструкций и материалов. Очень высокая плотность застройки и асфальтовых покрытий	Загрязнение воздушного бассейна, термическое загрязнение, высокий уровень излучаемого тепла
<i>Грунтовые дороги</i>	Неасфальтированные проезды и участки дорог, наиболее часто встречающиеся в "частной застройке".	Низкий альбедо подстилающей поверхности в виде утрамбованного чернозема обуславливает накопление тепла

Слой	Описание	Микроклиматические особенности
<i>Дорогие с твердым покрытием</i>	Асфальтированные городские улицы, участки шоссе и трасс в черте города, городские площади и аэродромы	Низкий альbedo асфальтированной поверхности вместе с горячими выхлопами автомобилей способствуют формированию ярко выраженного приземного «острова тепла», имеющего вытянутую форму. Интенсивное загрязнение приземного слоя атмосферы
<i>Железные дороги</i>	Железнодорожное полотно, в том числе и не эксплуатируемое	Быстро прогреваемые в солнечную погоду и быстро остывающие ночью поверхности
<i>Рельеф</i>	Понижения и повышения, локальные рельефные образования, овражно-балочная сеть	Экспозиция склона по отношению к солнечному свету является фактором формирования микроклимата. Южные склоны оказываются более «теплыми», чем ориентированные на север
<i>Водохранилище</i>	Территория Воронежского водохранилища	Создает аэродинамический коридор. У берегов наблюдается бризовая циркуляция. Спокойный в течение дня ход температуры обусловлен термической инертностью воды. Высокий уровень теплового загрязнения водохранилища способствует более позднему становлению льда
<i>Другие водные объекты</i>	Реки, притоки, ручьи.	Спокойный в течение дня ход температуры в связи с термической инертностью воды. Незначительная шероховатость поверхности определяет высокие скорости ветра, обусловленные рельефом бассейна

Полученная электронная карта-основа в среде ArcGIS послужила базой для дальнейшего выделения границ климатопов, различающихся по температурно-влажностному режиму, а также для оценки размеров и мощности городского «острова тепла».

Созданные этим методом карты иллюстрируют влияние городской застройки на термический режим, особенности аэрации, а также циркуляции воздушных масс в урбанизированной среде. Моделирование осуществляется с помощью специального ГИС-анализа, который разбивает город на пространственные ячейки, для каждой из которых рассчитываются тепловые индексы, выраженные в баллах [4]. Минимальный «балл» соответствует минимальной или отрицательной среднегодовой температурной раз-

нице по сравнению с метеостанцией, измеренной в результате микроклиматических наблюдений, а максимальный «балл» задается участкам городского ландшафта с положительным тепловым балансом.

Проведенные исследования позволили установить следующие закономерности:

- на городской микроклимат существенное влияние оказывают условия аккумуляции тепла, тепловой баланс и неоднородность подстилающей поверхности, количественные оценки которых служат вводными параметрами для создания карт микроклиматической дифференциации; тепловой баланс поверхности определяет скорость её охлаждения или аккумуляции тепла;

- здания и асфальтированные покрытия оказывают существенное влияние на аккумуляцию тепла, что приводит к формированию на территории городов «островов тепла» (особенно важны объемные параметры здания, т.е. высота, длина, ширина строений, а также плотность и параметры материалов и ограждающих конструкций);

- 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.

На основе полученных результатов расчета суммарного теплового индекса была построена картосхема микроклиматической дифференциации города (таблица 3, рисунок 2).

Вся территория г. Воронежа (в графическом формате) разбита на участки различного цвета (от зеленого до красного); выделены 3 микроклиматические зоны (1-вполне комфортная, 2 – умеренно комфортная, 3 – дискомфортная) и 6 подзон (1а, 1б,; 2а, 2б; 3а, 3б) с различным уровнем комфортности условий жизнедеятельности населения города.

Таблица 3

Характеристика микроклиматических зон комфортности городской среды

Категория комфортности	Преобладающие условия	Характеристика
Микроклиматическая зона вполне комфортная: оптимальной комфортности (1а)	Холодный воздух, аэрационные коридоры	Участки с незначительной шероховатостью поверхности, наиболее активно участвующие в охлаждении и возникновении холодных потоков воздуха. Садово-парковый климатоп на северных склонах в вегетационный период; аквальный климатоп в теплый период года; железнодорожный климатоп в ночное время суток

Категория комфорта	Преобладающие условия	Характеристика
Микроклиматическая зона вполне комфортная: повышенной комфортности (1б)	Свежий и холодный воздух, аэрационные коридоры	Участки преимущественно с высокой степенью озеленения, занятые лесами с высокой очищающей способностью и в условиях отсутствия источников загрязнения атмосферы. Садово-парковый климатоп на южных склонах
Микроклиматическая зона умеренно комфортная: достаточной комфортности (2а)	Смешанный воздух, выраженное влияние аэрационных коридоров	Озелененные участки, склоны, территория частной застройки, удаленная от источников загрязнения атмосферы. Селитебно-рекреационный климатоп
Микроклиматическая зона умеренно комфортная: пониженной комфортности (2б)	Смешанный воздух, частая смена ветровых режимов от слабовыраженных аэрационных коридоров до перегретого слабо-вентилируемого воздуха	Участки застройки малой и средней этажности со средней степенью озеленения. Селитебный климатоп
Микроклиматическая зона дискомфорта: низкой комфортности (3а)	Перегретый слабо-вентилируемый воздух	Промышленная зона, территория городской застройки с низкой степенью озеленения в центральной части города, сельскохозяйственные поля. Промышленный климатоп
Микроклиматическая зона дискомфорта: высокого дискомфорта (3б)	Сильно-перегретый воздух, застойный воздух	Слабо-озелененные участки плотной современной многоэтажной застройки, открытые площади и участки улично-дорожной сети в центральной части города. Транспортный железнодорожный климатоп в теплое время года и при ясном небе

Выполненное микроклиматическое зонирование территории Воронежа позволяет оценивать факторы формирования микроклимата в условиях городской среды, размеры и мощность «острова тепла», образующегося над городом. С точки зрения биоклиматической комфортности благоприятные условия в летнее время года складываются в садово-парковом климатопе, условно-комфортные – в селитебно-рекреационном и аквальный климатопе. В зимнее время картина меняется: наиболее комфортными являются территории среднеэтажной застройки (селитебно-рекреационный климатоп), а при низких скоростях ветра условно-комфортным принимают селитебный климатоп.

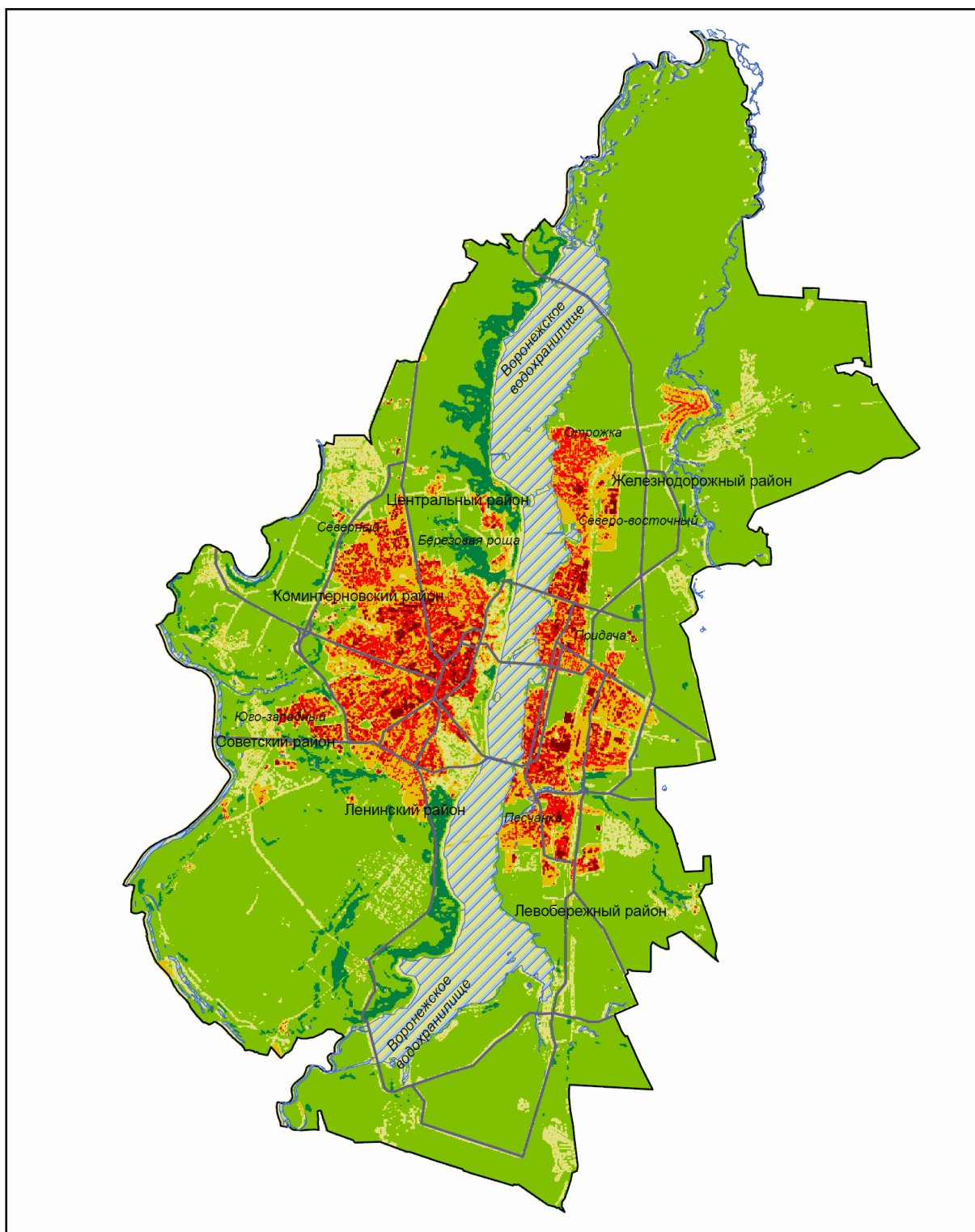


Рис. 2. Микроклиматическая дифференциация территории городского округа город Воронеж

*Микроклиматические зоны различной комфортности (см. таблицу 3):
1 (зеленый цвет) – вполне комфортная; 2 (желтый и оранжевый цвета) – умеренно комфортная; 3 (красный и бордовый цвета) – дискомфортная.*

Микроклиматическая дифференциация территории на рисунке 2 представлена для теплого периода, что может быть актуально при высоких летних температурах, причем низкая рассеивающая способность атмосферы и приземные инверсии в ночное время при высоком уровне загрязнения воздуха и дискомфортных микроклиматических условиях в центральной части города могут способствовать возникновению дополнительного экологического риска для населения.

Составленная картосхема микроклиматической дифференциации территории города Воронежа может быть использована при разработке стратегического планирования развития городской среды и пригородной зоны для повышения комфортности условий проживания населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lohmeyer A. Lohmeyerer aktuell / A. Lohmeyer. – Klimafunktions – und Planungshinweiskarten, 2008.
2. Ng E. Initial methodology of urban climatic mapping – Urban climatic map and standards for wind environment / E. Ng, L. Katzschner, U. Wang. – Feasibility study, Technical report for planning department HKSAR, April 2007.
3. Дмитриева В.А. Термический режим г. Воронежа на фоне глобального потепления климата / В.А. Дмитриева // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. – 2001. – №1. – С. 129 – 135.
4. Куролап С.А. Экологическая оценка микроклимата и техногенного загрязнения воздушного бассейна города Воронежа / С.А. Куролап, О.В. Клепиков, И.В. Добрынина // Проблемы региональной экологии. - 2012. – №1. – С. 24-29.
5. Куролап С.А. Микроклимат и сезонная динамика полей аэрогенного загрязнения городской среды обитания (на примере города Воронежа) / С.А. Куролап, И.В. Добрынина, Д.Р. Владимиров // Экология регионов: Сборник мат-лов III межд. науч.-практ. конф. – Владимир, 2010. – С. 34-39.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Л.М. Акимов, Е.Л. Акимов

Характер временной и пространственной изменчивости концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов определяется большим числом разнообразных факторов. Знание закономерностей формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха, тенденций их изменений является крайне необходимым для обеспечения требуемой чистоты воздушного бассейна. Основой для выявления подобных закономерностей служат наблюдения за состоянием загрязнения воздушного бассейна. От возможностей и качества проводимых наблюдений зависит эффективность всех воздухоохраных мероприятий. Планирование и проведение мероприятий по охране чистоты атмосферного воздуха требует детального научного обоснования в региональном аспекте, а исследование метеорологического потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА) является актуальной задачей [1 – 5, 8].

Основные источники загрязнения атмосферы промышленных городов: предприятия нефтехимии, строительной индустрии, машиностроения, ТЭЦ, котельные, печные трубы жилых домов, а также железнодорожный и автомобильный транспорт. Выбросы автомобилей достигают 92% от общего объема антропогенных выбросов. В выбросах предприятий различных отраслей промышленности и транспорта содержится большое число различных вредных примесей. Почти из всех источников в атмосферу поступают диоксид серы (SO_2), пыль, оксид углерода (CO), оксиды азота (NO , NO_2). Много вредных веществ образуется при сжигании топлива. Только тепловые электростанции являются источником почти половины (45 %) общего количества сернистых соединений, поступающих в воздушный бассейн. При сжигании топлива в атмосферу выбрасываются также в большом количестве оксид углерода, оксиды азота и несгоревшие твердые вещества в виде золы и сажи.

Современный Воронеж – крупный промышленный, административно-территориальный и культурный центр Российской Федерации, расположенный в зона умеренного ПЗА. Промышленные предприятия расположены в основном в южной части города. Климатические характеристики Воронежа по данным научно-прикладного справочника «Климат России» ВНИИГМИ-МЦД представлены в таблице 1, а распределение средних многолетних параметров температуры, относительной влажности воздуха и количества осадков в различные сезоны года показано на рисунке 1.

Таблица 1

Климатические характеристики г. Воронежа (1971-2006гг.)

Метеорологические параметры	Средние многолетние показатели
Средняя годовая температура, °С	6,3
Среднее годовое количество осадков, мм	571
Число дней с осадками	158
Средняя годовая скорость ветра, м/с	2,9
Повторяемость приземных инверсий температуры, %	26
Повторяемость штилей, %	13
Повторяемость ветров со скоростью 0 – 1 м/с, %	29
Повторяемость приподнятых инверсий температуры, %	56
Среднее многолетнее число дней с туманами, дни	30
Среднее многолетнее число дней с грозой, дни	29

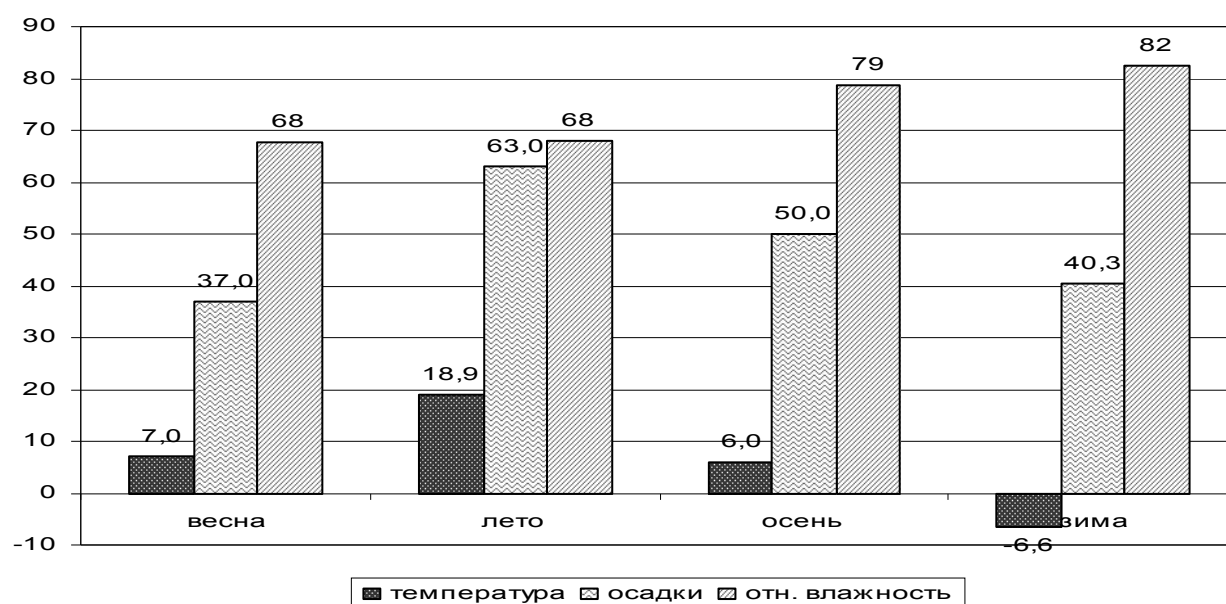


Рис. 1. Сезонное распределение метеорологических параметров атмосферы

Из рисунка 1 видно, что в период весна – лето относительная влажность воздуха остается практически без изменений на уровне 68% и повышается осенью до 79%, а зимой до 82%. Наибольшее выпадение осадков наблюдается летом (в среднем 63 мм) с постепенным понижением в последующие сезоны года: осень – 50 мм; зима - 40,3 мм, и наименьшее количество осадков наблюдается весной, в среднем за сезон 37,0 мм. Распределение температуры имеет ярко выраженный годовой ход с максимумом 18,9°С летом и минимумом -6,6°С зимой.

Сезонное распределение явлений погоды в различные сезоны года представлено на рисунке 2.

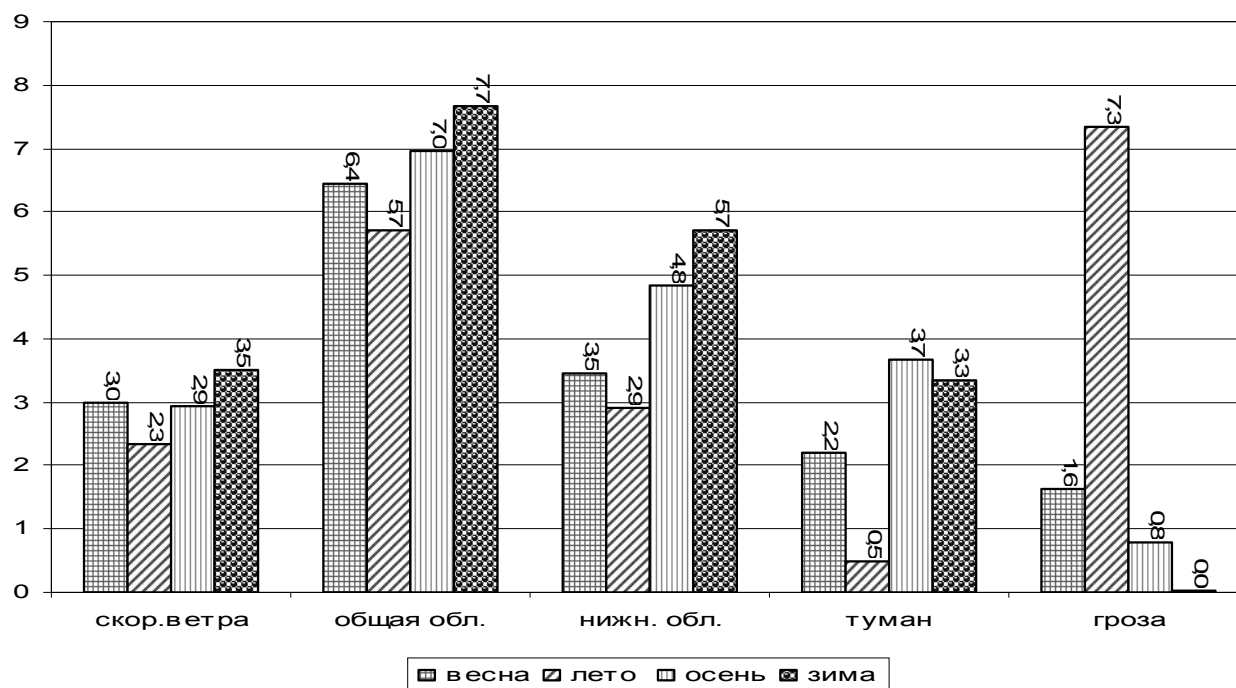


Рис. 2. Сезонное распределение метеорологических явлений погоды

Из анализа рисунка 2 видно, что наименьшая средняя сезонная скорость ветра величиной 2,3 м/с наблюдается летом и 2,9 м/с - осенью. Весной, средние сезонные значения скорости ветра составляют 3,0 м/с. Наиболее сильные ветра наблюдаются зимой – 3,5 м/с.

Характер распределения облачности (обл.) как общей, так и нижнего яруса (высотой менее 2,0 км) идентичен распределению средней сезонной скорости ветра, а именно: наблюдается уменьшение количества баллов облачности от весны к лету; так, весной отмается 6,4 балла - общая облачность и 3,5 балла - облачность нижнего яруса, а наименьшие значения наблюдаются летом (5,7 и 2,9 баллов соответственно). От осени к зиме количество баллов облачности увеличивается: осенью общая облачность – 7,0 балла и 4,8 балла – облачность нижнего яруса, а зимой - 7,7 и 5,7 баллов соответственно. Таким образом, зимой в Воронеже в основном наблюдается пасмурная погода, с резким уменьшением количества облаков с наступлением весны и преобладанием переменной облачности с небольшим количеством облаков нижнего яруса летом. Осенью количество облаков увеличивается.

Метеорологические явления, такие как туман и гроза, являются косвенной характеристикой устойчивости атмосферы и, как правило, характеризуют наличие/отсутствие задерживающих слоев в атмосфере, а также свидетельствуют о характере вертикальных движений воздуха.

Туман представляет собой результат конденсации водяного пара в непосредственной близости к земной поверхности (в приземном слое атмосферы). Туман, часто образуется в областях повышенного давления, с нисходящими движениями воздуха и наличием в атмосфере инверсионных слоев. Влажность воздуха при тумане, как правило, близка к 100%. Наибольшая повторяемость туманов в Воронеже наблюдается осенью и составляет в среднем за каждый месяц сезона 3,7 дня, а для зимних месяцев - 3,3 дня. Весной, повторяемость туманов значительно меньше, чем осенью и зимой, и составляет 2,2 дня в среднем за каждый месяц. Наименьшая вероятность образования тумана (0,5 дня) наблюдается в летние месяцы года.

Гроза, в отличие от тумана, возникает при мощных вертикальных (конвективных) движениях воздуха, способствующих разрушению инверсий и поднятию загрязнений в высокие слои атмосферы. Гроза в основном наблюдается летом (7,3 дня в среднем за каждый месяц сезона). Вероятность грозы весной составляет 1,6 дня, а осенью – 0,8 дня. Зимой, вероятность грозы незначительна и близка к нулю.

Наблюдения за состоянием воздушного бассейна в г.Воронеже, проводятся на 5 стационарных станциях государственной службы наблюдений. Ответственным за сеть наблюдательных станций является ФГУ «Курский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения окружающей среды» межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Центрально-Черноземных областей. Сеть работает в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89 [6]. Наблюдение за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе осуществляется ФГУ «Воронежским областным центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и проводится по ограниченному кругу загрязнителей: оксид углерода, диоксид серы, диоксид азота, взвешенные вещества, формальдегид, фенол. Станции подразделяются на «промышленные», вблизи предприятий (станции 1, 8, 9, 10) и «авто», вблизи автомагистралей в районе с интенсивным движением транспорта (станция 7). Посты наблюдения данного центра находятся по адресам: ул. Ростовская, 44 – пост наблюдения №1; ул. Лебедева, 2 – пост наблюдения №7; ул. Ворошилова, 30 – пост наблюдения №8; ул. Л. Рябцевой, 51-Б – пост наблюдения №9; ул. 9 Января, 49 – пост наблюдения №10.

В данной работе представлены результаты анализа ежедневных наблюдений стационарных постов за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г.Воронежа за период с 1989 по 2013 гг. Объем выборки составил 7300 случаев [7]. Распределение средних многолетних концентраций загрязнений воздуха г.Воронежа за рассматриваемый период, в различные сезоны года, представлено на рисунке 3.

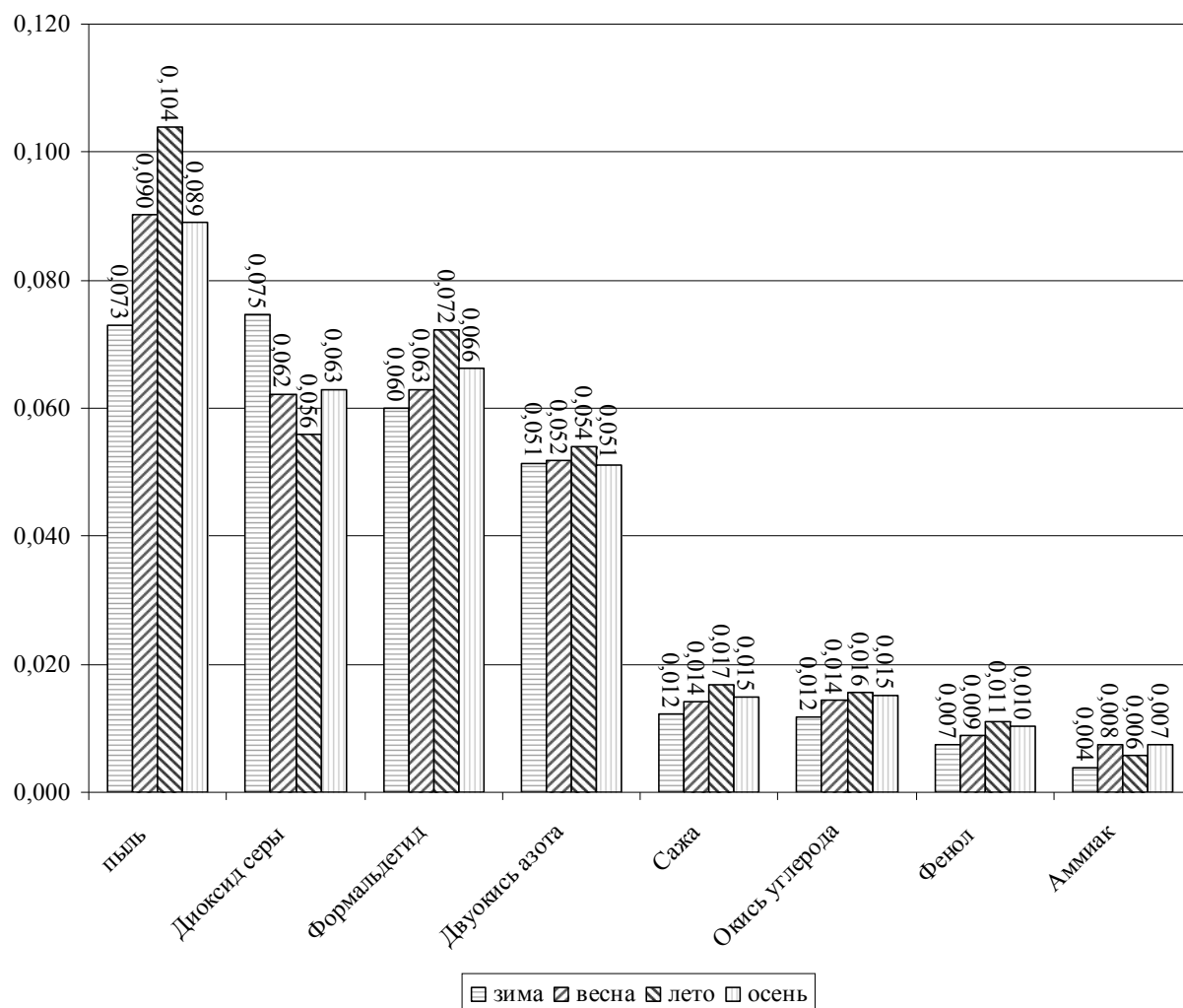


Рис. 3. Средние многолетние (с 1989 по 2013гг.) концентрации загрязнения воздуха в г. Воронеже в различные сезоны года

Анализ рисунка 3 позволяет сделать вывод, что в целом уровень загрязнения воздуха высокий. Наибольший вклад в загрязнение окружающей среды Воронежа за исследуемый период оказывали пыль, диоксид серы, формальдегид и двуокись азота. Средние многолетние концентрации сажи, окиси углерода, фенола и аммиака в различные сезоны года были незначительные.

Концентрации взвешенных веществ повышены вследствие влияния естественной **пыли**. Максимальная разовая концентрация достигает значений 5,3 ПДК. Наибольшая повторяемость случаев превышения ПДК равна 21%, наблюдалась при штиле и ветрах восточного направления. Максимальные разовые значения концентраций пыли ($q_{\max}$) за исследуемый период представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что значения максимальных разовых концентраций пыли, начиная с 1998 года, резко увеличились.

Таблица 2

Максимальные разовые концентрации пыли ($q_{\max}$)

	Годы и концентрации									
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
мг/м ³	0,23	0,22	0,36	0,18	0,29	0,29	0,21	0,2	0,2	0,38
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2011	2012
мг/м ³	0,51	0,5	0,44	0,14	0,17	0,4	0,43	0,53	0,46	0,52

По данным [6] в ранжированном ряду основных загрязнителей атмосферы **двуокись серы** находится на одном из первых мест. Это вредное вещество выделяется в окружающую среду главным образом при сжигании содержащих серу топлив: каменного угля, кокса, горючих сланцев, сернистой нефти. Токсическое действие двуокиси серы на человека весьма многообразно. В первую очередь, оно связано с раздражением верхних дыхательных путей, что при длительном воздействии даже малых концентраций приводит к возникновению бронхитов и других заболеваний органов дыхания, к снижению иммунобиологической реактивности организма. Среднесуточное ПДК в воздухе составляет 0,05 мг/м³.

Из рисунка 3 видно, что во все сезоны года концентрация двуокиси серы была выше установленной нормы с максимальными значениями зимой и уменьшением до минимальных значений концентрации летом. За исследуемый период ПДК максимально-разового воздействия (0,5 мг/м³) была превышена в 1,5 - 2 раза.

Диоксид азота представляет собой один из основных загрязнителей атмосферного воздуха, образующийся в процессе горения при высоких температурах. Средние концентрации диоксида азота, как видно из рисунка 3, во все сезоны года превышают установленные значения (ПДКс.с.=0,004 мкг/м³) и практически выше 1,3 ПДК. Наибольшая средняя концентрация отмечается на станции 7 вблизи автотранспортной магистрали (3,2 ПДК). Максимальная разовая концентрация достигает 2,4 ПДК.

Воздух загрязнен **формальдегидом**. Для воздуха населенных пунктов предельно допустимая максимальная разовая концентрация формальдегида составляет ПДКм.р.=0,035мг/м³, предельно допустимая среднесуточная концентрация ПДКс.с.=0,003мг/м³ (установлены Гигиеническими нормативами ГН 2.1.6.1338-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест" (утв. Главным Государственным санитарным врачом РФ 31 мая 2003 г.) Среднегодовые концентрации формальдегида представлены в таблице 3.

Таблица 3

Среднегодовые значения концентрации формальдегида

	Годы и концентрации									
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
мг/м ³	0,006	0,008	0,007	0,008	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2010	2012
	мг/м ³	0,006	0,008	0,008	0,008	0,006	0,007	0,007	0,007	0,009

Средняя за год концентрация формальдегида составляет от 2,0 до 2,7 ПДК, максимальная разовая — выше 2,5 ПДК.

Оксид углерода. Средняя за год концентрация на всех станциях ниже 1 ПДК, максимальная разовая составляет 2,6 ПДК.

По информации Воронежского ЦГМС – филиала ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС», в 2012 году в атмосферном воздухе над городом максимально-разовые концентрации достигали превышений предельно допустимых концентраций согласно санитарно-гигиеническим нормативам: по пыли – 3,2 ПДК; оксиду углерода – 1,6 ПДК; диоксиду азота – 2,4 ПДК. За последние 5 лет отмечается тенденция к повышению уровня загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота, незначительно – пылью, формальдегидом, диоксидом серы. Содержание в атмосферном воздухе оксида углерода, аммиака, сажи, фенола, оксида азота остается на прежнем уровне. В течение 2012г. увеличение средних концентраций пыли наблюдалось в летний и осенний периоды и составило 3,3 ПДКс.с.; в летний период – диоксида азота (2,5 ПДКс.с.); формальдегида – до 3,3 ПДКс.с.; оксида углерода – 3,3 ПДКс.с. Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха пылью, диоксидом азота, оксидом углерода, формальдегидом наблюдалось в юго-восточной части города на ПНЗ № 7 (ул. Лебедева, 2), где сосредоточены предприятия ТЭЦ-1, ОАО «Воронежсинтезкаучук», ООО «Воронежский шинный завод», а также проходит автомагистраль с интенсивным движением транспорта. В химическом загрязнении атмосферы Воронежа важную роль играют стационарные источники. По данным городского Управления по экологии, 40 наиболее крупных предприятий города выбрасывают до 85 % всех вредных веществ, ежегодно поступающих в атмосферу города от объектов промышленности и теплоэнергетики. Из 343 загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух Воронежа, 49 определены как приоритетные, в том числе 30 из них обладают канцерогенными свойствами.

Наиболее крупные предприятия, загрязняющие атмосферный воздух Воронежа, сосредоточены в промузлах Левобережного, Коминтерновского и Советского районов. Исторически сложившиеся в

Воронеже промышленные зоны характеризуются высокой плотностью этих предприятий и окружены примыкающей к ним жилой зоной. До 90 % годового выброса в атмосферу оксидов азота – это результат сжигания топлива (природный газ, уголь, мазут, бензин) как стационарными, так и передвижными источниками выбросов (транспорт). Наибольший вклад в выброс загрязняющих веществ в атмосферу вносят предприятия теплоэнергетической отрасли промышленности. Валовой выброс загрязняющих веществ в атмосферу от производственных подразделений ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 ОАО «Квадра» – «Воронежская региональная генерация» за 2012 год составил 2737,009 тонны. Валовой выброс загрязняющих веществ в атмосферу от ООО «Воронежская теплосетевая компания» за 2012 год составил 158,182 тонны.

Предприятия нефтехимической и машиностроительной отраслей промышленности (ОАО «Воронежсинтезкаучук», ООО «Воронежский шинный завод», ОАО «ВАСО», ЗАО «Воронежстальмост», ОАО «ТМП», Воронежский механический завод – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» и др.), а также промышленности стройматериалов (ОАО ПКФ «Воронежский керамический завод», ЗАО «ВКСМ» и др.), вносят основной вклад в химическое загрязнение атмосферного воздуха специфическими загрязняющими веществами. В выбросах этих предприятий содержатся: оксид железа, марганец и его соединения, оксид меди, метан, бутадиев, бензол, ксилол, толуол, стирол, фенол, формальдегид, пыль кремния и другие вредные вещества.

Исключить негативное воздействие хозяйственной деятельности на окружающую среду практически невозможно. Разработка и внедрение наукоемких технологий, в том числе таких, которые позволяют снизить количество выбросов загрязняющих веществ в источнике их образования, должны стать сегодня ключевым вопросом промышленной политики [9].

С целью оценки влияния метеорологических параметров на уровень загрязнения воздушной среды проведен корреляционный анализ между концентрациями антропогенных примесей за период с 1986 по 2012 годы и различными метеорологическими параметрами за аналогичный период. В отличие от данных А.В. Назаренко [8] нами проанализирован значительно более длительный временной ряд, что позволило получить репрезентативные выводы и дополнить уже известные данные новыми закономерностями.

Результаты корреляционного анализа концентрации пыли с метеорологическими параметрами представлены на рисунке 4.

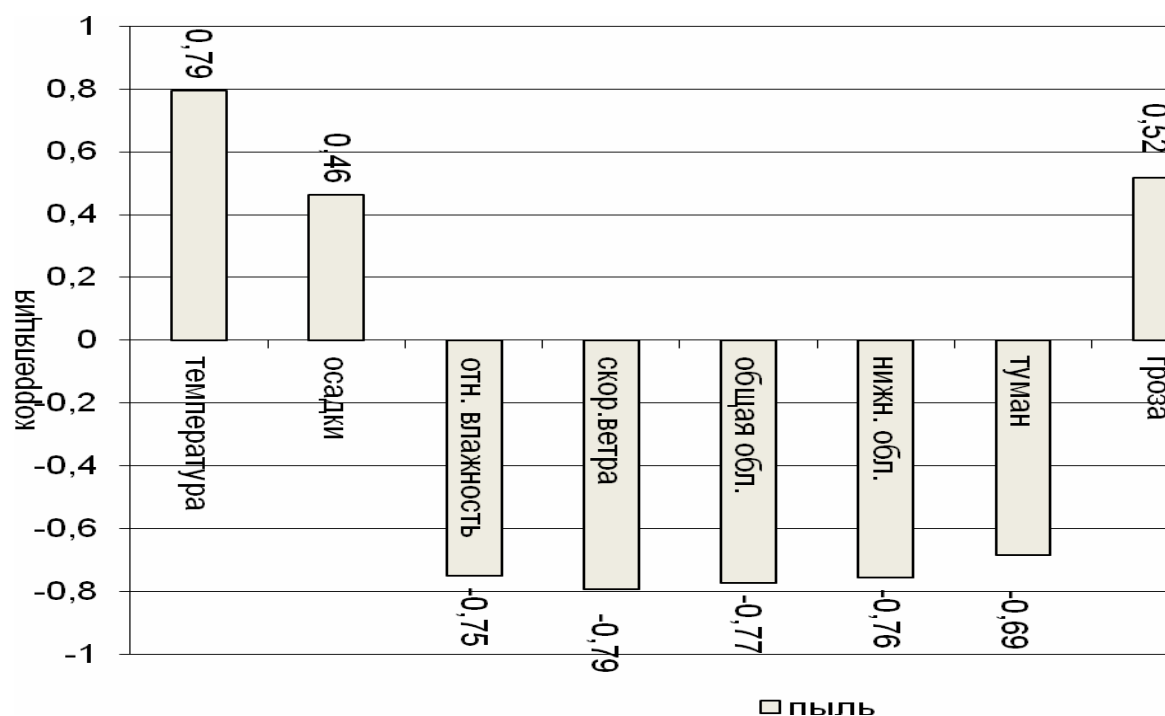


Рис. 4. Распределение корреляционных связей (r) концентрации пыли с метеорологическими параметрами

Из рисунка видно, что наиболее тесная связь между концентрацией пыли и метеорологическими параметрами наблюдается с температурой ($r = 0,79$), относительной влажностью воздуха ($r = -0,75$), скоростью ветра ($r = -0,75$), облачностью ($r = -0,77$ и $r = -0,76$), а также туманом ($r = -0,69$). Следует отметить, что знак корреляционных связей, между концентрацией пыли и исследуемыми параметрами - отрицательный, за исключением температуры, у которой знак связи положительный. Повышение температуры способствует увеличению конвективных (вертикальных) движений воздуха а, следовательно, и подъему пыли с поверхности земли и увеличению ее концентрации. Увеличение облачности препятствует поступлению прямой солнечной радиации к поверхности почвы и ее прогреву, соответственно, в пасмурную погоду содержание пыли в воздухе меньше, чем в ясную погоду. Влажный воздух способствует оседанию пыли в приземном слое атмосферы, чем больше относительная влажность воздуха, тем меньше концентрация пыли.

Анализ корреляционных связей между загрязняющими веществами в атмосферном воздухе и явлениями погоды - туманом и грозой - проводился в дни, когда отмечались эти явления. Число случаев с туманами составило 224 дня, а с грозой - 191.

Меньшая величина корреляционной связи между концентрацией пыли и количеством дней с туманом, а также ее отрицательный знак ($r = -0,69$), по сравнению с предыдущими параметрами, свидетельствует об интегральном влиянии различных метеорологических параметров, наблю-

даемых при тумане, на концентрацию пыли. Слой тумана, надо рассматривать как слой облаков с большой влажностью воздуха у поверхности земли, препятствующих ее прогреву и способствующий уменьшению концентрации пыли у земли. В то же время, слабый ветер (0-3 м/с), наблюдаемый при тумане, увеличивает ее концентрацию в приземном слое атмосферы. В результате анализа комплексного взаимодействия между собой различных метеорологических параметров при тумане, отмечено понижение концентрации пыли у земной поверхности.

Особый интерес представляет анализ положительной связи концентрации пыли с такими явлениями погоды, как гроза и осадки. На первый взгляд, выпадение осадков и наличие грозы, свидетельствующие о наличии кучево-дождевой облачности с ливневыми осадками должны способствовать уменьшению концентрации пыли у поверхности земли и определять отрицательный знак корреляционной связи. Положительный знак и умеренная величина корреляционной связи с осадками ($r = 0,46$) и грозой ($r = 0,52$), свидетельствуют о доминирующей роли восходящих движений воздуха и способствующих значительному увеличению концентрации пыли перед началом рассматриваемых явлений погоды. Нисходящие движения воздуха, которые наблюдаются во время рассматриваемых явлений погоды, уменьшают величину корреляционной связи.

Данное положение свидетельствует о необходимости совершенствования методики наблюдения за концентрацией пыли в приземном слое воздуха. Необходимо проводить анализ концентрации пыли до начала, во время и после прохождения указанных явлений погоды.

Анализ корреляционной связи между концентрацией диоксида серы и метеорологическими параметрами представлен на рисунке 5.

Воздействие диоксида серы в концентрациях, выше предельно допустимых, может приводить к существенному увеличению различных болезней дыхательных путей, воздействовать на слизистые оболочки, вызывать воспаление носоглотки, бронхиты, кашель, хрипоты и боли в горле. Особенно высокая чувствительность к диоксиду серы наблюдается у людей с хроническими нарушениями органов дыхания, с астмой.

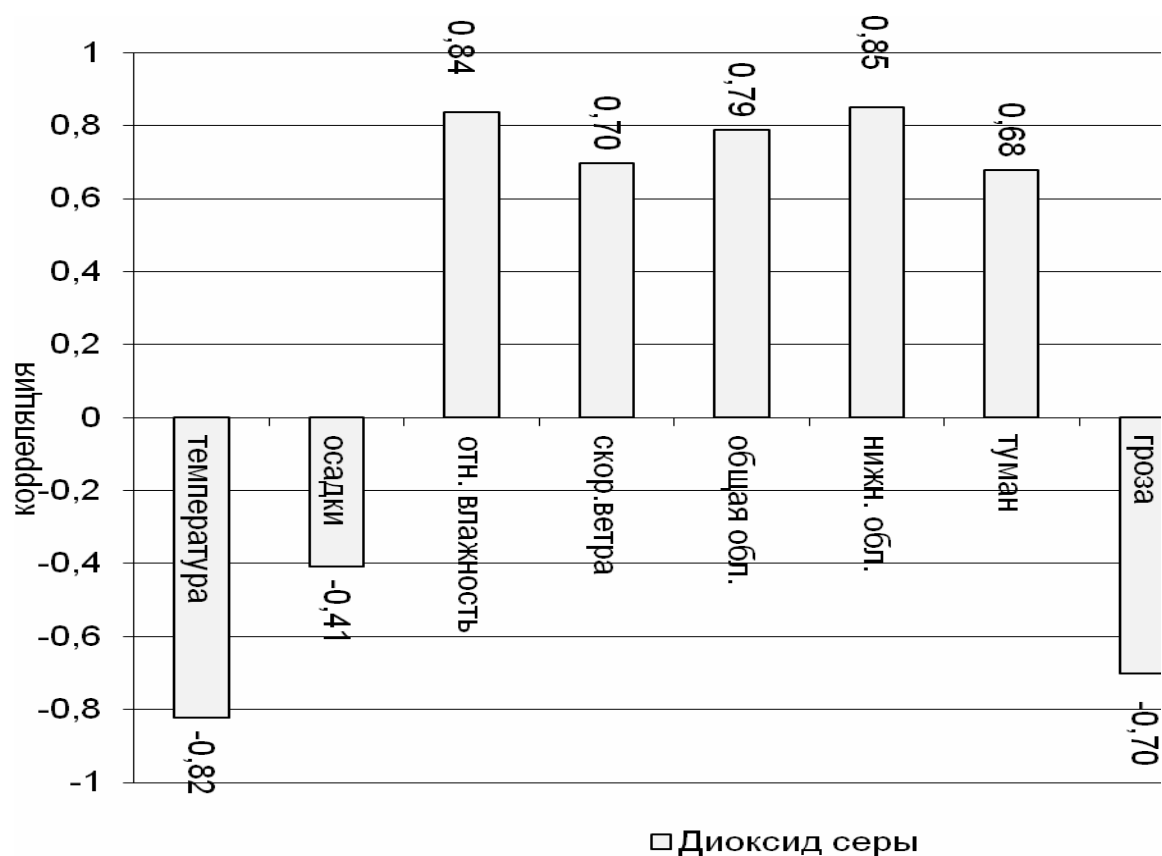


Рис. 5. Результаты анализа корреляционных связей (r) концентрации диоксида серы с метеорологическими параметрами

Из рисунка 5 видно, что характер распределения корреляционных связей между диоксидом серы и метеорологическими параметрами обратно пропорционален пыли. Наиболее высокие концентрации диоксида серы наблюдаются при низких температурах окружающего воздуха (теснота связи $r = -0,82$), а также при отсутствии восходящих вертикальных движений воздуха, которые наблюдаются при грозе ($r = -0,70$) и осадках ($r = -0,41$). Увеличению концентрации диоксида серы также способствует наличие облачности ($r = 0,79$), особенно облаков нижнего яруса ($r = 0,85$), высокая относительная влажность воздуха ($r = 0,84$) и наличие тумана ($r = 0,68$).

Отмеченные метеопараметры свидетельствуют о сильной зависимости концентрации диоксида серы от состояния атмосферы, её устойчивости, интенсивности и направленности вертикальных движений воздуха.

Количественные характеристики связи концентрации формальдегида и диоксида азота с метеорологическими параметрами представлены на рисунках 6 - 7.

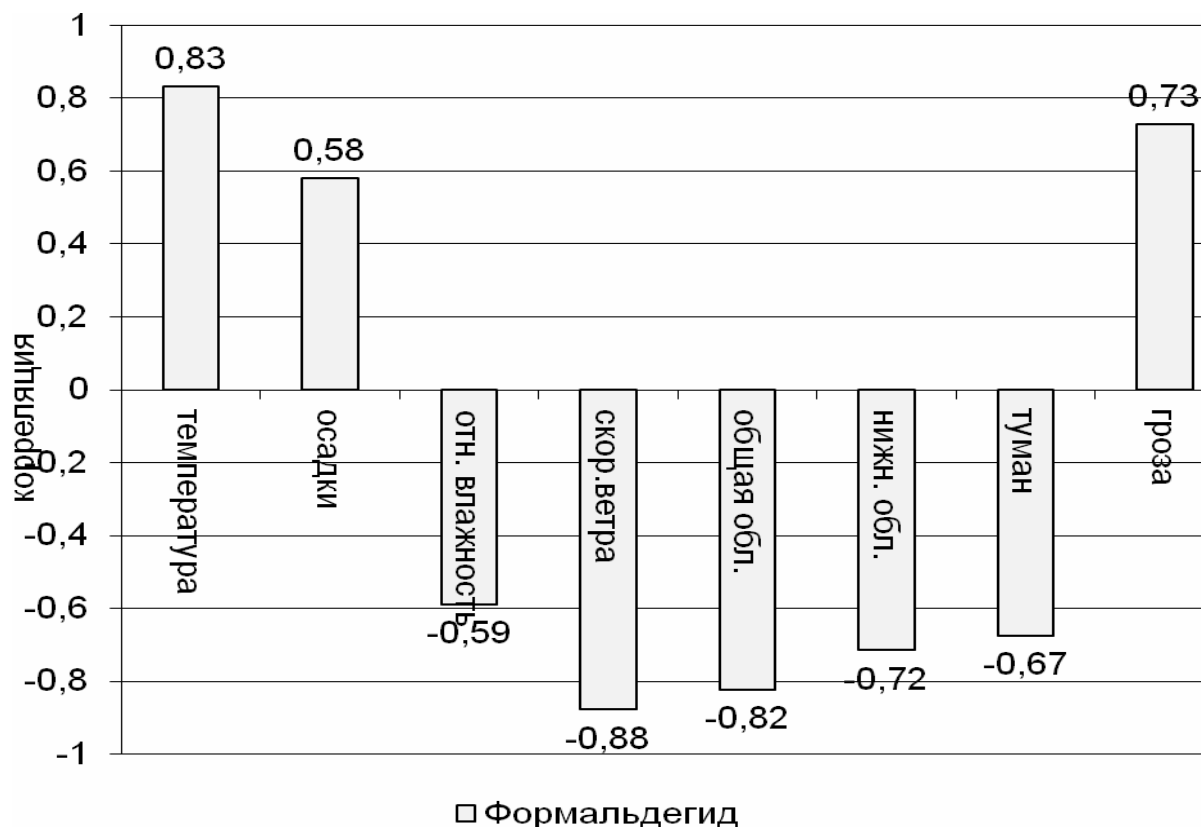


Рис. 6. Количественная характеристика (r) связи концентрации формальдегида с метеорологическими параметрами

Характер связи концентраций формальдегида и двуокиси азота с метеорологическими параметрами аналогичен распределению корреляционных связей концентрации пыли. Увеличение концентрации формальдегида наблюдается в малооблачные дни ($r = -0,82$ – общая облачность и $r = -0,72$ – облака нижнего яруса), в дни с высокой температурой ($r = 0,83$), при слабом ветре ($r = 0,88$), отсутствии тумана ($r = -0,67$) и наличии мощных восходящих движений воздуха, которые наблюдаются при грозе ($r = 0,73$).

Из анализа рисунка 7 видно, что концентрация двуокиси азота в меньшей степени, чем у рассматриваемых ранее загрязняющих веществ, зависит от распределения метеорологических параметров. Оценка силы связи по величине коэффициента корреляции между метеорологическими параметрами и диоксидом азота ниже рассматриваемых ранее загрязняющих веществ (в основном $r = 0,50 - 0,68$). Условия, способствующие увеличению концентрации двуокиси азота, аналогичны с условиями погоды, благоприятными для увеличения концентрации пыли и формальдегида.

Проведенный анализ влияния метеорологических параметров на концентрацию загрязняющих веществ позволяет сделать следующие выводы:

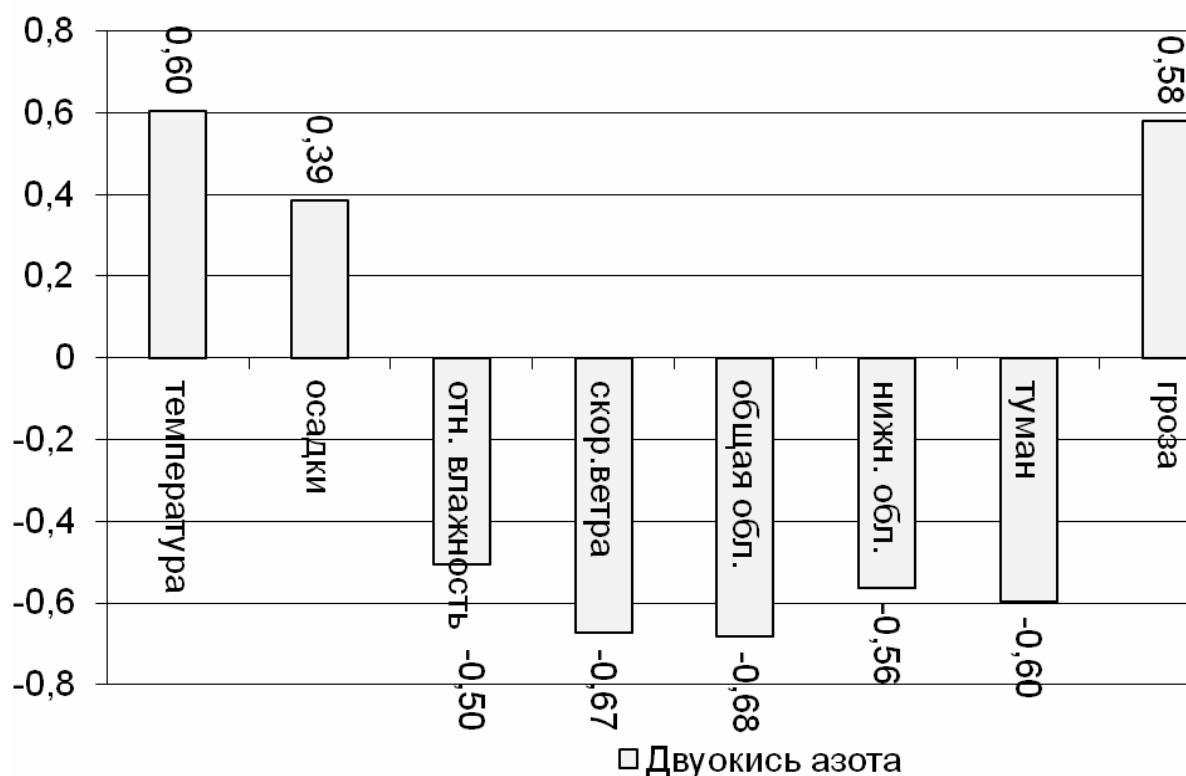


Рис. 7. Количественная характеристика (r) связи концентрации двуокиси азота с метеорологическими параметрами

1) теснота связи метеорологических параметров с различными загрязняющими веществами различна; 2) влияние метеорологических параметров на концентрацию различных загрязняющих веществ не одинаково и носит порой противоположный характер, т.е. увеличение значений метеорологических параметров для одних загрязняющих веществ увеличивает концентрацию, а для других наоборот – уменьшает; 3) к разработке комплексных (интегрированных) показателей самоочищения атмосферы необходимо подходить дифференцировано, а именно: необходимо учитывать физические и химические свойства загрязняющих веществ и их взаимодействие с метеорологическими параметрами; 4) использование одного комплексного показателя самоочищения атмосферы для всех загрязняющих веществ некорректно; 5) анализ влияния метеорологических явлений погоды, таких как осадки, туман, гроза на концентрацию загрязняющих веществ, требует дополнительного всестороннего изучения с точки зрения разработки методики исследований. Необходимо оценивать синоптическую ситуацию и учитывать различные механизмы образования указанных выше явлений погоды, а именно: разделять туманы на радиационные, адвективные и туманы восхождения; грозы - фронтальные и внутримассовые; осадки - образуемые и выпадающие на теплом и холодном фронтах; 6) требуется разбиение временного интервала изменений концентрации загрязняющих веществ от явлений погоды на различные отрезки: до нача-

ла, во время начала, во время наблюдения явления погоды и после его окончания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Л.М. Анализ временного распределения средних концентраций антропогенных примесей в Воронеже с учетом климатических показателей / Л.М. Акимов // Экология регионов: Сб. мат-лов III юбилейной межд. науч.-практ. конф. – Владимир, 2010. – С. 8 – 12.
2. Акимов Л. М. Использование сетчатых материалов в экспресс-анализе экологической ситуации Воронежа в холодный период / Л.М. Акимов, Т.И. Прожорина, В.В. Сиваченко // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. – 2010. – № 2. – С. 127-132.
3. Акимов Л. М. Экологическая оценка загрязнения воздушного бассейна автотранспортом в зависимости от состояния атмосферы города Воронежа / Л.М. Акимов, А.Б. Якушев, С.А. Куролап // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 158-165.
4. Альтшулер И.И. Загрязнение атмосферы Земли / И.И. Альтшулер, Ю.Г. Ермаков. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1976. – 293 с.
5. Безуглая Э.Ю. Воздух городов и его изменения / Э.Ю. Безуглая, И.В. Смирнова. – СПб.: Астерион, 2008. – 254 с.
6. Безуглая Э.Ю. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. – Москва: Гидрометеиздат, 1991.
7. Ежегодник Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 1989 - 2004, 2006, 2007 гг. – СПб., 2000. – 239 с.; 2001. – 182 с.; 2002. – 212 с.; 2003. – 222 с.; 2004. – 218 с.; 2006. – 216 с.; 2008. – 211 с.; 2009. – 222 с.; 2010. – 216 с.; 2011. – 218 с.; 2012. – 211 с.
8. Назаренко А.В. Классификация синоптических процессов в целях геоэкологического мониторинга воздушного бассейна / А.В. Назаренко // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. – 2006. – № 1. – С. 39-47.
9. Доклад о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2012 году / Управление экологии администрации городского округа город Воронеж. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012. – 57 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ГОРОДА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

Л.М. Акимов, П.М. Виноградов, Е.Л. Акимов

Загрязнение атмосферы крупных промышленных городов формируется под влиянием множества факторов как природного характера, например, рельефа, сезонности, синоптических условий так и техногенных условий – архитектурно-планировочной инфраструктуры, систем внутригородского озеленения, взаиморасположения источников загрязнения воздуха – промышленных предприятий и транспортных коммуникаций.

Теоретические подходы к изучению данной проблемы обоснованы во многих трудах отечественных и зарубежных ученых по урбоэкологии, экологической климатологии и мониторингу окружающей среды Э.Ю. Безуглой [2 - 4], М.Е. Берлянда [5, 6], Ю.А. Израэля [8] и др. В то же время не проводилось детального изучения особенностей сезонной динамики загрязнения воздушного бассейна с учетом влияния функционально-планировочной структуры города и пространственной структуры атмосферы на формирование полей аэрогенного загрязнения.

На необходимость учета влияния функционально-планировочной структуры города при интегральной оценке экологического состояния городской территории указано в работах В.И. Федотова [13], С.А. Куролапа, Л.Н. Костылевой с соавт. [9 - 11], Л.М. Акимова [1], Г.С. Розенберга [12].

Интегральная оценка экологического состояния городской территории должна основываться на трех основных составляющих: 1) выделение городских ландшафтов (урболандшафтов); 2) совокупное влияние источников техногенного загрязнения природной среды; 3) оценка социальных последствий экологической политики в городе.

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

Современный Воронеж – индустриально-развитый город. Территория Воронежа делится на две неравные части акваторией Воронежского водохранилища. Правобережный и Левобережный планировочные районы резко различаются по структуре и архитектурно-композиционному построению, что влияет на условия формирования аэротехногенного загрязнения. Кроме того центральную часть города пересекает железнодорожная магистраль, другая железнодорожная линия пролегает по всей окраине левобережного сектора города с севера на юг.

Для проведения исследований в качестве исходных данных в работе использован аэросиноптический материал за 2012 - 2013 г.г., размещенный

на официальном сайте Росгидромета РФ (<http://meteocenter.net/raob.htm>), а также результаты ежедневных наблюдений за концентрацией загрязняющих веществ в атмосфере 5 стационарных станций государственной службы наблюдений города (посты №№ 1, 7, 8, 9, 10).

Ответственным за сеть наблюдательных станций, является ФГУ «Курский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения окружающей среды» межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Центрально-Черноземных областей. Сеть работает в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89.

Станции подразделяются на «промышленные», вблизи предприятий (посты №№ 1, 8, 9, 10) и «авто», вблизи автомагистралей в районе с интенсивным движением транспорта (пост № 7). Посты наблюдения данного центра находятся по адресам: ул. Ростовская, 44 – пост наблюдения №1; ул. Лебедева, 2 – пост наблюдения №7; ул. Ворошилова, 30 – пост наблюдения №8; ул. Л. Рябцевой, 51-Б – пост наблюдения №9; ул. 9 Января, 49 – пост наблюдения №10 (рис. 1).

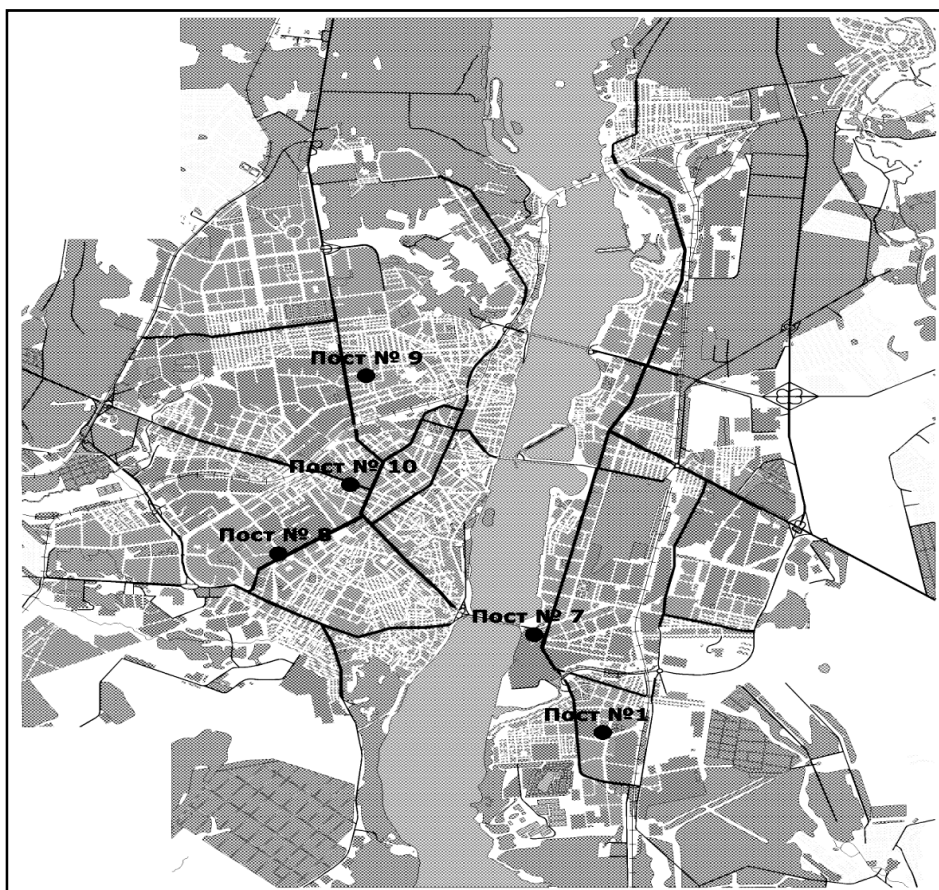


Рис. 1. Схема расположения стационарных постов наблюдения государственной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды г.Воронежа

Нами проанализированы ежедневные данные наблюдений концентраций по 7 антропогенным примесям – пыли (PL), сажи (SA), угарного газа (CO), оксида азота (NO), двуокси азота (NO₂), сернистого ангидрида (SO₂), формальдегида (FO) и значения метеорологических величин – температуры воздуха (*T*), относительной влажности (*f*), направления (*dd*) и скорости ветра (*v*) у земли и на высотах: 700 м (АТ-925гПа), 1,5 км (АТ – 850 гПа), 3,0 км (АТ – 700 гПа) и 5,5 км (АТ – 500 гПа)) за 4.00, 7.00, 13.00, 19.00 часов. Дополнительно привлечены данные о параметрах задерживающих слоёв (инверсий температуры) в эти дни.

Анализ аэрогенного загрязнения городской среды осуществлен по принятым методикам расчета индексов загрязнения атмосферы [3, 7, 9]. Так, алгоритм расчета парциального индекса загрязнения атмосферного воздуха (*I_{пi}*) следующий (1):

$$I_{pi} = (C_i / ПДК_i)^k \quad (1)$$

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

Для оценки суммарного уровня загрязнения атмосферы использовался интегральный показатель загрязнения атмосферы (ИЗА), который рассчитывался как сумма парциальных индексов загрязнения по 7 основным загрязнителям по формуле (2):

$$ИЗА = \sum_{j=1}^m I_{pj}, \quad (2)$$

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

Выбор веществ, включенных в расчет ИЗА, а также для других приоритетных загрязнителей с целью оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха города осуществлялся в соответствии с РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» и ОНД-86. Оценки степени загрязнения атмосферы представлены в таблице 1.

Для изучения особенностей сезонной динамики загрязнения воздушного бассейна с учетом влияния функционально-планировочной структуры города на формирование полей аэрогенного загрязнения были рассчитаны средние за месяц значения ИЗА в каждом пункте наблюдения, представленные в таблице 2.

Анализ таблицы 2 осуществлялся на основании критериев риска, представленных в таблице 1, согласно которым значение ИЗА от 14,0 и

выше соответствуют критерию риска «опасный»; 7,0 – «вызывающий опасение»; а 5,0 – «вызывающий беспокойство» соответственно.

Таблица 1

Критерии риска загрязнения атмосферы

Степень		ИЗА
градации	критерий	
I	допустимый	от 0 до 4
II	вызывающий беспокойство	от 5 до 6
III	вызывающий опасение	от 7 до 13
IV	опасный	≥ 14

Таблица 2

Среднемесячные значения ИЗА Воронежа

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

Согласно таблице 2 на посту 1 (ул. Ростовская, 44) в течение года степень загрязнения атмосферы на основании анализа индекса ИЗА «вызывало беспокойство». На посту 7 (ул. Лебедева, 2) значения индекса ИЗА во все календарные месяцы года превышали уровень опасности в 1,2-1,5 раза. На посту 8 (ул. Ворошилова, 30) состояние воздушного бассейна находилось на уровне «вызывающий опасение». Наиболее благоприятные условия качества воздуха наблюдалось на посту 9 (ул. Л. Рябцевой, 51-Б), где значения индекса ИЗА в октябре – ноябре были в пределах «допустимый», в остальное время находились на уровне «вызывающий беспокойство».

ство». Значение ИЗА на посту 10 (ул. 9 Января, 49) в течение года находятся в пределах «вызывающий опасение».

На рисунке 2 представлено пространственное распределение среднегодовых значений индекса ИЗА на территории Воронежа. Из рисунка видно, что состояние загрязнения воздушного бассейна в левобережной части Воронежа, особенно в районе поста 7, вызывает опасение, а значение индекса ИЗА в среднем в 1,3 раза превышают уровень «опасный». Значение индекса в центральной части правобережья Воронежа значительно меньше, чем на левом берегу, но в то же время «вызывают опасение» ($ИЗА \geq 8,39$). Наиболее благоприятное состояние воздушного бассейна наблюдается в северной части города, где значение среднегодового индекса $ИЗА = 5,7$ «вызывает беспокойство» и превышает «допустимый» уровень ($ИЗА = 4,0$).

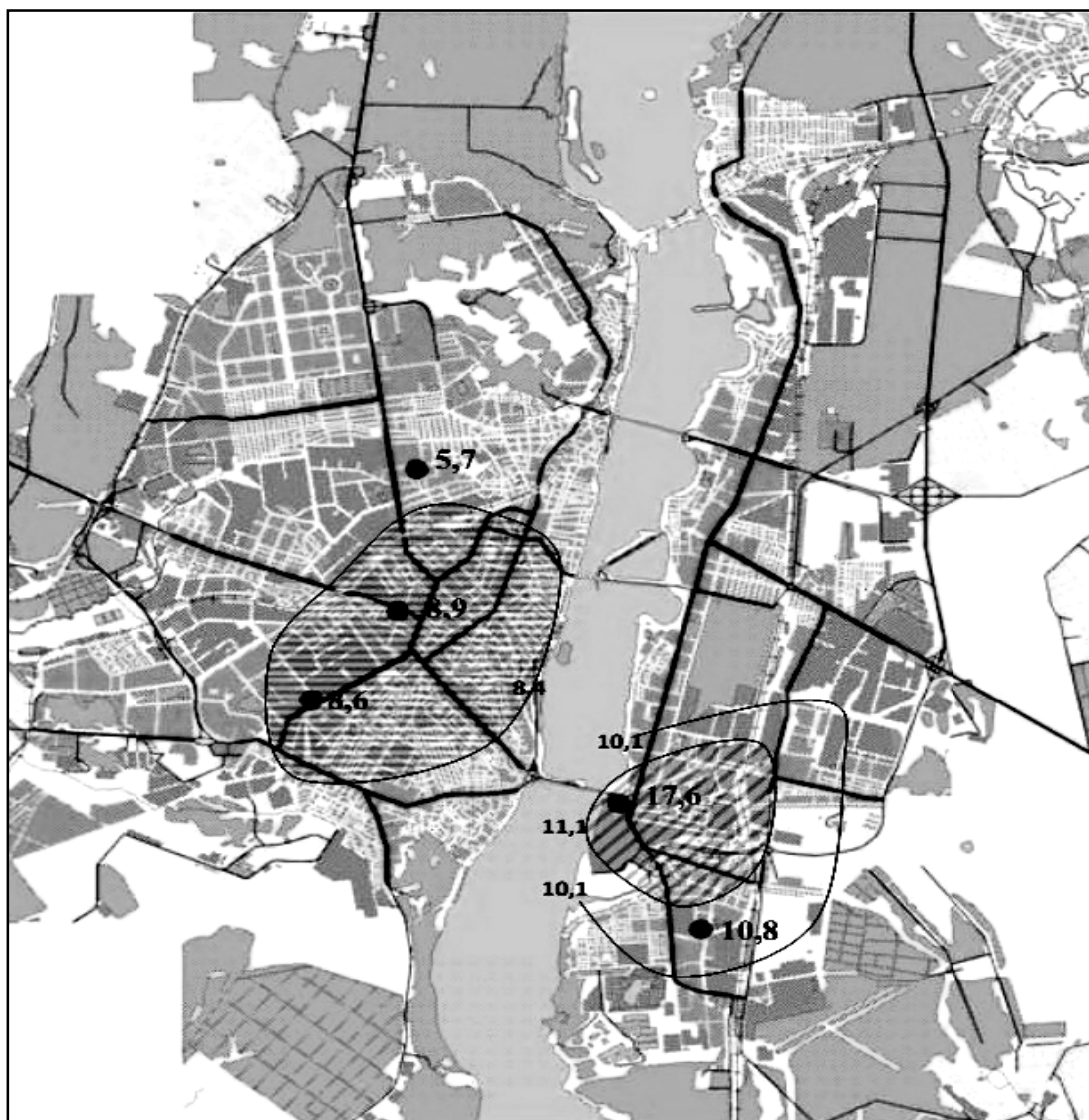


Рис. 2. Пространственное распределение среднегодовых значений ИЗА на территории г.Воронежа

Особый интерес представляют случаи экстремальных значений ИЗА, наблюдающиеся в различные месяцы года. На рисунке 3 представлен годовой ход минимальных и максимальных значений ИЗА в календарных месяцах года на примере поста наблюдения № 7.

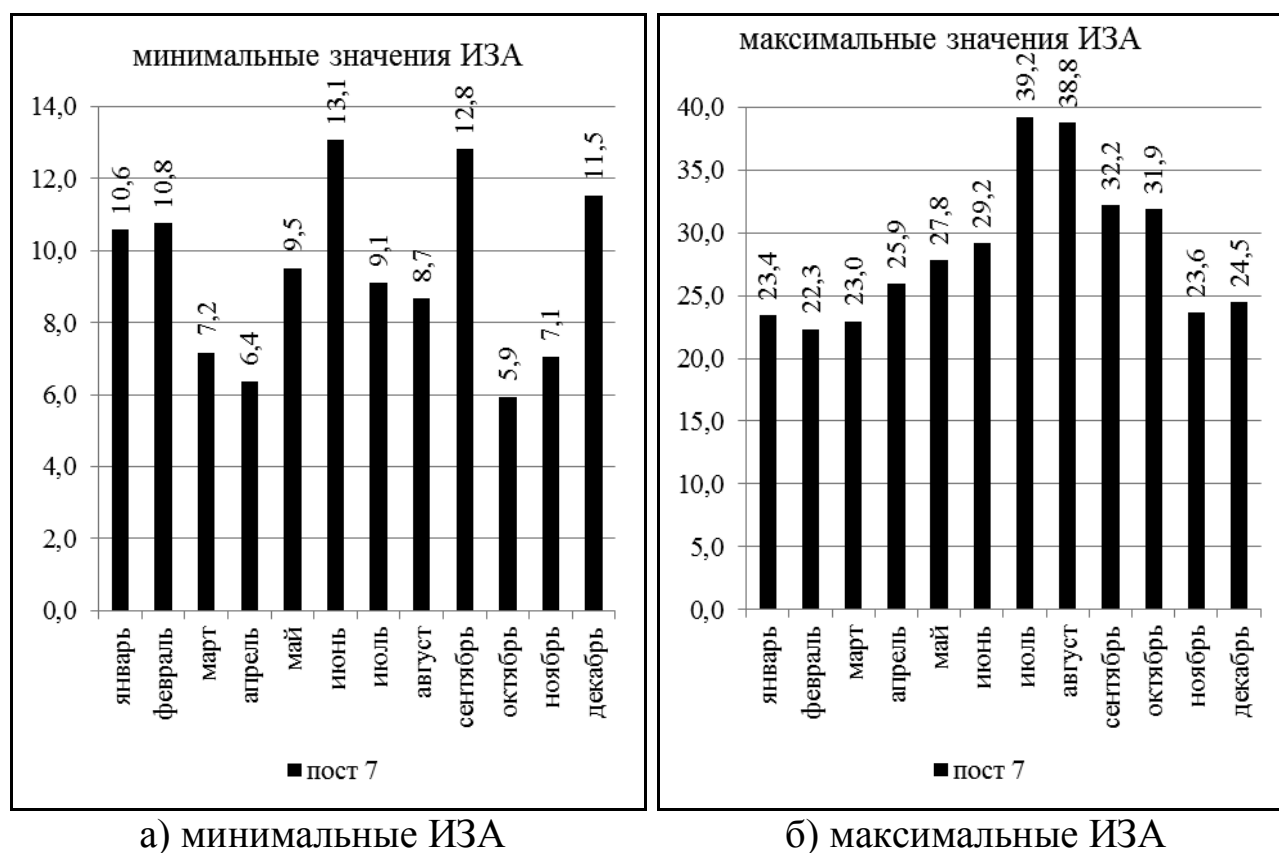


Рис. 3 Годовой ход ИЗА

Из анализа рисунка следует, что в годовом ходе минимальных значений ИЗА (рис. 3а) не наблюдается какой-либо значимой закономерности. Наименьшие значения ИЗА наблюдаются в переходные месяцы года: весна (март - апрель) и осень (октябрь - ноябрь). Следует отметить, что в эти периоды времени значения ИЗА хоть и наименьшие за весь рассматриваемый период, но они превышают «предельно допустимый» уровень ИЗА (4,0). В этот период значения ИЗА «вызывают беспокойство» (ИЗА - 5,9 в октябре; 13,1 – в июне).

В годовом ходе максимальных значений ИЗА (рис. 3б) наблюдается четко выраженный годовой ход с минимальными значениями в холодное время, особенно в феврале (ИЗА = 22,3), с монотонным ростом значений индекса ИЗА до 39,2 в июле. Учитывая, что «опасный» уровень ИЗА составляет 14,0, то очевиден вывод о более чем 2,5-кратном превышении уровня опасности концентрации загрязнений в летний период.

Для выявления связи ИЗА с вертикальным температурным градиентом в таблице 3 представлены минимальные за каждый календарный месяц года значения ИЗА на каждом пункте наблюдения и соответствующие им значения градиента.

Таблица 3

Минимальные месячные значения ИЗА

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

Из анализа таблицы следует, что практически во всех случаях, наименьшие значения индекса ИЗА наблюдались при «неустойчивом» состоянии атмосферы, т.е. когда значения вертикального градиента температуры в приземном 700-метровом слое атмосферы, превышали уровень сухоадиабатического градиента ($\gamma = 1,0^{\circ}\text{C}/100\text{м}$). Данное положение свидетельствует о сильной конвекции, т.е. мощных восходящих движениях воздуха, способствующих рассеянию загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы.

Для выявления влияния функционально-планировочной структуры города на формирование полей аэрогенного загрязнения на рисунке 4 представлено поле среднегодового минимального значения ИЗА.

Как видно из рисунка, в правобережной части города минимальные значения ИЗА не превышают уровень индекса ИЗА «допустимый» (4,0), в то время как в левобережной части, на посту № 7 наблюдается уровень загрязнения атмосферы ИЗА=9,4, что соответствует превышению уровня загрязнения атмосферы «вызывающий беспокойство» (ИЗА = 8,39). Такое распределение минимальных значений индекса ИЗА объясняется не только расположением промышленных объектов, но и особенностями ландшафта. Правобережная возвышенная часть города больше прогревается за

счет углов наклона склонов и их западной экспозиции, что способствует усилению конвективных потоков воздуха по отношению к равнинной территории левобережья.

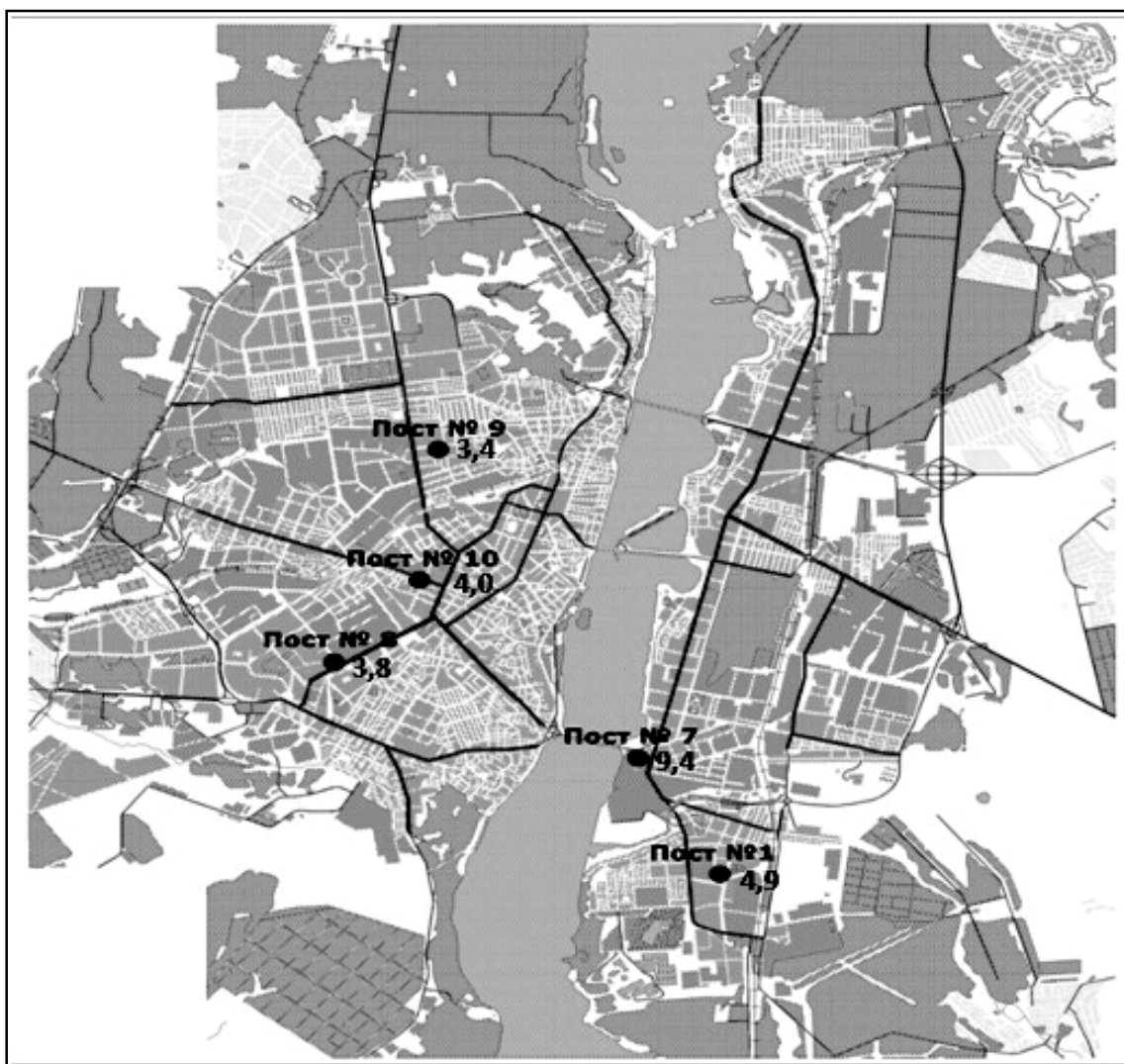


Рис. 4. Среднегодовые минимальные значения ИЗА в пунктах наблюдения

Особый интерес также представляет анализ максимальных значений ИЗА в зависимости от устойчивости атмосферы. Анализ устойчивости атмосферы проводился в данном случае на трех различных уровнях атмосферы от поверхности земли (уровень давления 1000гПа) до высот: 700м (925гПа), 1500м (850гПа) и 3,0 км (700гПа). Результаты максимальных месячных значений индекса ИЗА и вертикального температурного градиента в этот момент времени представлены в таблице 4.

Из анализа таблицы следует, что максимальные значения индекса ИЗА наблюдаются в холодное время при наличии мощных приземных инверсий, простирающихся до высоты 3,0 км. Величина отрицательных значений вертикального градиента температуры изменялась с высотой от $\gamma =$

-1,43°C/100м в слое атмосферы до 700 метров с уменьшением до $\gamma = -0,15^\circ\text{C}/100\text{м}$ на 3,0 км. В теплый период, максимальные значения индекса ИЗА, наблюдающиеся на посту №7 (38,8 – июль, 39,2 – август), возникали при устойчивой стратификации атмосферы и уменьшении фактической величины вертикального градиента температуры с высотой от $\gamma = 0,71^\circ\text{C}/100\text{м}$ до $\gamma = 0,48^\circ\text{C}/100\text{м}$.

Таблица 4

Максимальные значения ИЗА

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

При анализе влияния функционально-планировочной структуры города на формирование полей аэрогенного загрязнения особый интерес представляют данные поста наблюдения № 10. Здесь четко просматривается одна из приоритетных проблем города – необходимость транспортной развязки, а именно: наличие в районе данного поста так называемого «бутылочного горлышка». Это происходит, когда наблюдается резкое сужение автомобильной дороги с 3-полосной в фактически 1-полосную с учетом автобусных остановок, чему способствует и нерегулируемый пешеходный переход, способствующий созданию многокилометровой автомобильной «пробки» в часы пик (рис. 5).

Данная фотография наглядно показывает важность учета такого фактора как функционально-планировочная структура города, формирующая поля аэрогенного загрязнения.



Рис. 5. Автомобильная «пробка» на улице 9 Января

Проведенный анализ позволил выявить наиболее проблемные участки в экологическом отношении на территории Воронежа, которыми являются Левобережный район в районе пункта наблюдения №7 (ул. Лебедева, 2), где наблюдалось почти 4-х кратное превышение уровня ИЗА «опасный» (38,8 – июль, 39,2 – август). Значительные величины индекса ИЗА в этом районе вызваны в основном за счет работы промышленных предприятий. Также высокий уровень загрязнения наблюдается в районе пункта №10 (ул. 9 Января, 49). Здесь высокие значения индекса ИЗА (34,0 в сентябре) обусловлены не решенной «транспортной проблемой», а именно: транспортным затором за счет сужения автомобильной дороги при выезде из города. Наиболее благоприятная экологическая обстановка наблюдается в районе поста наблюдения №9 ул. Л. Рябцевой, 51-Б.

Выявленные закономерности формирования очагов различного загрязнения воздушной среды свидетельствуют о необходимости рационализации, прежде всего, дорожно-транспортных систем г.Воронежа, существенно влияющих на пространственную структуру аэротехногенного загрязнения городской среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Л.М. Геоэкологическая оценка загрязнения воздушного бассейна города Воронежа автотранспортом в зависимости от состояния атмосферы / Л.М. Акимов, А.Б. Якушев, С.А. Куролап // Вестник Во-

ронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 158-165.

2. Безуглая Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов / Э.Ю. Безуглая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 184 с.

3. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах: результаты экспериментальных исследований / Э.Ю. Безуглая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 199 с.

4. Безуглая Э.Ю. Чем дышит промышленный город / Э.Ю. Безуглая, Г.П. Расторгуева, И.В. Смирнова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 256 с.

5. Берлянд М.Е. К теории антропогенного воздействия на локальные метеорологические процессы в городе / М.Е. Берлянд, М.Н. Зашихин // Метеорология и гидрология. – 1982. – № 2. – С. 5-16.

6. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 272 с.

7. Буштуева К.А. Выбор зон наблюдения в крупных промышленных городах для выявления влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения / К.А. Буштуева // Гигиена и санитария. – 1985. – №1. – С. 4 - 6.

8. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 380 с.

9. Костылева Л.Н. Экологическая оценка сезонной динамики загрязнения воздушного бассейна города Воронежа /Л.Н. Костылева, С.И. Корыстин, С.А. Куролап // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. – 2009. – №2. – С. 107-113.

10. Куролап С.А. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска: монография / С.А. Куролап, С.А. Епинцев, О.В. Клепиков и др. – Воронеж: Изд-во «Истоки», 2010. – 207 с.

11. Куролап С. А. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды / С.А. Куролап, Н.П. Мамчик, О.В. Клепиков. – Воронеж: Воронежский гос. университет, 2006. – 220 с.

12. Розенберг Г.С. Комплексный анализ урбоэкологических систем (на примере городов Самарской области) // Экология. – 1993. – Ч 4. – С. 13-19.

13. Федотов В. И. Техногенные ландшафты: территория, региональные структуры, практика. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. университета, 1985. – 192 с.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА НА МАРШРУТНЫХ ПОСТАХ НАБЛЮДЕНИЯ

О.В. Клепиков, В.Д. Болдырев

На маршрутных постах наблюдения города Воронежа систематически контролируется крайне ограниченный перечень веществ, включающий определение среднесуточных концентраций азота диоксида, взвешенных веществ, серы диоксида, углерода оксида, формальдегида, фенола, свинца, меди оксида, акролеина, озона, 1,3 - бутадиена, стирола, соединений хрома шестивалентного, сажи, марганца [1].

Вместе с тем эти наблюдения ведутся систематически, в отличие от исследований по жалобам населения, подфакельных исследований и исследований по надзору за соблюдением проектов предельно-допустимых выбросов и обеспечению требуемых режимов санитарно защитных зон предприятий. С экологических и гигиенических позиций, в сложившихся условиях недостаточности информации, эти данные также являются необходимыми, так как отражают пусть и по ограниченному перечню ингредиентов и точек контроля реальную, а не моделируемую ситуацию, рассматриваемую в рамках проектов предельно-допустимых выбросов предприятий (ПДВ), отталкивающихся от объема выбросов, который, в свою очередь, не всегда может быть объективно отражен в формах экологической отчетности предприятия и в самих проектах.

Целью исследования являлась оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха промышленного города по данным систематического мониторинга на маршрутных постах наблюдения.

Основным источником информации для исследований служили фондовые данные региональной системы социально-гигиенического мониторинга, осуществляемого на базе Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» за 2009-2013 гг..

По оценкам многих авторов, на протяжении последних лет город Воронеж остается неблагоприятной территорией по уровню загрязнения атмосферного воздуха [2, 3]. Кроме того, ситуация осложняется тем, что в городе имеются канцерогеноопасные производства, в выбросах которых в воздушную среду присутствуют канцерогены [4].

Основной вклад (80-85%) в загрязнение воздушного бассейна вносят выбросы от автотранспорта.

В рамках проведения мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха на протяжении последних пяти лет систематические наблюдения с отбором среднесуточных проб проводятся ФБУЗ «Центр гигиены и эпи-

демологии в Воронежской области» в мониторинговых точках контроля - на 5 маршрутных постах, расположенных в транспортной (3), жилой (1) и селитебно-рекреационной (1) функциональных зонах.

Анализ данных мониторинга проведен с позиции двух составляющих – превышения гигиенических нормативов и неблагоприятной динамики показателей, отражающих уровень загрязнения атмосферного воздуха приоритетными химическими веществами.

Установлено, что в 2013 г. регистрировались превышения ПДК_{с.с.} 8-ми приоритетных веществ: азота диоксида, взвешенных веществ, фенола, формальдегида, серы диоксида, углерода оксида, стирола, озона.

В целом за 5 лет наблюдается рост доли проб, превышающих ПДК, в 2,1 – 5 раз с 1,6% в 2011 г. до 2,6% в 2013 г.

Увеличение удельного веса проб, не отвечающих гигиеническим нормативам интервале от 2 до 5 ПДК_{с.с.}, регистрируется по азота диоксиду - с 3,0 до 14,0%, взвешенным веществам - с 1,3 до 5,0%, фенолу - с 1,4 до 5,0%. В то же время следует отметить отсутствие превышений ПДК в 2013г. в 2,1-5,0 раз по меди оксиду, серы диоксиду, углерода оксиду, формальдегиду, которые имели место в предыдущие годы (табл. 1).

Таблица 1.

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

Наименование загрязняющих веществ	Годы				
	2009	2010	2011	2012	2013
азота диоксид	3,0	2,5	4,0	13,0	14,0
взвешенные вещества	1,3	1,5	2,0	3,0	5,0
фенол	1,4	2,7	3,0	3,0	5,0
озон	0	0	4,0	0	1,0
серы диоксид	0,3	1,0	1,0	1,0	0
углерода оксид	0,7	1,2	0	1,0	0
формальдегид	0,3	1,0	2,0	1,0	0
меди оксид	5,7	4,0	5,0	0	0

Кроме того в 2013г. в г. Воронеже более чем в 5 раз превысило нормативные значения содержание стирола (мониторинговая точка контроля на ул. Героев Стратосферы, 8, вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук»), в 2012 г. данная кратность превышения ПДК отмечалась по азота диоксиду (ул. 20 лет Октября, 94 за счет выбросов от автотранспорта), в то время, как в 2011 г. превышений гигиенических нормативов более, чем в 5 раз, ни по одному веществу не регистрировалось.

Анализ в разрезе мониторинговых точек контроля свидетельствует, что наиболее неблагоприятная ситуация в 2013 г. складывалась на территориях в районе расположения маршрутных постов по Московскому проспекту, 36 (за счет автотранспорта) и ул. Героев Стратосферы, 8 (за счет выбросов от промышленных источников и автотранспорта), на которых отмечалось превышение гигиенических нормативов в 15,8% и 10,2% проб соответственно (табл. 2).

Таблица 2.

Динамика удельного веса проб атмосферного воздуха, не отвечающих гигиеническим нормативам в мониторинговых точках контроля

Маршрутный пост наблюдения и функциональная зона	Годы					Динамика к 2009г.
	2009	2010	2011	2012	2013	
ул. Героев Стратосферы, 8 (жилая)	8,9	4,5	6,7	4,0	10,2	↑
ул. Матросова, 6 (транспортная)	4,4	10,6	8,0	4,9	2,7	↓
Московский пр., 36 (транспортная)	8,4	10,9	9,1	12,7	15,8	↑
ул. Дарвина, 1 (рекреационная)	0	2,4	1,8	4,9	0,6	↑
ул. 20 лет Октября, 94 (транспортная)	5,4	8,1	14,6	14,1	7,0	↑
Всего	5,6	7,3	8,0	7,8	7,5	↑

Ориентировочная численность населения города, подверженного воздействию загрязняющих атмосферный воздух веществ, составляет 330 тыс. человек (32,8% населения). Ранжирование загрязняющих веществ по количеству экспонированного населения показало, что самый высокий ранг занимает азота диоксид, на втором месте находятся взвешенные вещества, на третьем – углерода оксид.

К «экологически зависимым» заболеваниям, связанным с загрязнением атмосферного воздуха, относятся болезни органов дыхания у населения всех групп, особенно детей. По данным региональных исследований в Воронежском регионе повышенная распространенность болезней и первичная заболеваемость детей связаны, прежде всего, с воздействием диоксида азота, присутствующего в атмосферном воздухе, который и вызывает увеличение частоты как острых, так и хронических форм заболеваний верхних и нижних дыхательных путей [3].

С высокой аэротехногенной нагрузкой также наиболее вероятно связаны болезни нервной системы, эндокринной системы, крови и крове-

творных органов, кожи и подкожной клетчатки (в т.ч. атопический дерматит), врожденные пороки развития [3].

Так, среди взрослого населения г.Воронежа в 2012г. заболеваемость бронхитом хроническим и неуточненным, эмфиземой остаётся на уровне 2010г. (0,67 на 1000 населения, 2011г. – 1,01). Среди детского населения за период 2009-2011гг. случаи заболеваемости бронхитом хроническим и неуточненным, эмфиземой не регистрировались.

В то же время регистрируется умеренное снижение показателей заболеваемости астмой, астматическим статусом как детского, так и взрослого населения области. Уровень заболеваемости в 2012г. составил у детей: 1,43 на 1000 населения (2011г. – 1,81; 2010г. – 1,97); у взрослых – 0,13 (2011г. – 0,16; 2010г. – 0,15).

Таким образом, снижение уровня популяционной экспозиции, обусловленной загрязнением воздушной среды, входит в число основных задач в области управления качеством атмосферного воздуха.

Проведение мероприятий, направленных на снижение объема выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, позволяет уменьшить загрязнение атмосферного воздуха, снизить риск негативного воздействия загрязняющих веществ на здоровье человека.

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

Предприятиями города в 2013г. продолжена работа по разработке проектов Предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферу, в которые составной частью входит план мероприятий по сокращению выбросов загрязняющих веществ в конкретные сроки. В 2013г. было представлено на экспертизу 165 проектов предельно-допустимых выбросов коммунальных, промышленных предприятий и предприятий пищевой промышленности г.Воронежа [1].

В целом в области охраны атмосферного воздуха от загрязнения необходимо:

- благоустройство санитарно-защитных зон промышленных предприятий с переселением (при необходимости) населения, проживающего в санитарно-защитных зонах предприятий;
- продолжение работ по улучшению состояния дорожного покрытия магистралей и дворовых проездов в городе;

- оптимизация движения автотранспорта по дорожной сети, строительство объездных дорог;
- озеленение магистральных улиц и санитарно-защитных зон с двухъярусной посадкой зеленых насаждений;
- возрождение электрического общественного транспорта (троллейбусного движения).

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в городском округе город Воронеж в 2013 году – Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2014 – 107 с.
2. Куролап С.А. Интегральное медико-экологическое зонирование как основа региональной стратегии устойчивого развития Воронежского региона / С.А. Куролап, О.В. Клепиков // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. Т.18, вып.2. – С. 516-519.
3. Механтьев И.И. Современные тенденции в формировании качества среды обитания и здоровья населения Воронежской области / И.И. Механтьев, Ю.И. Стёпкин, Н.А. Борисов, А.В. Платунин. – Воронеж: Изд-во ООО «ЛИО», 2013. – 174 с.
4. Стёпкин Ю.И. Паспортизация канцерогеноопасных производств Воронежской области / Ю.И. Стёпкин, Н.А. Борисов // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: Мат-лы третьей науч.-практ. конф. – Воронеж, 2013. - С. 355-356.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И АЭРОТЕХНОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

С.А. Куролан, О.В. Клепиков

На протяжении последних лет город Воронеж остается неблагоприятной территорией по уровню загрязнения атмосферного воздуха. Основной вклад в загрязнение воздушного бассейна вносят выбросы от автотранспорта. На территории города зарегистрировано более 300 тысяч единиц транспортных средств, в том числе 2551 единиц грузового автотранспорта, приписанных к предприятиям и организациям города [2].

Рост автомобильного парка происходит в условиях существенного отставания экологических показателей отечественных автотранспортных средств и используемых моторных топлив от мирового уровня, а также отставания в развитии и техническом состоянии улично-дорожной сети.

Основными составляющими выхлопных газов являются оксиды углерода, азота, серы, углеводороды, взвешенные вещества, содержание которых возрастает в процессе эксплуатации автомобиля в связи с износом двигателей.

Существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха города Воронежа приносят и стационарные источники. По опубликованным данным Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Воронежской области, согласно информации из формы государственной статистической отчетности 2ТП (воздух) - "Сведения об охране атмосферного воздуха"», в атмосферный воздух г. Воронежа от организованных (промышленных) источников поступает 343 загрязняющих вещества, общим объемом выбросов 10497 т/год [1].

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

Основной вклад в общий объем выбросов от организованных источников вносят оксид углерода (28,01%), диоксид азота (24,09%), диоксид серы (10,96%), метан (7,16%), оксид азота (4,35%), зола углей (4,06%), пыль неорганическая с содержанием SiO_2 20-70% (2,44%). По 1-2% приходится на гексан, взвешенные вещества, уайт-спирит, бензин нефтяной, толуол, ксилол, спирт этиловый. На остальные 329 учитываемых веществ в совокупности приходится 4,13%, при этом на каждое из них приходится от 0,000001 до 1,18%. Вещества, совокупный вклад которых в валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу г.Воронежа составляет 95% представлены в таблице 1.

Таблица 1

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

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

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

Целью исследования являлись оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска для здоровья населения промышленного города (на примере города Воронежа).

Основным источником информации для исследований служили фондовые данные региональной системы социально-гигиенического мониторинга. База данных «Уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа» сформирована по данным мониторинга, который осуществлялся аккредитованным испытательным лабораторным центром (АИЛЦ) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» и Воронежским ЦГМС - филиалом ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

В базу данных включены средние и максимальные концентрации приоритетных загрязнителей, контролируемых на 5 маршрутных постах (П) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» и 5 стационарных постах (С) Воронежского ЦГМС - филиал ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», а также результаты лабораторных исследований, выполненных на основании жалоб населения на неудовлетворительное качество атмосферного воздуха на территории жилой застройки, и в рамках обеспечения надзорных мероприятий по контролю уровня загрязнения атмосферного воздуха на внешних границах санитарно-защитных зон крупных промышленных объектов, соприкасающихся с территорией жилой застройки (данные ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»), что обеспечило максимально полный учет современных данных о распространении загрязнителей воздушной среды на городской территории. База данных сформирована за пятилетний период (2009-2013 гг.).

В перечень контролируемых показателей включены концентрации 16 приоритетных загрязнителей: оксида углерода, оксида серы IV (диоксида серы), оксида азота IV (диоксида азота), формальдегида, пыли (взвешенных веществ), свинца, сажи (углерода), фенола, оксида марганца IV, оксида железа III, оксида хрома VI, меди оксида, 1,3-бутадиена, озона, акролеина, стирола.

При этом на маршрутных постах наблюдения ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» постоянно контролировались концентрации 16 загрязнителей: оксид углерода, оксид серы IV, оксид азота IV, формальдегид, пыль (взвешенные вещества), свинец, сажа (углерод), фенол, оксид марганца IV, оксид железа III, оксид хрома VI, меди оксид, 1-3 бутадиен, озон, акролеин, стирол (этилбензол); на стационарных постах Воронежского ЦГМС - филиала ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» - от 5 до 7 загрязнителей: оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, пыль, формальдегид, фенол, сажа.

В перечень приоритетных загрязняющих атмосферный воздух веществ включены:

- вещества, совокупный вклад которых в валовый выброс составляет до 95% (углерода оксид, азота диоксид, серы диоксид, взвешенные вещества);

- неорганические вещества, вероятно входящие в пылевую фракцию (пыль неорганическая, взвешенные вещества, зола углей с содержанием SiO_2 от 20 до 70%), на которые имеются аттестованные методы лабораторного контроля, включенные в область аккредитации Испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» (свинец, оксид марганца, оксид железа, оксид хрома VI, меди оксид);

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

Кроме того, ряд веществ был обоснованно включен в перечень по другим критериям. В частности, основанием включения фенола (гидроксibenзола) в список контролируемых веществ являлась рекомендация организации мониторинга данного загрязнителя в соответствии с "короткими списками" приоритетных химических веществ в атмосферном воздухе населенных мест, рекомендованных в ЕС и РФ [4].

В региональный список контролируемых веществ включены 1,3-бутадиен, стирол, акролеин, присутствующие в выбросах крупнейшего производства синтетических каучуков - ОАО «Воронежсинтезкаучук» [2].

В последнее время в ряде публикаций отмечается актуальность проблемы озонового загрязнения приземного слоя воздуха [7, 10]. Известно, что озоновое загрязнение - это проблема крупных южных мегаполисов с интенсивным автомобильным движением. Однако, результаты наблюдений показывают, что озоновая опасность охватила индустриальные регионы средних широт и имеет тенденцию продвижения на север. В приземном слое атмосферного воздуха основным источником озона являются фотохимические реакции, в которых участвуют оксиды азота (NO_x), оксид углерода (CO), летучие углеводороды (C_xH_y), альдегиды и кетоны. Это вещества, содержащиеся в выхлопах автотранспорта и в промышленных выбросах, являются предшественниками образования озона. Когда уровень солнечной радиации мал (пасмурная летняя погода, осень, зима), фотохимические реакции в приземной атмосфере отсутствуют или протекают очень вяло. При увеличении солнечной радиации, особенно в безветренную погоду в воздухе города может обнаруживаться озон в опасных для человека концентрациях [7]. В этой связи озон был включен в список

приоритетных контролируемых веществ в приземном слое воздуха территории города Воронежа.

Ряд веществ, совокупный вклад которых в валовый выброс составляет до 95%, в частности, метан, гексан, уайт-спирит, бензин нефтяной, толуол, ксилол, спирт этиловый, были исключены из рассмотрения, т.к. на протяжении многолетнего периода их концентрации в атмосферном воздухе селитебной территории как по данным лабораторного контроля, так и по данным моделирования не превышали уровень в 0,1 ПДК [2].

Исходные данные мониторинга представлены по 75 точкам, т.е. локальным пунктам наблюдений, условно распределенным по пяти видам функциональных зон, в том числе: 1) жилая зона с 3-мя подзонами: (жилая ЦИ) – центральная историческая часть города, включая общественно-деловую застройку и "старую" 5-ти-этажную застройку преимущественно 50-х - 70-х гг. XX века; (жилая СП) – кварталы с современной многоэтажной застройкой преимущественно от 9 этажей и выше; (жилая ЧС) – "частный сектор", преимущественно одноэтажная и коттеджная жилая застройка – 20 точек, в т.ч. ЦИ – 7 точек, СП – 6 точек, ЧС – 7 точек; 2) промышленная зона – 18 точек; 3) зона рекреации – 14 точек; 4) транспортная зона – 17 точек; 5) фон – 6 точек.

Используемые методы лабораторного контроля входили в область аккредитации Испытательного лабораторного центра ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области (Аттестат аккредитации испытательного лабораторного центра № РОСС RU.001-510125 от 20.10.2011, г., действителен до 20.10.2016 г.), характеристика которых представлена в таблице. 2.

Таблица 2

Методы определения приоритетных загрязняющих веществ
в атмосферном воздухе населенных мест

Вещество	Метод	Основные приборы	Нормативно-техническая документация	Нижний предел количественного определения концентрации, мг/м ³
1	2	3	4	5
углерод оксид	электро-химический	Газоанализатор «Палладий – 3»	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,7 – максимально-разовая 0,35 – среднесуточная

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
сера диоксид	спектрофотометрический	Спектрофотометр двулучевой УФ сканирующий СПЕКС СПП-715, Фотометр фотоэлектрический КФК-3	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,1 – максимально-разовая 0,0125 – среднесуточная
азота диоксид	спектрофотометрический	Спектрофотометр двулучевой УФ сканирующий СПЕКС СПП-715, Фотометр фотоэлектрический КФК-3	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,012 – максимально-разовая 0,006 – среднесуточная
формальдегид	спектрофотометрический	Спектрофотометр двулучевой УФ сканирующий СПЕКС СПП-715, Фотометр фотоэлектрический КФК-3	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,008 – максимально-разовая 0,0007 – среднесуточная
взвешенные вещества (пыль)	гравиметрический	Аналитические весы	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,25 – максимально-разовая 0,025 – среднесуточная
свинец и его неорганические соединения	атомно-абсорбционный	Атомно-абсорбционный спектрометр АА-240	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,0004 – максимально-разовая 0,0002 – среднесуточная
сажа (углерод)	колориметрический	Фотометр фотоэлектрический КФК-3	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,033 – максимально-разовая 0,0125 – среднесуточная
фенол (гидроксibenзол)	спектрофотометрический	Спектрофотометр двулучевой УФ сканирующий СПЕКС СПП-715, Фотометр фотоэлектрический КФК-3	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,002 – максимально-разовая 0,00065 – среднесуточная
оксид марганца IV (марганец и его соединения)	атомно-абсорбционный, определяется валовое содержание марганца, делается пересчет на оксид	Атомно-абсорбционный спектрометр АА-240	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,005 – максимально-разовая 0,00025 – среднесуточная

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
оксид железа III (дижелезо триоксид)	атомно-абсорбционный, определяется валовое содержание марганца, делается пересчет на оксид	Спектрофотометр атомно-абсорбционный АА-240	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,00015 – среднесуточная
оксид хрома VI	спектрофотометрический	Спектрофотометр двухлучевой УФ сканирующий СПЕКС СПП-715, Фотометр фотоэлектрический КФК-3	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,00024 – среднесуточная
меди оксид	атомно-абсорбционный, определяется валовое содержание марганца, делается пересчет на оксид	Атомно-абсорбционный спектрометр АА-240	РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы»	0,001 – среднесуточная
1,3-бутадиен	газожидкостная хроматография	Газовый хроматограф «Кристалл-2000»	МВИ 2420/27-00 «Методика №СК-3190 (СВ-54) выполнения измерений массовой концентрации 1,3-бутадиена в атмосферном воздухе санитарно-защитной зоны и в воздухе рабочей зоны»	0,25 - среднесуточная
озон	спектрофотометрический	Спектрофотометр двухлучевой УФ сканирующий СПЕКС СПП-715, Фотометр фотоэлектрический КФК-3	МУ 18 22732-83 Методические указания на фотометрическое определение озона в воздухе (Госсанэпиднадзор, 1983)	0,025 – максимально разовая 0,0065 – среднесуточная
акролеин (проп-2-ен-1-аль)	спектрофотометрический	Спектрофотометр двухлучевой УФ сканирующий СПЕКС СПП-715, Фотометр фотоэлектрический КФК-3	МУК 4.1.2472-09 «Измерение массовых концентраций проп-2-ен-1-аля (акролеина) в воздухе рабочей зоны по реакции с сульфаниловой кислотой методом фотометрии» (Роспотребнадзор, 2009)	0,1 – максимально разовая 0,0025 – среднесуточная

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
стирол	газожидкостная хроматография	Газовый Хроматограф «Кристалл-2000»	МУК 4.1.598-96 «Методические указания по азохроматографическому определению ароматических, серосодержащих, галогенсодержащих веществ, метанола, ацетона и ацетонитрила в атмосферном воздухе»	0,001-максимально-разовая 0,0005 – среднесуточная

Основным нормативным документом, определяющим требования к качеству атмосферного воздуха, является «Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» (таблица 3). Эти нормативы распространяются на атмосферный воздух городских и сельских поселений.

Рассчитанные за период 2009-2013 гг. средние арифметические значения концентраций и определенные максимальные значения концентраций загрязняющих веществ сравнивались с гигиеническими нормативами ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» и референтными концентрациями, рекомендованными Всемирной организацией здравоохранения, которые определены для оценки неканцерогенного риска в соответствии Р 2.1.10.1920 -04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [8].

Характеристика неканцерогенного риска проводилась с двух позиций: острого и хронического воздействия, поскольку для ингаляционного пути поступления загрязнителей в организм в руководстве Р 2.1.10.1920 -04 приведены референтные концентрации для острого (ARfC) и хронического (RfC) воздействия (таблицы 4 и 5) [8].

Для характеристики неканцерогенного риска от воздействия на организм химических веществ использован коэффициент опасности (HQ), рассчитываемый как отношение фактической концентрации вредного вещества (C_i) к референтной (безопасной) концентрации (RfC_i). Величина $HQ > 1$ говорит о вероятности возникновения вредных токсических эффектов в организме.

С учетом однонаправленности воздействия веществ (на органы и системы человеческого организма) рассчитывался индекс опасности (HI) по формуле $HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n$, где n – число веществ однонаправленного воздействия.

Таким образом, выполненная оценка аэротехногенного риска методически вполне согласуется с принятыми в мировой практике подходами.

Таблица 3

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

Загрязняющие вещества	Код CAS ^{*)}	ПДК макси- мально разовые, мг/м ³	ПДК средне- суточ- ные, мг/м ³	Класс опас- ности	Лимитирую- щий признак вреда
углерод оксид	630-08-0	5	3	4	резорбтивное
сера диоксид	7446-09-5	0,5	0,05	3	рефлекторно- резорбтивное
азота диоксид ^{**)}	10102-44-0	0,2	0,04	3	рефлекторно- резорбтивное
формальдегид	50-00-0	0,035	0,003	2	рефлекторно- резорбтивное
взвешенные ве- щества (пыль)	-	0,5	0,15	3	резорбтивное
свинец и его не- органические со- единения	7439-92-1	0,001	0,0003	1	резорбтивное
сажа (углерод)	1333-86-4	0,15	0,005	3	резорбтивное
фенол (гидро- ксибензол)	108-95-2	0,01	0,003	2	рефлекторно- резорбтивное
оксид марганца IV (марганец и его соединения)	1313-13-9	0,01	0,001	2	резорбтивное
оксид железа III (дижелезо три- оксид)	1309-37-1	не уст.	0,04	3	резорбтивное
оксид хрома VI	18540-29-9	не уст.	0,0015	1	резорбтивное
меди оксид	1317-38-0	не уст.	0,002	2	резорбтивное
1,3-бутадиен	106-99-0	3	1	4	рефлекторно- резорбтивное
озон	10028-15-6	0,16	0,03	1	резорбтивное
акролеин (проп- 2-ен-1-аль)	107-02-8	0,03	0,01	2	рефлекторно- резорбтивное
стирол	100-42-5	0,04	0,002	2	рефлекторно- резорбтивное

^{*)} Код CAS – код вещества, когда-либо упомянутого в литературе, присваиваемый Химической реферативной службой (англ. - Chemical Abstracts Service) - подразделением Американского химического общества.

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

Таблица 4

Референтные концентрации для острого ингаляционного воздействия
(по Р 2.1.10.1920—04) [8]

Вещество	Код CAS	ARfC, мг/м ³	Критические органы/системы
углерод оксид	630-08-0	23	сердечно-сосудист. система, развитие
сера диоксид	7446-09-5	0,66	органы дыхания
азот диоксид	10102-44-0	0,47	органы дыхания
формальдегид	50-00-0	0,048	органы дыхания
пыль (SiO ₂ 20-70%)	нет номера	не уст.	-
свинец	7439-92-1	не уст.	-
сажа	1333-86-4	не уст.	-
фенол	108-95-2	6	органы дыхания
марганец диоксид	1313-13-9	не уст.	-
оксида железа III (диже- лезо триоксид в пересче- те на железо)	1309-37-1	не уст.	-
оксид хрома VI (хром в пересчете на хрома VI оксид)	18540-29-9	не уст.	-
меди оксид (в пересчете на медь)	1317-38-0	не уст.	-
1,3-бутадиен	106-99-0	0,11	развитие
озон	10028-15-6	0,18	органы дыхания
акролеин	107-02-8	0,0001	глаза
стирол	100-42-5	20	глаза, орг. дыхания

Риск острого воздействия оценивался по максимальным значениям максимально разовых концентраций. Риск хронического воздействия оценивался по среднему арифметическому значению максимальных разовых концентраций. Следует отметить, что риск хронического воздействия наиболее правильно оценивать по среднесуточным концентрациям. Однако, в сложившихся условиях, когда среднесуточные концентрации определяются по ограниченному перечню загрязнителей и только на стационарных и маршрутных постах, среднее арифметическое значение максимально разовых концентраций является наиболее приближенной к среднесуточной концентрации величиной экспозиции (более объективный показатель).

Таблица 5

Референтные концентрации для хронического ингаляционного воздействия (по Р 2.1.10.1920—04) [8]

Вещество	Код CAS	RfC, мг/м ³	Критические органы/системы
углерод оксид	630-08-0	3	кровь, сердечно-сосудист. система, развитие, ЦНС
сера диоксид	7446-09-5	0,05	органы дыхания, смертность
азот диоксид	10102-44-0	0,04	органы дыхания, кровь (образование MetHb)
формальдегид	50-00-0	0,003	органы дыхания, глаза, иммун. (сенсиб.)
пыль (SiO ₂ 20-70%)	нет номера	0,1	органы дыхания, иммун. система (сенсиб.)
свинец	7439-92-1	0,0005	ЦНС, кровь, развитие, репродуктивная система, гормон., почки
сажа	1333-86-4	0,05	органы дыхания, системн., зубы
фенол	108-95-2	0,006	сердечно-сосудист. система, почки, ЦНС, печень, органы дыхания
марганец диоксид	1313-13-9	5,00*10 ⁻⁵	ЦНС, органы дыхания
железо(III)оксид	1309-37-1	0,04	органы дыхания
хром(VI), хром триоксид	18540-29-9	0,0001	органы дыхания, рак
медь оксид	1317-38-0	2,00*10 ⁻⁵	органы дыхания, системн.
1,3-бутадиен	106-99-0	0,002	репродуктивн., органы дыхания, сердечно-сосудист. система, кровь, рак
озон	10028-15-6	0,03	органы дыхания
акролеин	107-02-8	2,00*10 ⁻⁵	органы дыхания, глаза
стирол	100-42-5	1	ЦНС, системн. (масса тела), гормон

Канцерогенный риск (CR) в течение жизни определяется по формуле $CR = ADD * SF$, где ADD - средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг*день); SF - фактор канцерогенного потенциала, мг/(кг*день)⁻¹.

При этом, для оценки экспозиции избран основной путь поступления загрязняющих веществ в организм – ингаляционный. Средняя суточная доза (ADD) рассчитывалась для двух возрастных групп (дети 6 лет и взрослое население) согласно рекомендациям, изложенным в руководстве Р 2.1.10.1920—04 [8].

Из контролируемых в атмосферном воздухе веществ 6 являются канцерогенами, для которых установлен фактор канцерогенного потенциала при ингаляционном воздействии (SF_i): формальдегид, свинец, сажа, хром (VI), 1,3-бутадиен, стирол (табл. 6).

SF_i – фактор канцерогенного потенциала ($\text{мг}/(\text{кг}\cdot\text{сутки})^{-1}$) – мера дополнительного индивидуального канцерогенного риска или степень увеличения вероятности развития рака при воздействии канцерогена. Определяется как тангенс угла наклона зависимости «доза-эффект» в нижней «линейной» части экспериментальной кривой. Факторы наклона канцерогенного потенциала разработаны в экспериментальных исследованиях на животных на основе использования линейной многоступенчатой модели и с учетом статистической экстраполяции с высоких доз, где наблюдаются эффекты в лабораторных условиях, на малые дозы, реально встречающиеся в объектах окружающей среды, при которых эффект в эксперименте не выявляется. Фактор канцерогенного потенциала – табличная (справочная) величина, определяемая экспериментальным путем.

Таблица 6

Факторы канцерогенного потенциала при ингаляционном воздействии веществ ($\text{мг}/(\text{кг}\cdot\text{сут.})^{-1}$)

Вещество	CAS	МАИР ^{*)}	ЕРА ^{**)}	SF_i (ингаляционное воздействие)
формальдегид	50-00-0	2A	B1	0,046
свинец	7439-92-1	2A	B2	0,042
сажа	1333-86-4	1	нет данных	0,0155
хром (VI)	18540-29-9	1	A	42
1,3-бутадиен	106-99-0	2A	A/B2	0,105
стирол	100-42-5	2B	C	0,002

^{*)} МАИР – международное агентство по изучению рака

^{**)} ЕРА – Агентство по защите окружающей среды США

В ходе выполнения исследования при оценке соотношения среднеарифметического значения максимально разовых концентраций, рассчитанного за период 2009-2013 гг., с ПДК_{с.с.} для воздуха населенных мест установлено, что наиболее неблагоприятные ситуации отмечаются в промышленных и транспортных функциональных зонах (таблица 7).

Таблица 7

Соотношение среднеарифметических значений максимально разовых концентраций за период с ПДК_{с.с.}

Вещество	Функциональные зоны						
	про- мыш- лен- ная	транс- порт- ная	жилая СП	жилая ЦИ	жилая ЧС	рек- реа- цион- ная	фон
оксид углерода	0,49	0,48	0,35	0,47	0,35	0,23	0,20
оксид серы IV	1,38	1,44	0,71	0,50	0,81	0,36	0,28
оксид азота IV	1,26	1,62	0,57	0,90	0,50	0,29	0,14
формальдегид	3,11	3,14	0,92	1,49	1,71	0,44	0,27
пыль (взвешенные вещества)	1,42	1,33	0,49	1,04	0,75	0,33	0,21
свинец	0,37	0,40	0,33	0,33	0,35	0,33	0,33
фенол	1,15	0,97	0,44	0,57	0,44	0,24	0,22
оксид марганца IV	0,41	0,35	1,38	0,25	0,25	0,25	0,25
оксид железа III	0,04	0,02	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00
оксид хрома VI	0,16	0,11	0,10	0,12	0,12	0,10	0,10
меди оксид	0,25	0,29	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25
1,3 - бутадиен	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25	0,24	0,25
озон	0,87	0,35	0,22	0,33	0,29	0,24	0,22
акролеин	0,40	0,32	0,55	0,40	0,25	0,23	0,09
стирол (этилбензол)	0,25	0,26	0,25	0,29	0,25	0,25	0,25

К числу приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха в промышленных и транспортных функциональных зонах следует отнести 5 из 16 контролируемых веществ, соотношение среднеарифметических значений максимально разовых концентраций которых к ПДК_{с.с.} > 1: оксид серы IV (1,38-1,44), оксид азота IV (1,26-1,62), формальдегид (3,11-3,14), взвешенные вещества (1,33-1,42), фенол (1,15).

При этом, следует пояснить ситуацию с концентрацией сажи, которая имеет значительную неопределенность, связанную с тем, что нижний предел количественного определения максимально разовой концентрации сажи в атмосферном воздухе составляет 0,0125 мг/м³, в то время как ПДК_{с.с.} = 0,005 мг/м³. Это делает некорректным сравнение среднеарифметических значений максимально разовых концентраций сажи с ПДК_{с.с.}. Ввиду этого, в таблице 7 данные по саже не приведены.

В жилых функциональных зонах вызывает опасение присутствие в атмосферном воздухе оксида марганца и формальдегида. На рекреационных территориях отмечается вполне удовлетворительная ситуация.

При анализе соотношений максимальных значений максимально разовых концентраций за период 2009-2013 гг. с ПДК_{м.р.} выявлено, что наиболее неблагоприятная ситуация характерна для транспортной функциональной зоны. Превышения ПДК_{м.р.} в этой зоне отмечаются по содержанию оксида углерода, оксида серы IV, оксида азота IV, формальдегида, взвешенным веществам, фенолу от 1,33 до 13,71 раз (таблица 8).

Таблица 8

Соотношение максимальных значений максимально разовых концентраций за период 2009-2013 гг. с ПДК_{м.р.}

Вещество	Функциональные зоны						
	про- мыш- лен- ная	транс- порт- ная	жилая СП	жилая ЦИ	жилая ЧС	рек- реа- цион- ная	фон
оксид углерода	2,80	2,40	0,56	2,60	0,56	0,73	0,32
оксид серы IV	0,98	1,53	0,80	0,45	0,38	0,32	0,10
оксид азота IV	2,40	1,55	1,00	1,45	0,44	0,50	0,05
формальдегид	5,31	13,71	0,46	1,14	0,77	0,18	0,15
пыль (взвешенные вещества)	4,80	1,80	1,30	4,40	1,13	0,43	0,28
свинец	0,33	0,75	0,10	0,10	0,29	0,10	0,10
сажа (углерод)	0,53	0,46	0,27	0,45	0,26	0,22	0,22
фенол	1,20	1,33	0,20	0,98	0,35	0,94	0,07
оксид марганца IV	0,25	0,26	0,25	0,03	0,03	0,03	0,03
оксид железа III	ПДК _{м.р.} не установлена						
оксид хрома IV	ПДК _{м.р.} не установлена						
меди оксид	ПДК _{м.р.} не установлена						
1,3 - бутадиен	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
озон	0,24	0,76	0,04	0,45	0,07	0,28	0,04
акролеин	0,08	0,25	0,28	0,28	0,08	0,08	0,03
стирол (этенилбен- зол)	0,01	0,08	0,01	0,26	0,01	0,13	0,01

Для промышленной функциональной зоны также характерны превышения ПДК_{м.р.} по содержанию оксида углерода, оксида азота IV, формальдегида, взвешенных веществ, фенола от 1,20 до 5,31 раз.

В целом в транспортной зоне превышения данного гигиенического норматива (ПДК_{м.р.}) отмечены по содержанию 6-ти веществ, в промышленной зоне – по содержанию 5-ти веществ, в центральной исторической

жилой функциональной зоне (ЦИ) – по 3-м веществам (оксиду углерода II, оксиду азота IV, взвешенным веществам), в жилых зонах с современной многоэтажной застройкой (СП) и территории "частного сектора" (ЧС) – по содержанию 1-го вещества (взвешенных веществ). Такая информационная картина является закономерной и объясняется преобладанием вклада в уровень загрязнения воздушной среды автомобильного транспорта. Кроме того обращает на себя внимание тот факт, что из жилых функциональных зон наиболее неблагоприятная ситуация сложилась для центральной исторической функциональной зоны, для которой характерна высокая автотранспортная нагрузка в сочетании с исторически реализованными устаревшими приемами градостроительного проектирования, в том числе узкими проезжими частями уличных магистралей, близким и плотным примыканием к ним зданий, что ухудшает условия рассеивания выхлопов от автотранспорта и повышает аэротехногенное загрязнение.

Переходя от анализа ситуации на основе отечественных гигиенических нормативов к применению методологии оценки риска для здоровья населения, следует отметить, что, несмотря на общность определений терминов «предельно допустимая концентрация» и «референтная концентрация», а также проводимую в Российской Федерации работу по синхронизации отечественных нормативов качества окружающей среды с зарубежными аналогами, на практике при использовании различных методических подходов возникают неопределенности и различия в трактовке результатов, которые необходимо обсуждать в дискуссионном плане.

В этой связи целью данного исследования была не только оценка аэротехногенного риска, но и выявление методических несоответствий отечественных рискологических подходов и методологий, заимствованных из зарубежной практики.

Так, при оценке неканцерогенного риска острого воздействия по соотношению максимальных значений максимально разовых концентраций и референтных концентраций для острого ингаляционного воздействия установлено, что вызывает опасение воздействие формальдегида, коэффициент опасности острого воздействия которого (HQ) в промышленных зонах достигает 3,88, в транспортных – достигает величины 10,0; оксида серы IV - в транспортной зоне (HQ=1,16); оксида азота IV – в промышленной зоне (HQ=1,02). По остальным загрязнителям, для которых имеются референтные концентрации острого ингаляционного воздействия (оксид углерода, фенол, озон, стирол) опасений нет. Кроме того, имеются референтные концентрации острого ингаляционного воздействия для 1,3-бутадиена и акролеина (0,002 и 0,00002 мг/м³ соответственно). Однако нижний предел количественного определения этих загрязнителей в атмосферном воздухе значительно выше этого и составляет 0,25 и 0,0025 мг/м³ соответственно, что не позволяет дать адекватную оценку неканцероген-

ного риска по этим двум веществам. В жилых и рекреационных зонах по острому воздействию $HQ < 1,0$ по всем веществам.

При оценке хронического воздействия установлено, что коэффициенты опасности, характеризующие неканцерогенный риск, превышали приемлемый уровень ($HQ > 1$) по 4 веществам (оксид серы IV, оксид азота IV, формальдегид, взвешенные вещества). Наиболее значительный неканцерогенный риск обусловлен присутствием в атмосферном воздухе формальдегида (HQ для промышленной, транспортной и жилой функциональной зоны соответственно 3,11; 3,14; 1,49-1,71) (таблица 9).

Таблица 9

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

Вещество	Функциональные зоны						
	про- мыш- лен- ная	транс- порт- ная	жилая СП	жилая ЦИ	жилая ЧС	рек- реа- цион- ная	фон
оксид углерода	0,49	0,48	0,35	0,47	0,35	0,23	0,20
оксид серы IV	1,38	1,44	0,71	0,50	0,81	0,36	0,28
оксид азота IV	1,26	1,62	0,57	0,90	0,50	0,29	0,14
Формальдегид	3,11	3,14	0,92	1,49	1,71	0,44	0,27
пыль (взвешенные вещества)	2,13	2,00	0,73	1,55	1,12	0,50	0,31
свинец	0,22	0,24	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20
сажа (углерод)	0,99	0,55	0,72	0,72	0,67	0,66	0,66
фенол	0,58	0,49	0,22	0,29	0,22	0,12	0,11
оксид железа III	0,04	0,02	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00
озон	0,87	0,35	0,22	0,33	0,29	0,24	0,22
стирол (этиленбен- зол)	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00	<0,00

При расчете коэффициентов опасности по оксиду марганца, оксиду хрома, оксиду меди, 1,3-бутадиену, акролеину нами был использован нижний предел количественного определения, а не реальная концентрация. В этом случае для указанных веществ интервал значений HQ оказался крайне высок (таблица 10).

С одной стороны, методология оценки риска в такой ситуации исходит из позиции учета нижнего предела обнаружения вещества (т.е. за реальную концентрацию при оценке риска в этом случае, а именно «...при

наличии сведений о возможности присутствия вещества в исследуемой точке или в зоне потенциального влияния источника загрязнения окружающей среды...» используется нижний предел обнаружения вещества) (п. 4.2.16. Р 2.1.10.1920—04), а, с другой стороны, необходимой рекомендацией в таких случаях является смена использования метода определения с повышением его чувствительности или совершенствование пробоотбора и пробоподготовки для уменьшения нижнего предела количественного определения концентрации.

Таблица 10

Неканцерогенный риск
(коэффициенты опасности при оценке хронического ингаляционного воздействия, HQ) при нижнем пределе количественного определения концентрации некоторых веществ в атмосферном воздухе

Показатель	Вещество				
	оксид марганца IV	оксид хрома VI	меди оксид	1,3 - бутадиен	акролеин
Нижний предел количественного определения концентрации, мг/м ³	0,00025	0,00015	0,0005	0,25	0,0025
Референтная концентрация для оценки хронического ингаляционного воздействия, мг/м ³	0,00005	0,00010	0,00002	0,002	0,00002
Коэффициент опасности (HQ) при нижнем пределе количественного определения концентрации	5,00	1,50	25,00	125,00	125,00

Вместе с тем, если обратиться к действующим в Российской Федерации требованиям к методам контроля загрязняющих атмосферный воздух веществ (ГОСТ 17.2.4.02-81 "Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ"), то «...применяемый метод должен обеспечивать определение загрязняющего вещества в атмосферном воздухе на уровне 0,8 ПДК или меньше», что в нашем случае соответствует практике. В этой связи, необходимо синхронизировать значения ПДК по данным веществам с референтными концентрациями. Проблема дискуссионная, и поэтому в окончательные выводы, а также в расчет индекса опасности, характеризующего неканцерогенный

риск при одностороннем воздействии веществ, коэффициенты опасности (НҚ) для оксида марганца IV, оксида хрома VI, меди оксида, 1,3-бутадиена и акролеина нами не включены.

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

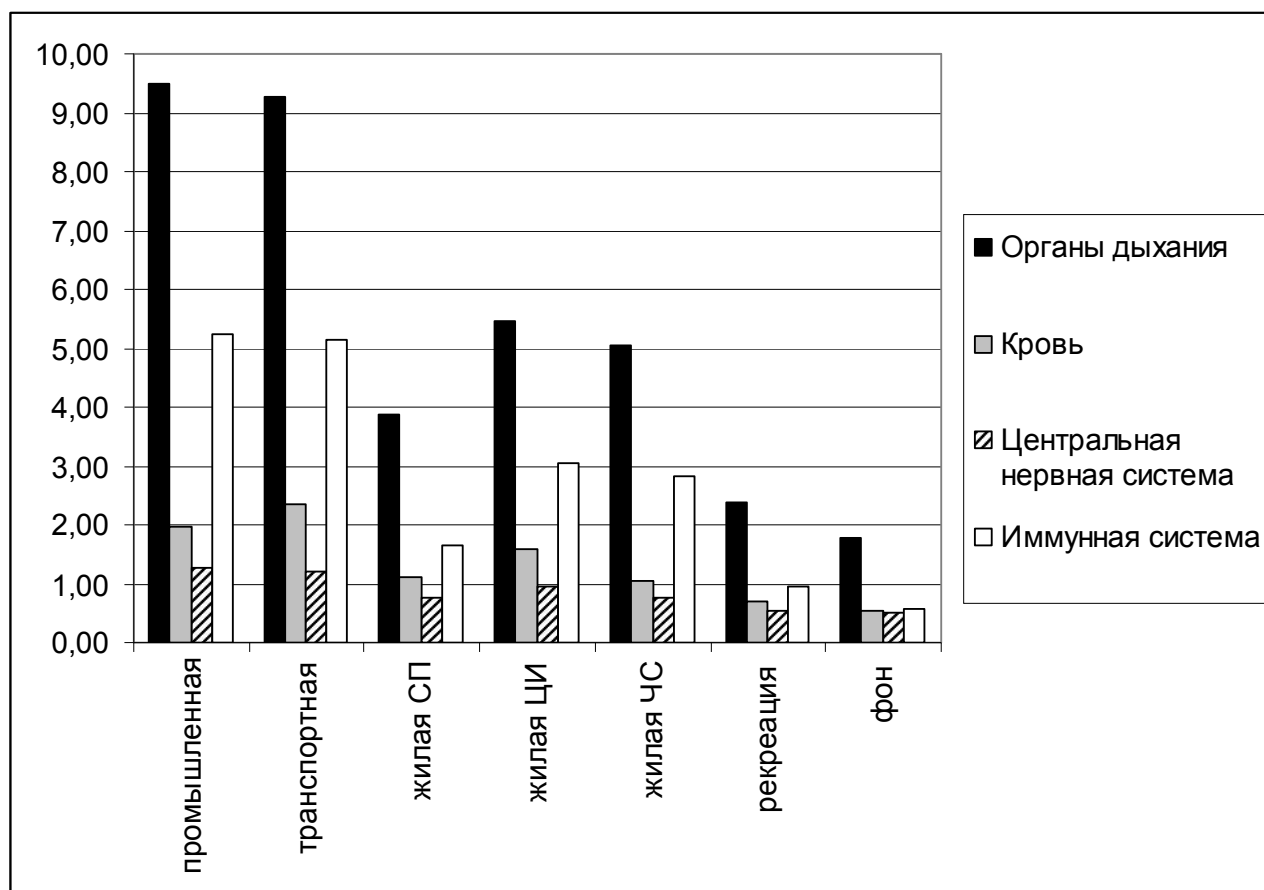


Рис.1. Неканцерогенный риск, обусловленный односторонним воздействием веществ на органы и системы организма человека (индекс опасности HI)

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

В целом по суммам коэффициентов опасности (ΣHQ), характеризующих неканцерогенный риск при хроническом ингаляционном воздействии загрязняющих веществ, неблагополучие наиболее выражено в про-

мышленной и транспортной функциональных зонах, которые выше фонового значения в 4,6 и 4,3 раза соответственно (рис. 2).

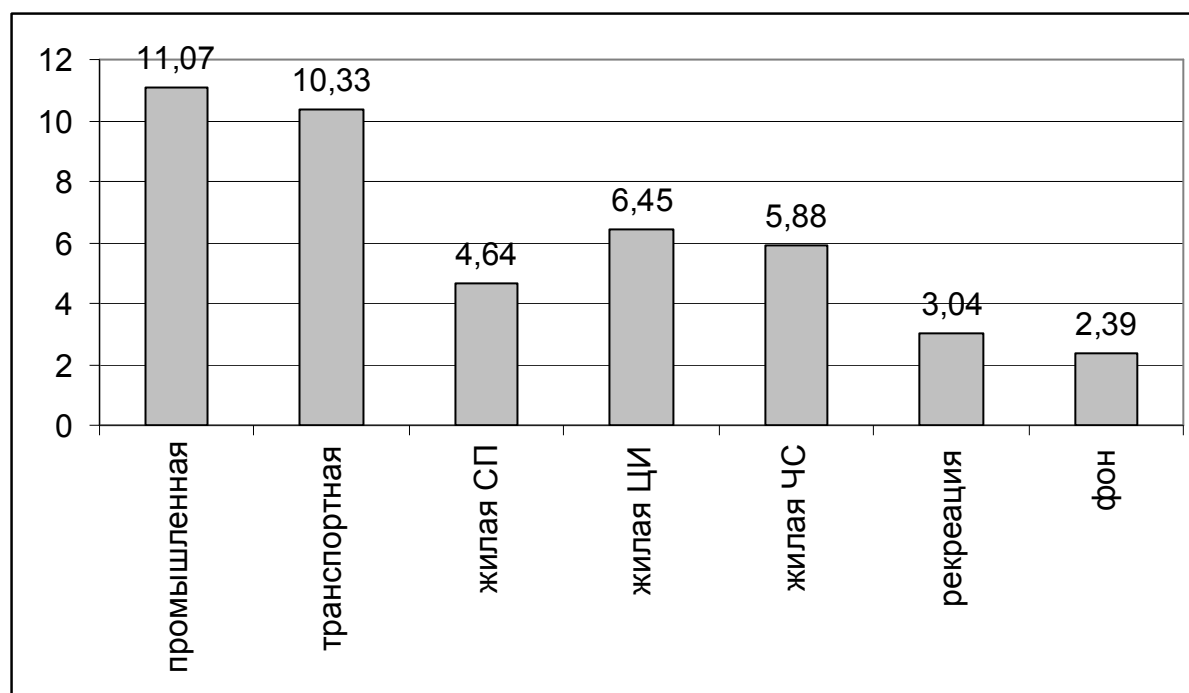


Рис. 2. Сумма коэффициентов опасности (HQ), характеризующих неканцерогенный риск при хроническом ингаляционном воздействии

Оценка канцерогенного риска для здоровья населения, проведенная по имеющимся результатам лабораторных исследований качества атмосферного воздуха на территории г. Воронежа, показала, что неприемлемые уровни индивидуального канцерогенного риска (выше принятого в Российской Федерации и составляющего для загрязнителей атмосферного воздуха $1 \cdot 10^{-4}$, т.е. 1-го случая онкологического заболевания на 10000 населения) отмечаются по воздействию оксида хрома VI и 1,3-бутадиена (таблица 11).

В целом в промышленной функциональной зоне отмечаются наибольшие значения суммарного индивидуального канцерогенного риска как для взрослого ($4,89 \cdot 10^{-3}$), так и для детского населения ($4,38 \cdot 10^{-4}$).

Вместе с тем относительно низкий предел количественного определения содержания оксида хрома VI и 1,3-бутадиена, отмеченный ранее, а также погрешность расчета средних арифметических значений концентраций, связанная с внесением в базу данных нижнего предела количественного определения, вносят существенную неопределенность в результаты оценки индивидуального канцерогенного риска, обусловленного воздействием данных веществ.

Анализ существующей системы мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа показал, что она требует совершенствования. В настоящее время контроль ведется по ограниченному перечню

веществ, систематически контролируются концентрации только 16 веществ.

Таблица 11

Индивидуальный канцерогенный риск (CR)

Функциональная зона	Индивидуальный канцерогенный риск (CR)						
	формальдегид	свинец	сажа (углерод)	оксид хрома VI	1,3-бутадиен	стирол (этинилбензол)	ΣCR^*
Взрослое население							
промышленная	$5,60 \cdot 10^{-5}$	$6,15 \cdot 10^{-7}$	$9,98 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-3}$	$3,42 \cdot 10^{-3}$	$1,30 \cdot 10^{-7}$	$4,89 \cdot 10^{-3}$
транспортная	$5,64 \cdot 10^{-5}$	$6,54 \cdot 10^{-7}$	$5,56 \cdot 10^{-5}$	$9,26 \cdot 10^{-4}$	$3,23 \cdot 10^{-3}$	$1,29 \cdot 10^{-8}$	$4,27 \cdot 10^{-3}$
жилая (СП)	$1,65 \cdot 10^{-5}$	$5,47 \cdot 10^{-7}$	$7,27 \cdot 10^{-5}$	$8,21 \cdot 10^{-4}$	$3,42 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-8}$	$4,33 \cdot 10^{-3}$
жилая (ЦИ)	$2,67 \cdot 10^{-5}$	$5,47 \cdot 10^{-7}$	$7,32 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$3,42 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-8}$	$4,53 \cdot 10^{-3}$
жилая (ЧС)	$3,08 \cdot 10^{-5}$	$5,73 \cdot 10^{-7}$	$6,77 \cdot 10^{-5}$	$9,85 \cdot 10^{-4}$	$3,42 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-8}$	$4,50 \cdot 10^{-3}$
рекреационная	$7,91 \cdot 10^{-6}$	$5,47 \cdot 10^{-7}$	$6,66 \cdot 10^{-5}$	$8,21 \cdot 10^{-4}$	$3,23 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-8}$	$4,12 \cdot 10^{-3}$
фон	$4,79 \cdot 10^{-6}$	$5,47 \cdot 10^{-7}$	$6,66 \cdot 10^{-5}$	$8,21 \cdot 10^{-4}$	$3,42 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-8}$	$4,31 \cdot 10^{-3}$
Детское население (дети 6 лет)							
промышленная	$5,01 \cdot 10^{-6}$	$5,50 \cdot 10^{-8}$	$8,93 \cdot 10^{-6}$	$1,18 \cdot 10^{-4}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$4,38 \cdot 10^{-4}$
транспортная	$5,05 \cdot 10^{-6}$	$5,86 \cdot 10^{-8}$	$4,97 \cdot 10^{-6}$	$8,28 \cdot 10^{-5}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-8}$	$3,82 \cdot 10^{-4}$
жилая (СП)	$1,48 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$	$6,51 \cdot 10^{-6}$	$7,35 \cdot 10^{-5}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$3,88 \cdot 10^{-4}$
жилая (ЦИ)	$2,39 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$	$6,55 \cdot 10^{-6}$	$9,07 \cdot 10^{-5}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^{-8}$	$4,06 \cdot 10^{-4}$
жилая (ЧС)	$2,76 \cdot 10^{-6}$	$5,13 \cdot 10^{-8}$	$6,05 \cdot 10^{-6}$	$8,82 \cdot 10^{-5}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$4,03 \cdot 10^{-4}$
рекреационная	$7,08 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$	$5,96 \cdot 10^{-6}$	$7,35 \cdot 10^{-5}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$3,69 \cdot 10^{-4}$
фон	$4,28 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-8}$	$5,96 \cdot 10^{-6}$	$7,35 \cdot 10^{-5}$	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-8}$	$3,86 \cdot 10^{-4}$

*) Суммарный индивидуальный канцерогенный риск

В этой связи в наших исследованиях имели место неопределенности при оценке аэротехногенного риска здоровью, которые были связаны с недоучетом воздействия химических веществ, а также с вариабельностью воздействия на здоровье человека, связанной с индивидуальной активностью, с показателями эмиссии загрязняющих веществ и физико-химическими процессами, изменяющими концентрации химических веществ в воздушной среде (при расчете приняты стандартные параметры в соответствии с рекомендациями Р.2.1.10.1920-04).

Для более адекватной оценки аэротехногенного риска здоровью населения необходима информация о среднесуточных концентрациях загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. Среднесуточные концентрации поллютантов в настоящее время определяются в г. Воронеже только на стационарных и маршрутных постах. В остальных

точках (исследования по жалобам населения, при надзорных мероприятиях и др.) лабораторно проводится лишь определение максимально разовых концентраций. Использование при оценке риска для здоровья среднего арифметического значения максимально разовых концентраций, определенных за пятилетний период мониторинга (2009-2013 гг.), остается дискуссионным вопросом. С нашей точки зрения, при отсутствии другой объективной информации об уровне загрязнения, использование при оценке риска для здоровья среднего арифметического значения максимально разовых концентраций является оправданным, но, вместе с тем, вносящим некоторую неопределенность в результаты оценки риска хронического воздействия аэротехногенных загрязнителей. Следовательно, результаты вероятностной оценки риска для здоровья населения могут быть обоснованно использованы в планировании мероприятий по охране воздушного бассейна от загрязнения только в сочетании с наличием доказательств неблагоприятного влияния изучаемого фактора на состояние здоровья населения, полученных на основе параллельного применения других методов исследования.

Снизить рассматриваемую неопределенность возможно на основе применения методов оценки достоверности различий средних многолетних уровней заболеваемости населения, проживающего на контрастных по уровням загрязнения воздушной среды территориях, а также корреляционного анализа, подтверждающего наличие связи аэротехногенного загрязнения и фактической заболеваемости населения. Такие исследования неоднократно проводились в г. Воронеже, и их результаты во многом подтверждают полученные нами данные о существенной роли аэротехногенного загрязнения в формировании заболеваемости населения промышленного центра [3, 5, 6, 9].

Учитывая также, что практически во всех городских функциональных зонах за исключением рекреационных, имеет место воздействие пылевого фактора (1,30 – 4,80 ПДК_{м.р.}) необходимо внедрить методы определения концентрации взвешенных веществ с учетом фракционного состава (с диаметром частиц до 2,5 мкм - РМ_{2,5} и с диаметром частиц до 10 мкм - РМ₁₀), а также массового содержания диоксида кремния (SiO₂).

Кроме того часть применяемых методов лабораторного контроля, в частности, определения содержания в атмосферном воздухе оксида марганца IV, оксида хрома VI, меди оксида, 1,3-бутадиена, акролеина не обеспечивают определение малых концентраций, несмотря на достаточно невысокие значения нижнего предела количественного определения концентрации вещества в пробе, который ограничен порогом чувствительности используемого прибора (т.е. нижним пределом детектирования). Предел количественного определения в лабораторных исследованиях, т.е. определение наименьшей концентрации анализируемого вещества непосред-

ственно в воздухе (а не в лабораторно анализируемой пробе, в большинстве случаев представляющей жидкую и твердую фазу) зависит от таких факторов как продолжительность отбора пробы воздуха, объемная скорость аспирации (т.е. условий концентрирования определяемого компонента на адсорбенте и в абсорбенте), а также способа извлечения из адсорбента и других факторов процесса отбора пробы воздуха и пробоподготовки.

В этой связи обеспечение меньшего значения нижнего предела количественного определения концентрации загрязняющего вещества в воздухе может быть достигнуто увеличением объема отбираемого воздуха. При этом также снижается погрешность измерения, повышается точность и достоверность исследований.

Вместе с тем длительность отбора (аспирации) воздуха регламентирована руководящими документами и составляет 20-30 минут для определения максимально разовых концентраций и 3-4-мя отборами проб максимально-разовых концентраций в течение суток для определения средне-суточных концентраций, а нижний предел количественного определения ориентирован на 0,8 ПДК. Таким образом, имеется противоречие между аттестацией метода с метрологической позиции и необходимостью обеспечения мониторинга ряда загрязнителей на уровне референтных концентраций, которые значительно ниже ПДК.

Несмотря на ряд существующих проблем и неопределенностей в методах лабораторного контроля и оценки риска для здоровья населения, система мониторинга является "поставщиком" достаточно объективной информации для обоснования принятия управленческих решений по снижению уровня загрязнения воздушной среды.

Мероприятия по охране атмосферного воздуха от загрязнения являются составной частью системы управления качеством окружающей среды. Их целью является поддержание или улучшение качества воздушной среды, снижение аэротехногенного риска заболеваемости населения.

Несмотря на активное проведение в г. Воронеже мероприятий по снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха, проблема неблагоприятного влияния аэротехногенных загрязнителей на состояние здоровья населения продолжает занимать одно из приоритетных мест в системе экологического и социально-гигиенического мониторинга. С возрастанием доли влияния выбросов от автомобильного транспорта на уровень загрязнения приземного слоя воздуха эта проблема обостряется, поскольку выхлопы автотранспорта усугубляют ситуацию по уровню загрязнения воздуха как в промышленных, так и в жилых зонах.

При ведущей роли в загрязнении атмосферного воздуха выхлопов от автомобильного транспорта следует обратить внимание на ряд значимых моментов. Объем выделяемых в атмосферный воздух токсичных веществ

находится в прямой зависимости от расхода топлива. Серьезную проблему представляют и автомобильные «пробки», способствующие повышению концентраций загрязняющих веществ в приземном слое воздуха.

Как известно, снижение загрязнения воздушной среды автотранспортными средствами достигается многими методами. Наиболее эффективными считаются модернизация и поддержание исправными систем нейтрализации отработавших газов, нормативные ограничения, а также использование альтернативного топлива. Решение проблемы снижения загрязнения может быть только комплексным. Для уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха необходимо также регулировать транспортные нагрузки на улицах города, делая их более равномерными. Наиболее загруженные участки транспортной сети необходимо дублировать, прокладывая новые линии движения транспорта.

Охрана атмосферного воздуха от загрязнения выбросами от промышленных источников включает в себя реализацию: 1) санитарно-организационных и санитарно-технических мероприятий (организация санитарно-защитных зон, внедрение методов эффективной очистки выбросов стационарных источников предприятий от вредных загрязняющих веществ (газов, паров, аэрозолей); 2) совершенствование технологических процессов с целью уменьшения объема выбросов, внедрение малоотходных технологий; 3) обеспечение исполнения требований природоохранного законодательства, природоохранных и гигиенических нормативов.

Таким образом, для снижения аэротехногенного риска и оздоровления городской среды, необходима целенаправленная экологическая политика, составными блоками которой могут быть, во-первых, реконструкция транспортных сетей города 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; во-вторых, изменение топливного баланса в теплоэнергетической промышленности с полным переходом на газ в качестве топлива; в-третьих, более высокое озеленение внутригородского пространства с внедрением в состав посадок газоустойчивых зеленых насаждений: тополя, ясеня и других видов, а также более широкое применение «вертикального озеленения» стен и крыш домов по опыту ряда крупных городов Европы, что позволит снизить загрязнение воздушного бассейна вблизи автомагистралей.

Выявленные нами закономерности формирования загрязнения воздушного бассейна могут быть полезны региональным природоохранным органам, разрабатывающим целевые программы мониторинга, охраны воздушного бассейна и профилактики экологически обусловленных заболеваний населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад «О государственном надзоре и контроле за использованием природных ресурсов и состоянием окружающей среды Воронежской области в 2012 году» – Воронеж, 2013. – 86 с. [<http://36.rpn.gov.ru/node/3521>].
2. Доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в городском округе город Воронеж в 2013 году. – Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2014. – 107 с.
3. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска / С.А. Куролап, С.А. Епринцев, О.В. Клепиков и др. – Воронеж: Изд-во «Истоки», 2010. – 207 с.
4. Информационное письмо Минздрава РФ от 07.08.1997 №11/109-111 «О списке приоритетных веществ, содержащихся в окружающей среде и их влияние на здоровье населения» - М.: Департамент Государственного санитарно-эпидемиологического надзора, 1997. – 48 с. [http://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=838].
5. 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.
6. Механтьев И.И. Современные тенденции в формировании качества среды обитания и здоровья населения Воронежской области / И.И. Механтьев, Ю.И. Стёпкин, Н.А. Борисов, А.В. Платунин. – Воронеж: Изд-во ООО «ЛИО», 2013. – 174 с.
7. Пшенин В.Н. Автомобильный транспорт и приземный озон // Экологизация автомобильного транспорта: передовой опыт России и стран Европейского союза: Труды II-го всерос. науч.-практ. семинара с межд. участием. – 2004. - С. 33-36 [<http://www.ecotrans.spb.ru/content/view/19/31/>].
8. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920 — 04). – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
9. Чубирко М.И. Химическое воздействие воздушной среды и здоровье населения / М.И. Чубирко, Н.М. Пичужкина; Под ред. академика РАМН, профессора А.И. Потапова. - Воронеж: Изд-во «Истоки», 2004. – 224 с.
10. Чучалин А.М. Ядовитый озон / А.М. Чучалин, О.А. Яковлева, В.А. Миляев, С.Н. Котельников // Журнал «Территория и планирование». – 2007. – №2(9) [<http://terraplan.ru/arhiv/29-2-9-2007/225-149.html>].

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

О.В. Клепиков, С.А. Куролап, И.С. Ильина

В условиях многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха промышленных годов в сочетании с имеющим место мультифакторным неблагоприятным воздействием других объектов техногенно измененной среды обитания (качества питьевой воды, уровня загрязнения почвы, акустического фона и др.) определение вклада конкретного загрязнителя атмосферного воздуха в формирование популяционного здоровья является достаточно сложной, а в ряде случаев неразрешимой задачей.

Вместе с тем сочетание различных методических подходов, в частности, методологии оценки риска для здоровья, анализа уровней заболеваемости населения, применение алгоритмов корреляционного анализа данных в системе "среда обитания – здоровье населения", может с достаточной степенью достоверности показать вклад неблагоприятных эколого-гигиенических условий территорий проживания в формирование уровня заболеваемости населения.

С целью верификации результатов оценки риска для здоровья населения проведена оценка степени сопряженности уровня загрязнения атмосферного воздуха г.Воронежа, определенного по данным лабораторных исследований, и заболеваемости населения в территориальном разрезе.

Для решения задачи по оценке взаимосвязи уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа и заболеваемости населения был выбран детский контингент (дети до 14 лет включительно). Основанием выбора данного контингента являлось то, что дети более "привязаны" к району постоянного проживания (посещают детские дошкольные учреждения, школы, как правило, ситуационно расположенные в этом же районе). Взрослое же население сильно мигрирует в течение дня в пределах города, поскольку место проживания и место трудовой деятельности в подавляющем большинстве случаев располагаются в разных районах города. Кроме того для взрослого населения в формирование его здоровья существенный вклад могут оказывать производственные факторы и образ жизни (характер питания, наличие вредных привычек и др.), что вносит большие неопределенности в оценку взаимосвязи уровня загрязнения атмосферного воздуха и его заболеваемости.

Оценка уровня заболеваемости детей проведена по данным обращаемости населения в лечебно-профилактические учреждения за медицинской помощью. Основным источником информации для исследований служили данные обращаемости в поликлинические учреждения за меди-

цинской помощью, отражаемые в форме государственной статистической отчетности лечебно-профилактических учреждений №12 «Отчет о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания лечебного учреждения».

Форма содержит сведения об абсолютном числе случаев заболеваний по классам болезней и отдельным нозологиям в соответствии с международной классификацией болезней и травм десятого пересмотра (МКБ-Х).

Статистические данные о числе случаев заболеваний собираются и анализируются в рамках системы социально-гигиенического мониторинга г.Воронежа по 12-ти территориям обслуживания детских поликлиник [2].

С целью возможности сравнения показателей заболеваемости по отдельным территориям, численность проживающего детского населения на которых различна, был использован приведенный показатель заболеваемости (в случаях заболеваний на 1000 населения). Рассчитан средний многолетний уровень заболеваемости детского населения (2009-2013 гг.) по 14 основным классам болезней (табл. 1).

Таблица 1

Средний многолетний уровень заболеваемости детей до 14 лет по территориям обслуживания детских поликлиник г.Воронежа (в случаях заболеваний на 1000 детей)

Классы болезней	Территории обслуживания детских поликлиник					
	1	1 взросл. (детск. отд.)*	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Общая заболеваемость (всего)	977,6	801,1	1227,5	1535,0	867,7	1491,0
Инфекционные и паразитарные болезни	48,7	36,3	55,2	59,0	46,5	46,9
Новообразования	2,5	1,0	1,8	6,2	0,4	4,6
Болезни эндокринной системы	26,4	7,8	15,4	20,5	16,5	19,9
Болезни крови и кроветворных органов	4,1	8,3	10,6	12,8	4,0	18,2
Болезни нервной системы и органов чувств	128,2	123,6	158,9	230,4	173,4	212,2
Болезни системы кровообращения	5,4	9,5	6,4	7,2	3,3	4,7
Болезни органов дыхания	598,7	552,4	783,1	871,4	475,4	907,7
Болезни органов пищеварения	28,5	15,4	28,3	69,8	28,5	49,2
Болезни мочеполовой системы	29,1	9,0	16,8	48,1	12,1	21,2

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Болезни кожи и подкожной клетчатки	8,0	6,5	10,8	36,4	3,6	9,6
Болезни костно-мышечной системы	13,9	13,6	20,9	41,9	45,0	46,7
Врожденные аномалии	14,7	5,7	15,9	22,2	3,9	20,1
Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде	8,9	4,9	4,8	11,6	2,7	11,4
Неточно обозначенные состояния	8,5	39,1	29,8	23,3	15,7	53,1
Травмы и отравления	43,6	5,9	68,2	67,2	32,7	62,2
Классы болезней	Территории обслуживания детских поликлиник					
	6	7	8	9	10	11
Общая заболеваемость (всего)	1441,6	1546,1	1295,2	926,3	1049,3	1366,8
Инфекционные и паразитарные болезни	25,7	30,9	51,9	33,4	20,9	51,9
Новообразования	2,9	5,6	0,3	3,8	4,2	4,0
Болезни эндокринной системы	17,8	42,3	16,8	8,5	16,4	30,5
Болезни крови и кроветворных органов	4,0	6,3	10,5	3,8	10,0	14,0
Болезни нервной системы и органов чувств	133,2	206,5	192,2	156,0	269,1	337,2
Болезни системы кровообращения	3,0	9,0	16,3	1,7	7,3	28,4
Болезни органов дыхания	965,2	877,3	833,4	524,0	494,8	830,3
Болезни органов пищеварения	51,4	15,1	32,5	28,9	31,2	61,7
Болезни мочеполовой системы	34,7	25,2	17,1	18,6	16,4	50,9
Болезни кожи и подкожной клетчатки	7,7	300,2	10,8	8,6	5,3	32,7
Болезни костно-мышечной системы	9,7	64,0	18,7	13,5	66,8	64,2
Врожденные аномалии	24,4	10,6	21,1	20,4	11,8	11,9
Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде	2,3	3,9	2,3	10,6	3,6	15,4
Неточно обозначенные состояния	76,7	51,3	11,5	55,0	21,0	23,9
Травмы и отравления	15,2	52,6	53,3	36,5	65,1	55,8

*) *детское отделение 1-ой "взрослой" поликлиники.*

Схема территориальных различий заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания показана на рисунке 1, а графическое сопоставление по поликлиникам этого показателя, имеющего максимальный удельный вес в структуре патологии детей (более 50 %) - на рисунке 2.

Следует обратить внимание, что уровни заболеваемости детского населения по 12-ти внутригородским территориям достаточно сильно варьируют. Так, средний многолетний уровень общей заболеваемости детей по отдельным внутригородским территориям – зонам обслуживания детских поликлиник различается до 1,9 раз (от 801,1 случаев заболеваний на 1000 детей на территории обслуживания детского отделения взрослой поликлиники №1 до 1546,1 на 1000 детей на территории обслуживания детской поликлиники №7). По болезням органов дыхания различия достигают 2,0 раз (от 475,4 случаев на 1000 детей – детская поликлиника №4, до 965,2 – детская поликлиника №6 (рис. 2).

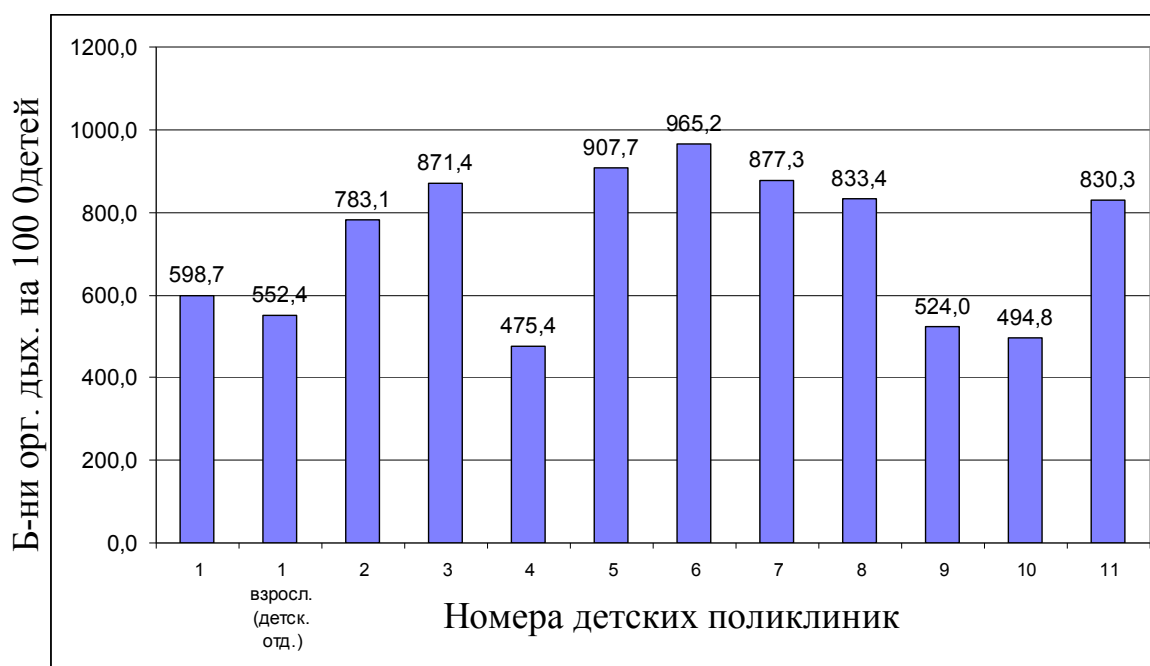


Рис. 2. Заболеваемость детского населения болезнями органов дыхания по отдельным внутригородским территориям г.Воронежа – зонам обслуживания детских поликлиник (число случаев заболеваний на 1000 детей)

Территориальные различия показателей заболеваемости детей косвенно свидетельствуют о разных уровнях воздействия факторов среды обитания.

Поскольку изначально исходные данные мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха были представлены по 75 точкам, условно распределенным по пяти функциональным зонам (жилая, промышленная, рекреационная, транспортная, фон), была проведена их перегруппировка с учетом границ обслуживания детских поликлиник г.Воронежа (12 территорий), показанная в таблице 2.

При такой перегруппировке в каждую из территорий обслуживания детских поликлиник вошли мониторинговые точки, характеризующие ситуацию в различных функциональных зонах. Вместе с тем, только такое перераспределение дало возможность проведения анализа взаимосвязи уровня загрязнения атмосферного воздуха и заболеваемости населения, поскольку внутригородская детализация статистических данных о заболеваемости имеется только по зонам обслуживания поликлиник.

Таблица 2

Перечень точек (пунктов мониторинга) по территориям обслуживания детских поликлиник

№ п/п	Детская поликлиника	Кол-во точек	Номера точек *
1	1	7	24, 26, 27, 58, 59, 60, 61
2	2	5	32, 33, 34, 62, 63
3	3	9	35, 36, 37, 39, 40, 44, 45, 46, 69
4	4	2	43, 68
5	5	4	10, 12, 54, 55
6	6	4	1, 2, 5, 47
7	7	5	3, 6, 7, 49, 50
8	8	6	28, 29, 31, 64, 65, 66
9	9	9	2, 4, 5, 8, 9, 48, 51, 52, 53
10	10	4	38, 41, 42, 67
11	11	4	21, 22, 23, 57
12	1 взрослая (детское отделение)	5	18, 19, 20, 25, 56
	итого	64	-

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

С учетом этого по 12-ти территориям были рассчитаны средние арифметические значения концентраций 16 приоритетных загрязнителей: оксида углерода, оксида серы IV (диоксида серы), оксида азота IV (диоксида азота), формальдегида, пыли (взвешенных веществ), свинца, сажи (углерода), фенола, оксида марганца IV, оксида железа III, оксида хрома VI, меди оксида, 1,3-бутадиена, озона, акролеина, стирола за 2009-2013 гг., что обеспечило территориальную синхронность массивов информационных данных о заболеваемости детского населения и уровне загрязнения атмосферного воздуха (табл. 3).

Одним из наиболее известных алгоритмов в оценке взаимосвязи заболеваемости и уровня загрязнения среды обитания является корреляционный анализ [3].

Таблица 3

Средние арифметические значения концентраций загрязняющих веществ по территориям обслуживания детских поликлиник г.Воронежа за 2009-2013 гг.. (мг/м³) *

Загрязняющие вещества	Территории обслуживания детских поликлиник					
	1	1 взросл. (детск. отд.)	2	3	4	5
Оксид углерода	1,0767	0,8135	1,3793	1,2089	1,0025	1,4113
Оксид серы IV	0,0360	0,0264	0,0346	0,0490	0,0320	0,0417
Оксид азота IV	0,0390	0,0150	0,0347	0,0473	0,0233	0,0496
Формальдегид	0,0040	0,0026	0,0059	0,0070	0,0044	0,0041
Пыль (взвешенные вещества)	0,0609	0,0631	0,1086	0,1507	0,1040	0,2864
Свинец	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Сажа (углерод)	0,0299	0,0341	0,0422	0,0373	0,0330	0,0330
Фенол	0,0015	0,0007	0,0022	0,0018	0,0009	0,0007
Оксид марганца IV	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0003	0,0003
Оксид железа III	0,0003	0,0002	0,0007	0,0008	0,0002	0,0002
Оксид хрома VI	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	-
Меди оксид	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	-	-
1-3 бутadiен	0,2500	0,1938	0,2500	0,2223	-	-
Озон	0,0091	0,0095	0,0065	0,0111	-	-
Акролеин	0,0025	0,0025	0,0040	0,0049	0,0017	-
Стирол (этиленбензол)	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	-	-
Загрязняющие вещества	Территории обслуживания детских поликлиник					
	6	7	8	9	10	11
Оксид углерода	2,0777	1,2047	1,2981	1,2973	1,1959	1,2803
Оксид серы IV	0,0517	0,0653	0,0635	0,0449	0,0305	0,0699
Оксид азота IV	0,0824	0,0361	0,0435	0,0508	0,0428	0,0525
Формальдегид	0,0082	0,0076	0,0068	0,0061	0,0061	0,0083
Пыль (взвешенные вещества)	0,2960	0,1690	0,1688	0,1681	0,1082	0,1457
Свинец	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Сажа (углерод)	0,0280	0,0462	0,0467	0,0364	0,0451	0,0246
Фенол	0,0033	0,0027	0,0038	0,0020	0,0023	0,0036
Оксид марганца IV	0,0003	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Оксид железа III	0,0002	0,0002	0,0017	0,0002	0,0002	0,0007
Оксид хрома VI	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	-	0,0002
Меди оксид	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	-	0,0005
1-3 бутadiен	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	-	0,2500
Озон	0,0131	0,0093	0,0256	0,0100	-	0,0065
Акролеин	0,0025	0,0050	0,0009	0,0025	-	0,0025
Стирол (этиленбензол)	0,0006	0,0005	0,0005	0,0006	-	0,0005

*)"- " – мониторинг уровня загрязнения на территории по данному компоненту не осуществлялся.

Для количественной оценки корреляции, т.е. связи между двумя анализируемыми показателями (в нашем случае - уровнем заболеваемости (y) и концентрациями загрязнителей в атмосферном воздухе (x)) использовался коэффициент парной корреляции (r), который варьирует в значениях $-1 < r < +1$ (это наиболее распространенный случай, когда корреляционная связь характеризуется различной степенью силы (тесноты) и может принимать следующие значения: 1) r близко к 0 - свидетельствует об отсутствии корреляционной связи между x и y ; 2) r близко к 1 - существует сильная положительная связь; 3) r близко к -1; между x и y существует сильная отрицательная связь.

Для вывода о наличии или отсутствии статистически достоверной корреляционной связи между исследуемыми переменными необходимо определение не только величины коэффициента корреляции, но и выполнение проверки его статистической значимости. Для этого нами использован критерий Стьюдента. Расчетный критерий Стьюдента ($t_{\text{расч.}}$) сравнивается с критическим значением $t_{\text{крит.}}$, найденным по таблице распределения Стьюдента, при выбранном уровне значимости $p=0,05$ (вероятности статистической ошибки менее 5%) и числе степеней свободы $v=12-2=10$. Если $t_{\text{расч.}} > t_{\text{крит.}}$, можно утверждать, что связь между переменными статистически значимая и достоверная. При этом, по значению коэффициента парной корреляции судили о тесноте взаимосвязи между изучаемыми показателями.

При окончательной формулировке выводов о взаимосвязях между факторами среды и заболеваемостью населения учитывались следующие положения: 1) подтверждение взаимосвязи на основе расчета парных корреляций; 2) последующая аргументация биологической правдоподобности связи по данным научной, справочной литературы и данным Всемирной организации здравоохранения.

Из 16 мониторируемых загрязнителей для 10 выявлены статистически достоверные взаимосвязи с уровнями заболеваемости детей по отдельным классам болезней. Число статистически значимых связей составляет для оксида серы IV - 6, пыли - 3, формальдегида - 3, оксида азота IV - 2, оксида углерода - 2, оксида хрома - 2, акролеина - 2, оксида марганца IV, оксида железа III и стирола - по 1.

При этом наибольшее число статистически значимых связей из анализируемых классов болезней приходится на болезни органов дыхания (первое ранговое место), уровень заболеваемости детей по которым, по результатам корреляционного анализа, во многом обусловлен воздействием взвешенных веществ, оксида серы IV, оксида углерода, оксида азота IV, оксида хрома VI и формальдегида (коэффициенты парной корреляции r - от 0,58 до 0,71, при $t_{\text{расч.}}=2,26 \div 3,16 > t_{\text{крит.}}=2,23$) - табл. 4.

Таблица 4

Оценка взаимосвязи заболеваемости детского населения с уровнем загрязнения атмосферного воздуха

Наименования классов болезней	Фактор влияния	Коэффициент парной корреляции (r)	Ранг приоритетности (по числу и силе связей)
Болезни органов дыхания	Пыль (взвешенные вещества)	0,71	1
	Оксид серы IV	0,67	
	Оксид углерода	0,65	
	Оксид азота IV	0,59	
	Оксид хрома VI	0,59	
	Формальдегид	0,58	
Врожденные аномалии	Оксид азота IV	0,78	2
	Оксид углерода	0,73	
	Стирол	0,72	
	Пыль (взвешенные вещества)	0,67	
	Оксид хрома VI	0,64	
Новообразования	Акролеин	0,79	3
	Оксид марганца IV	0,61	
Болезни мочеполовой системы	Формальдегид	0,64	4
	Оксид серы IV	0,61	
Болезни эндокринной системы	Оксид серы IV	0,63	5
Болезни системы кровообращения	Оксид серы IV	0,62	6
Инфекционные и паразитарные болезни	Оксид железа III	0,60	7
Болезни нервной системы и органов чувств	Оксид серы IV	0,48	8
Общая заболеваемость	Оксид серы IV	0,69	-
	Формальдегид	0,67	
	Пыль (взвешенные вещества)	0,67	
	Акролеин	0,54	

Второе ранговое место по числу статистически значимых связей занимают врожденные аномалии, уровень которых коррелирует с концентрациями в атмосферном воздухе оксида азота IV, оксида углерода, стирола, взвешенных веществ, оксида хрома (r - от 0,64 до 0,78, при $t_{расч.} = 2,62 \div 4,00 > t_{крит.} = 2,23$).

Третье ранговое место в болезнях "аэротехногенного риска" занимают новообразования, для которых выявлены статистически значимые

взаимосвязи с концентрациями акролеина и оксида марганца IV (r составляет 0,79 и 0,61 соответственно, при $t_{\text{расч.}}=4,10$ и $2,41 > t_{\text{крит.}}=2,23$).

По 1-2-м связям с уровнем загрязнения атмосферного воздуха отдельными компонентами имеют болезни мочеполовой системы, болезни эндокринной системы, болезни системы кровообращения, инфекционные и паразитарные болезни, болезни нервной системы и органов чувств.

Учитывая, что ряд коэффициентов парной корреляции оказался статистически значимым, было возможным построение регрессионных моделей зависимостей уровня заболеваемости детей от концентраций загрязнителей атмосферного воздуха и прогнозирование роста заболеваемости с увеличением содержания поллютантов в воздушной среде. На рисунках 3 и 4 представлены регрессионные зависимости уровня заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания от содержания взвешенных веществ и оксида серы IV в атмосферном воздухе (рис. 3, 4).

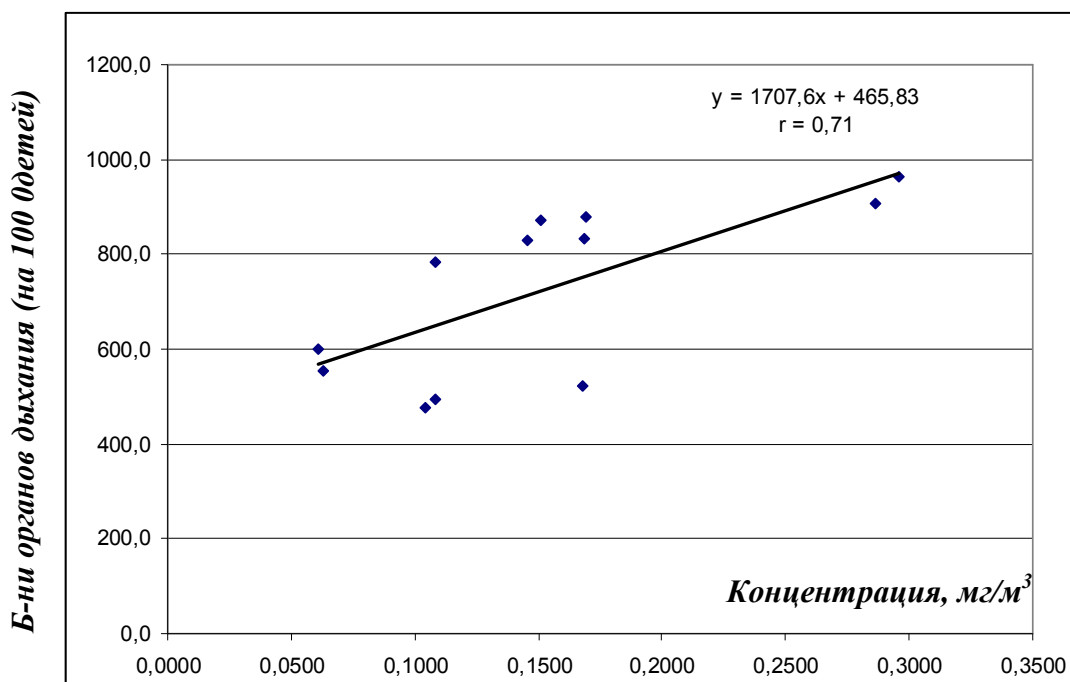


Рис. 3. Зависимость заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания от концентрации взвешенных веществ в атмосферном воздухе

По результатам корреляционного анализа не выявлены статистически значимые связи заболеваемости детей с концентрациями в атмосферном воздухе свинца, сажи, фенола, меди оксида, 1,3-бутадиена, озона. Следует отметить, что для этих загрязнителей (за исключением фенола) не было выявлено превышений максимально разовых и среднесуточных ПДК в воздухе населенных мест.

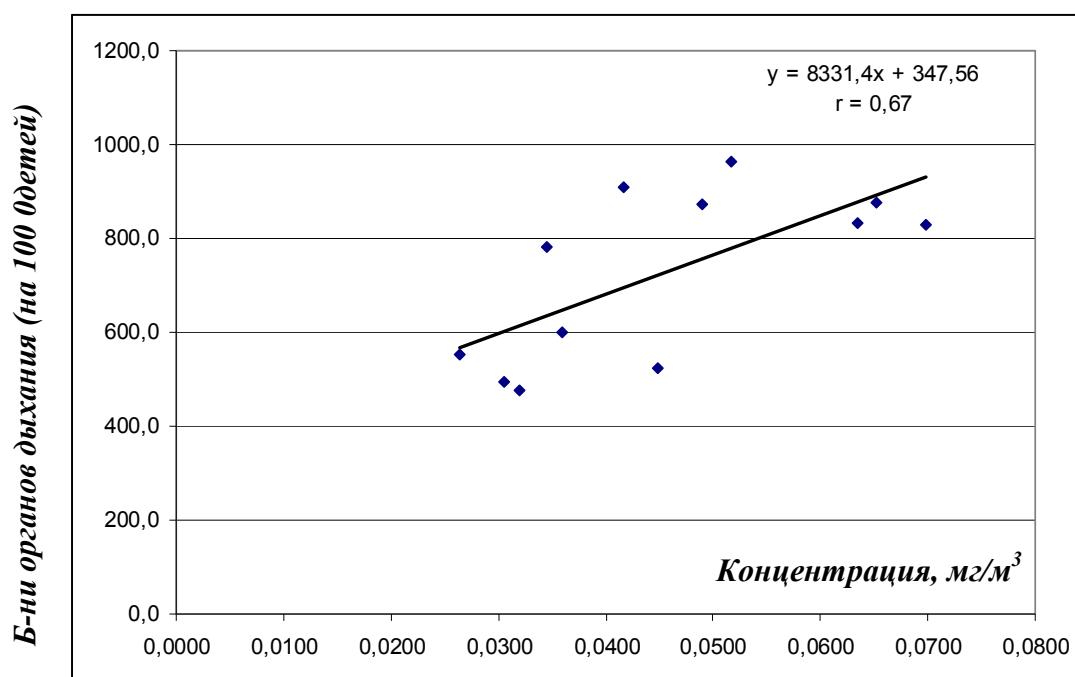


Рис. 4. Зависимость заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания от концентрации оксида серы IV в атмосферном воздухе

В целом, результаты корреляционного анализа подтверждают гипотезу об имеющемся негативном вкладе загрязнения атмосферного воздуха в формирование заболеваемости населения промышленного города. При этом наибольший ответный отклик имеют болезни органов дыхания, врожденные аномалии и новообразования. Вместе с тем, на основе методологии оценки риска для здоровья при оценке одностороннего воздействия веществ - загрязнителей атмосферного воздуха установлено, что неприемлемый уровень неканцерогенного риска ($HI > 1$) характерен для органов дыхания, кроветворной системы, центральной нервной и иммунной систем.

Различные методические подходы (корреляционный анализ и оценка риска, проведенная ранее /результаты см. в статье С.А. Куролапа и О.В. Клепикова "Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска для здоровья населения", приведенной выше/) дали несколько различные результаты, но полностью согласуются в том, что приоритетное место в ответном отклике на воздействие аэротехногенного фактора имеют органы дыхания как наиболее лабильная, чувствительная система организма к воздействию ксенобиотиков при их ингаляционном поступлении. О зависимости частоты проявления болезней органов дыхания от концентраций загрязняющих веществ в атмосфере г.Воронежа указывалось и в наших предшествующих исследованиях [2], что подтверждает вывод о том, что эта патология служит достоверным "маркером" загрязнения атмосферы в условиях крупного промышленного города.

К числу наиболее информативно значимых показателей загрязнения атмосферного воздуха с точки зрения влияния на уровень заболеваемости населения в условиях города Воронежа следует отнести концентрации оксида серы IV, пыли, формальдегида, оксида азота IV, оксида углерода, оксида хрома, акролеина. С точки зрения применения методологии оценки риска здоровью при хроническом воздействии были выявлены 4 вещества (оксид серы IV, оксид азота IV, формальдегид, взвешенные вещества), для которых коэффициенты опасности, характеризующие неканцерогенный риск, превышали приемлемый уровень ($HQ > 1$), что в целом согласуется с результатами корреляционного анализа. Кроме того при оценке канцерогенного риска отмечалось имеющее место локально-территориальное воздействие оксида хрома и акролеина. По результатам корреляционного анализа данные загрязнители вносят определенный вклад в формирование врожденных аномалий и новообразований.

Таким образом, применение двух разных методических подходов – методологии оценки риска и алгоритма корреляционного анализа – в целом подтверждает имеющее место негативное влияние загрязнения атмосферного воздуха на состояние здоровья населения промышленного города. Однако, неполное соответствие выводов этих двух этапов исследований, по-видимому, отражает вполне закономерную неопределенность многофакторного воздействия условий среды обитания на человека, различие контингентов исследуемого населения (оценка риска - без учета возрастных различий; алгоритм корреляционного анализа - только для детского населения), а также в целом позитивный факт того, высокий потенциальный риск концентраций ряда поллютантов пока реально не проявляется в повышении заболеваемости детского населения города (достаточный уровень компенсаторно-приспособительных механизмов).

Отмеченные выводы ориентируют на дальнейшие перспективные исследования для экспериментального подтверждения выявленных статистических закономерностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска / С.А. Куролап, С.А. Епринцев, О.В. Клепиков и др. – Воронеж: Изд-во «Истоки», 2010. – 207 с.
2. Доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в городском округе город Воронеж в 2013 году – Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2014 – 107 с.
3. Марченко Б.И. Здоровье на популяционном уровне: статистические методы исследования (руководство для врачей). – Таганрог: Изд-во «Сфинкс», 1997. – 432 с.

МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Т.И. Прожорина, Е.В. Беспалова

Атмосферный воздух в пределах городской экосистемы является одним из приоритетных объектов экологического контроля и мониторинга. Загрязнение атмосферы в крупных городах характеризуется большой пространственно-временной неоднородностью, поэтому ограниченное число стационарных постов не позволяет получить достоверную информацию о распределении загрязняющих веществ на всей территории. Однако, существование коррелятивных зависимостей между содержанием многих загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с их содержанием в снеге позволяет использовать этот компонент ландшафта для экспрессной геохимической индикации загрязнения городов.

Цель работы заключалась в мониторинге загрязнения снежного покрова в различных функциональных зонах г. Воронежа и выявлении зависимостей между наличием загрязняющих веществ и уровнем техногенного воздействия.

Для отбора снежных проб были выбраны 27 точек (пунктов наблюдений), из них 26 точек - в различных функциональных зонах г. Воронежа с разной степенью техногенного воздействия (7 проб - в жилой зоне, 6 - в промышленной зоне, 8 - в транспортной зоне, 5 - в зоне рекреации) и 1 фоновая проба - на территории д. Медовка Рамонского района в 20 км от города в северном направлении. Расположение точек на местности показано на рисунке 1.

Поскольку ГОСТ Российской Федерации по загрязнению снежного покрова не существует, а применение нормативных документов поверхностных вод к талой воде не всегда обосновано, то для более объективной характеристики загрязнения снежного покрова за основу принимается сопоставление концентраций поллютантов городских проб снега с соответствующими значениями их фонового аналога. Это достигается расчетом коэффициента концентрации химических элементов (K_c) по следующей формуле (1):

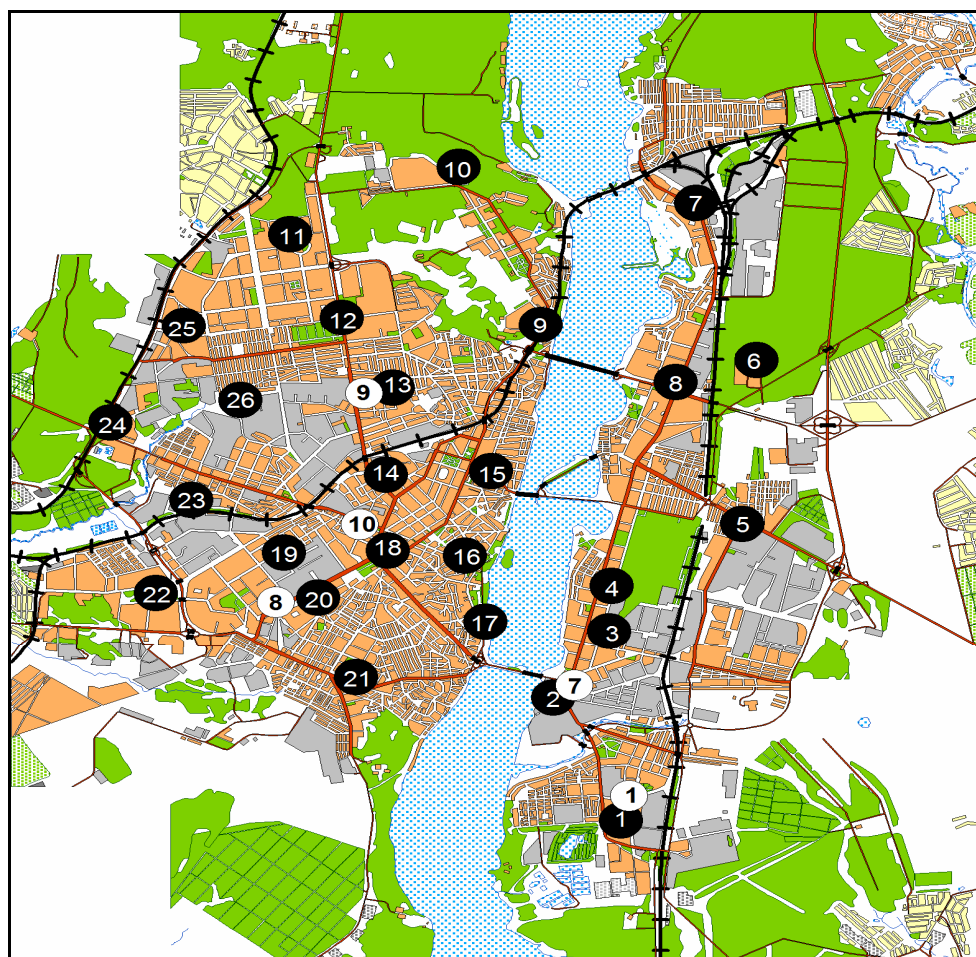
$$K_c = C_i / C_{\phi} \quad (1)$$

где C_i - содержание элемента в исследуемом объекте, C_{ϕ} - среднее фоновое содержание элемента [3].

В качестве фонового участка берутся территории, испытывающие минимальное воздействие на природную среду. В нашем случае целесообразным является выделение такой территории за пределами городской черты – за д. Медовка Рамонского района. Деревня расположена в 20 км от города в северном направлении. В западной части деревни протекает река Дон. Выбор фонового участка согласовывали с направлением преоб-

ладающих ветров, так как известно, что все атмосферные рассеяния коррелируют с розой ветров и имеют эллипсоидальный вид.

Отбор проб проводился пластиковой трубкой площадью сечения $78,5 \text{ см}^2$ и длиной 30 см. В месте отбора пробы трубу врезали на всю толщину снежного покрова до поверхности земли. После чего трубку из снега вынимали, поддерживая снизу пластмассовой лопаткой. Нижнюю часть трубки тщательно очищали от частиц грунта.



● Точки отбора проб снега

Стационарные посты наблюдения Воронежского ЦГМС:

1 - ул. Ростовская, 44
7 - ул. Лебедева, 2
8 - ул. Ворошилова, 30
9 - ул. Лидии Рябцевой, 516
10 - ул. 9 Января, 49

Рис. 1. Расположение точек отбора проб снега и стационарных постов наблюдения Воронежского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС)

Отобранные усредненные пробы высыпали в полиэтиленовые пакеты и далее пересыпали в чистую посуду для таяния [1]. Пробы снега растапливали при комнатной температуре и отфильтровывали. По осадку,

полученному на фильтре, определяли количество взвешенных частиц в отобранной пробе, а в фильтрате – основные компоненты химического состава талых вод. Для этого применялись следующие методы анализа: колориметрический (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-); титриметрический (Ca^{2+} , Cl^- , общая жесткость, SO_4^{2-} , HCO_3^-); расчетный (Mg^{2+}); потенциометрический (рН); весовой (взвешенные вещества); кондуктометрический (минерализация) [5].

Исследования химического состава проб снега проводились в учебно-научной эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского госуниверситета в зимний период 2013 и 2014 гг. Авторами работы были отобраны и проанализировано 54 пробы снега в различных функциональных зонах г. Воронежа (по 27 проб в каждом году).

Результаты проведенных исследований позволили выявить следующие пространственно-временные особенности распределения загрязняющих веществ в снежном покрове г. Воронежа.

Кислотность талого снега варьирует от 5,64 до 8,21 (в 2013 г.) и от 5,16 до 6,83 единиц рН (в 2014 г.). Уровень рН снежных проб в 2014 г. снизился по сравнению с 2013 г. Этот процесс подкисления можно объяснить увеличением содержания в снеге сульфат- и нитрат-ионов. Это, в свою очередь, свидетельствует о росте выбросов оксидов серы и азота в окружающую среду по сравнению с предыдущим годом, что подтверждается данными Воронежского ЦГМС.

В пространственном выражении наиболее высокие значения рН снега (щелочные осадки) характерны для проб, отобранных в транспортной зоне (в среднем в 2013 г. – 7,5-8,2, в 2014 г. – 6,6-6,8 единиц рН). Это, прежде всего точки 8, 15, 24 и 25. Подщелачивание снежного покрова данной зоны обусловлено повышенным содержанием в снеге твердых частиц, сажи, которые являются компонентами автомобильных выхлопов.

Более низкие значения рН характерны для проб, отобранных в зоне рекреации. В данной зоне рН снежного покрова (особенно в 2014 г.) близка к рН чистой дождевой воды, т.е. к 5,6 единицам. Также низкие значения рН талой воды отмечаются в районе ТЭЦ-1 (точка 2, рН = 5,57 - 5,64). Кислые осадки в данной зоне объясняются активными выбросами оксидов серы и азота, которые, соединяясь с атмосферной влагой, превращаются в соответствующие кислоты. Это также подтверждается повышенным содержанием в снеге данной зоны сульфатов (83-96 мг/л), нитратов (4,27-14,92 мг/л) и нитритов (0,10-0,19 мг/л). Значения кислотности проб снега в 2013 и 2014 годах графически представлены на рисунке 2.

Содержание взвешенных веществ в пробах снега варьирует от 17,1 до 147,0 мг/л (в 2013 г.) и от 48,9 до 263,5 мг/л (в 2014 г.). В пробах 2014 г. отмечается резкое увеличение содержания взвешенных веществ по срав-

нению с предыдущим годом. Твёрдые частицы загрязняют снег преимущественно за счёт технического фактора через осаждение пыли, золы, сажи (агломераты углеродных частиц), дыма. Наибольшее количество взвешенных веществ наблюдается в пробах снега, отобранных вблизи дорог с высокой интенсивностью движения (точки 8, 24, 18, 25).

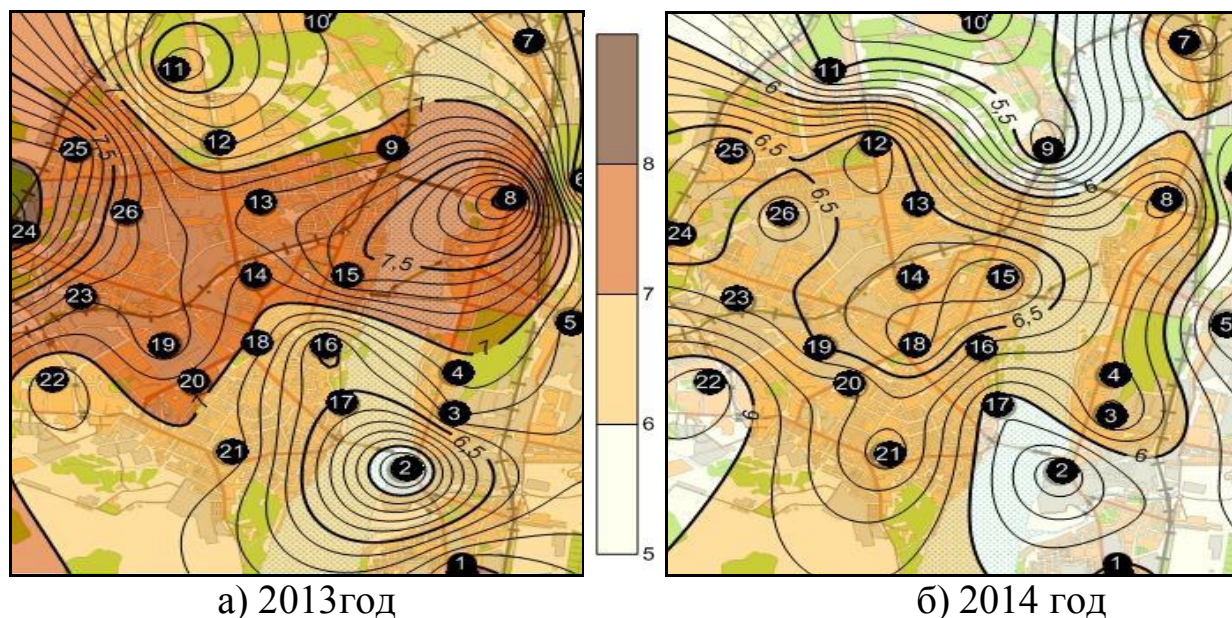


Рис. 2. Пространственное распределение уровня кислотности снежного покрова

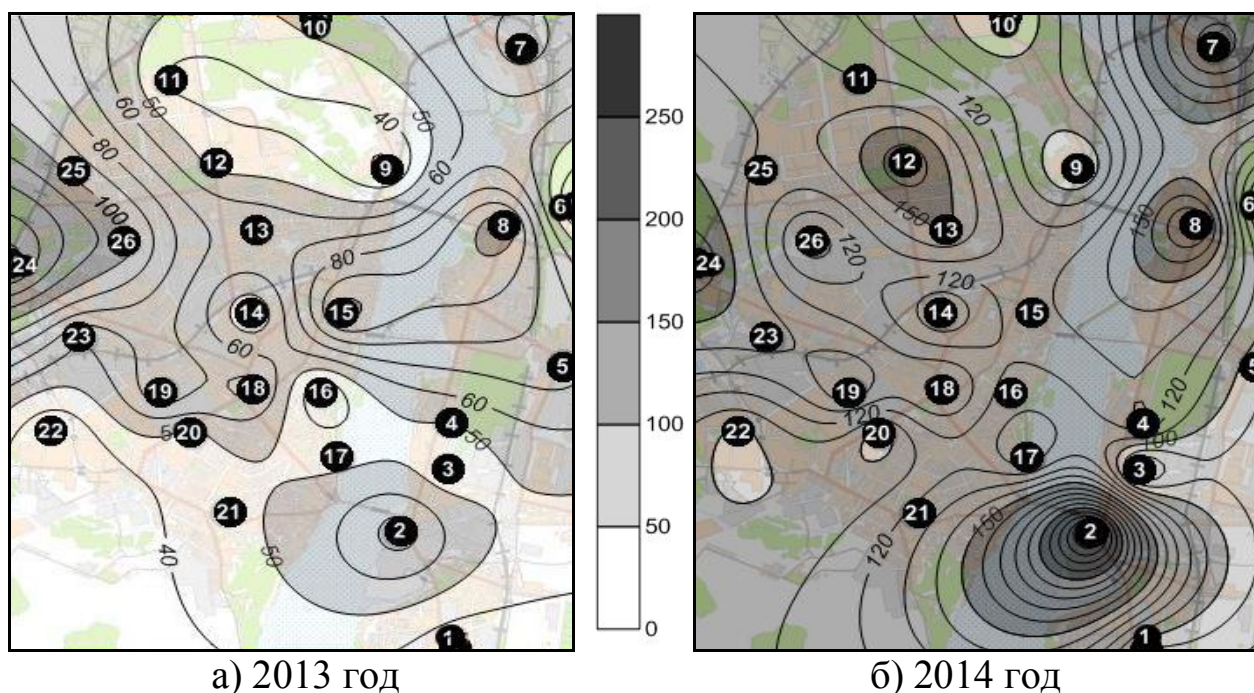


Рис. 3. Пространственное распределение взвешенных веществ в снежном покрове (мг/л)

Также повышенные концентрации взвешенных веществ отмечаются в снеге промышленной зоны. Это свидетельствует о том, что запыленность воздуха в данных районах увеличена в 2-9 раз по сравнению с фоном, а также о том, что источниками твёрдых веществ в г. Воронеже являются, прежде всего, автомобильный транспорт и тепловые станции. Напротив, низкие значения взвешенных веществ отмечаются в пробах снега, отобранных в рекреационной и жилой зонах, где воздействие антропогенного фактора снижается. Пространственное распределение взвешенных веществ в снежном покрове иллюстрирует рисунок 3.

Поступление больших количеств пыли в окружающую среду приводит к техногенной трансформации химического состава снега – подщелачиванию и увеличению содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- - ионов за счет растворения техногенных карбонатов, содержащихся в пыли [3].

Содержание гидрокарбонат-ионов в 2014 г. выше аналогичных показателей 2013 г. В целом, величина HCO_3^- в снежных пробах изменяется от 9,35 до 29,92 мг/л (в 2013 г.) и от 11,55 до 34,65 мг/л (в 2014 г.). Максимальные значения HCO_3^- - ионов отмечаются в точках транспортной зоны и, частично, - промышленной зоны. Минимальные значения гидрокарбонатов отмечаются в пробах снега, отобранных в зоне рекреации (точка 6) и жилой зоне (точки 1, 16, 20).

Об антропогенном загрязнении атмосферы также свидетельствует увеличение концентрации ионов кальция и магния в атмосферных осадках [2]. Максимальные значения общей жесткости талой воды, характеризующей количество катионов кальция и магния, зафиксированы в точках транспортной, промышленной и жилой зон (более 0,18 мг-экв/л). Наименьшие значения общей жесткости отмечаются в точках рекреационной зоны. Средние значения общей жесткости за 2014 г. ненамного снизились по сравнению с 2013 г.

Сульфат-ион является преобладающим ингредиентом по значению концентрации в снежном покрове города, что вполне соответствует зональным параметрам. Как известно, для степной и лесостепной зон Русской равнины концентрации элементов изменяются в следующем порядке: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , реже SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- . Нашему случаю соответствует последний ряд. Содержание сульфат-ионов в исследуемых пробах снега варьирует от 36 до 118 мг/л (2013 г.) и от 45 до 114 мг/л (2014 г.).

Концентрации серноокислых соединений в талой воде 2014 г. увеличились в сравнении с 2013 г. При этом максимальные значения концентрации сульфат-ионов также отмечаются в районе ТЭЦ-1 ($K_c=2,1-2,3$), заводов по ул. Б. Хмельницкого ($K_c=1,9-3,1$), ул. Холмистой ($K_c=1,9-2,1$) и Ясному проезду ($K_c=2,5-3,1$), вдоль крупных автодорог по улицам Матро-

сова ($K_c=2,2-3,3$) и Степана Разина ($K_c=2,2-3,2$). Это можно объяснить загрязненностью воздуха данных зон соединениями серы.

Помимо увеличения сернокислых соединений в пробах 2014 г. отмечается также увеличение содержания азотистых соединений, прежде всего, нитрат-ионов. Наличие азотсодержащих соединений в воде определяется деятельностью бактерий, но в зимний период в снежном покрове их присутствие невозможно, поэтому все содержание NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ -ионов в талой воде обусловлено только антропогенными воздействиями. К ним можно отнести, в первую очередь, выбросы от промышленных предприятий и автотранспорта (оксиды азота).

Наиболее высокие значения азотсодержащих соединений наблюдаются в промышленной зоне по ул. Лидии Рябцевой (точка 13) и ул. Пирогова (точка 19); в зоне окружной дороги (точка 24), Ленинского проспекта (точка 8), ул. Хользунова (точка 25), ул. Матросова (точка 21). Наиболее низкие значения на уровне фона – в районе больницы Электроника (точка 6), в жилой зоне по ул. Ростовской (точка 1), а также в парке Авиастроителей (точка 3).

Содержание хлоридов в снеге напрямую связано с интенсивностью применения антигололедных средств для дорожных покрытий в зимний период. В г. Воронеже для этих целей используется песчано-соляная смесь, содержащая катионы щелочных и щелочно-земельных металлов и анионы соляной кислоты. Максимальные концентрации Cl^- -ионов отмечаются в точках транспортной зоны (8, 15, 21, 24, 25) и превышают фоновые показатели более, чем в 4 раза.

В отличие от других элементов, содержание хлорид-ионов в снежном покрове в 2014 г., наоборот, снизилось во многих исследуемых точках. Это объясняется малоснежной зимой 2014 г., что привело к сокращению доз применяемых антигололедных реагентов.

Согласно литературным источникам, степень минерализации снеговых вод достоверно характеризует интенсивность техногенного воздействия на городскую среду [6]. Минерализация снежных проб в 2014 г. повысилась, что связано с увеличением содержания основных катионов и анионов. Это свидетельствует об увеличении «антропогенного давления» на среду. Величина минерализации талой воды изменяется от 51,4 до 171,2 мг/л (в 2013г.) и от 62,6 до 169,0 мг/л (в 2014 г.). Максимальные значения минерализации отмечаются в районах, испытывающих активную транспортную нагрузку (точки 15, 18, 21), а также в промышленных зонах (точки 2, 7, 13, 19, 23, 26). Минимальные значения – в зоне рекреации (точки 3, 22, 6), в жилой зоне по ул. Новосибирской и ул. Володарского (точки 1, 16). Следует отметить, что некоторые пробы снега, отобранные в жилой зоне и зоне рекреации, имеют высокие показатели минерализации. Эти точки отбора проб располагаются в центре города, недалеко от ул.

Плехановской (точка 14), в районе Березовой рощи и Агроуниверситета (точки 9 и 10), по ул. Ленинградской (точка 4) и ул. Вл. Невского (14). Пространственную структуру распределения величин минерализации снежного покрова иллюстрирует рисунок 4.

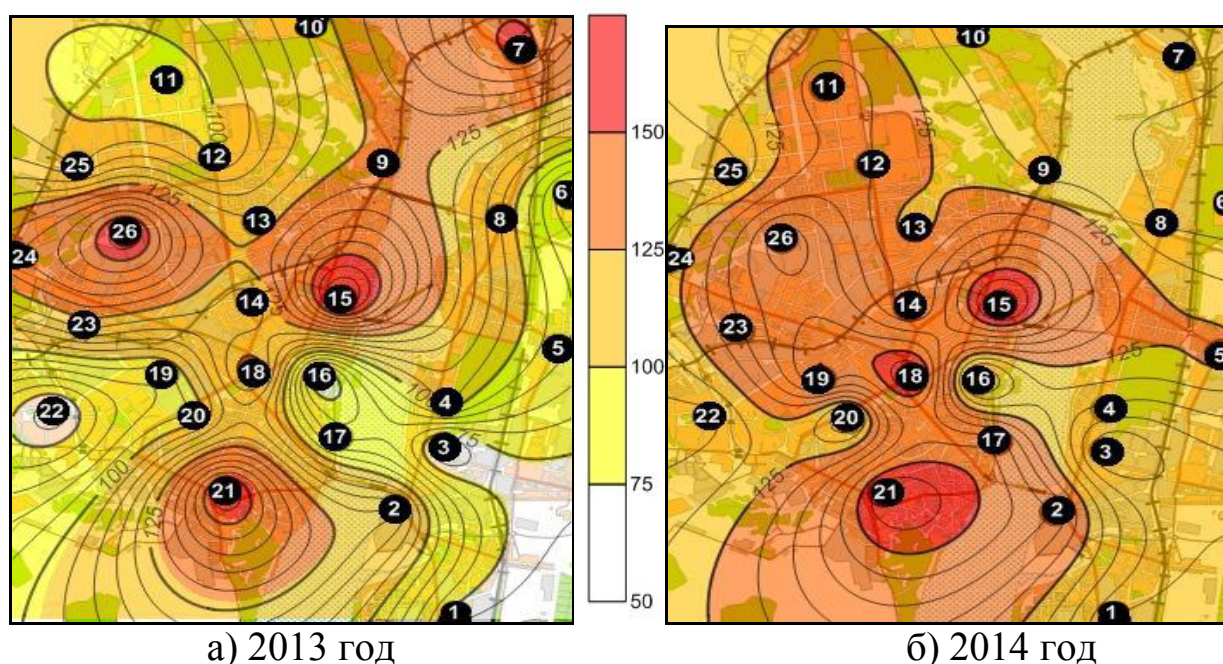


Рис. 4. Пространственное распределение величины минерализации снежного покрова (мг/л)

Таким образом, по обобщенным расчетным данным основным источником загрязнения приземных слоев атмосферы и снежного покрова в городе Воронеже выступает автотранспорт, а исследуемые городские зоны можно расположить в следующий ряд по убыванию степени загрязненности: *транспортная зона > промышленная зона > жилая и рекреационная зоны > фоновая территория*.

Двухлетний мониторинг загрязнения снежного покрова на территории города Воронежа показал, что наблюдается тенденция увеличения минерализации снежных проб, содержания в них основных анионов и катионов (SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), а также взвешенных веществ. Это свидетельствует о росте техногенной нагрузки на городскую среду. В то же время снизились рН талой воды, а также содержание Cl^- ионов, что отражено в таблице 1.

Для объективной оценки состояния атмосферы при изучении химического состава снежного покрова используются не абсолютные, а относительные характеристики. Поэтому путем сопоставления химического состава проб снега в исследуемых зонах с фоном (по коэффициентам концентрации K_c) были получены ряды коэффициентов аномальности среди анионов в снежном покрове (таблица 2).

Таблица 1

Сравнительная характеристика проб «лежалого» снега
за 2013 и 2014 гг.

Показатель	Среднее значение		Тенденция
	2013 г.	2014 г.	
pH	7,0	6,2	уменьшение
Взвешенные вещества, мг/л	61,2	124,6	увеличение
Минерализация, мг/л	107,8	124,5	увеличение
Общая жесткость, мг-экв/л	0,20	0,16	незначительное уменьшение
Ca^{2+} , мг/л	3,4	2,5	уменьшение
Mg^{2+} , мг/л	0,4	0,4	не изменилось
HCO_3^- , мг/л	15,0	19,5	увеличение
SO_4^{2-} , мг/л	69,8	79,7	увеличение
Cl^- , мг/л	13,5	11,0	уменьшение
NO_3^- , мг/л	5,1	10,6	увеличение
NO_2^- , мг/л	0,15	0,16	незначительное увеличение
NH_4^+ , мг/л	0,57	0,60	незначительное увеличение

Таблица 2

Ряды коэффициентов аномальности среди анионов в снежном покрове

Функциональная зона	2013 год	2014 год
Жилая	Cl^- (2,0-4,0) > NO_2^- (1,2-3,8) > SO_4^{2-} (1,1-2,7) > HCO_3^- (1,3-2,0) > NO_3^- (0,7-2,1)	NO_3^- (3,8-12,2) > NO_2^- (2,4-5,5) > Cl^- (1,3-4,8) > SO_4^{2-} (1,2-2,1) > HCO_3^- (1,1-2,1)
Промышленная	Cl^- (3,0-7,0) > NO_2^- (1,8-8,6) > HCO_3^- (2,5-3,3) > SO_4^{2-} (1,1-3,1) > NO_3^- (1,6-3,5)	NO_3^- (2,3-10,2) > NO_2^- (2,3-9,8) > Cl^- (2,3-5,5) > SO_4^{2-} (1,1-2,5) > HCO_3^- (1,4-2,9)
Транспортная	Cl^- (2,0-9,0) > NO_2^- (3,0-7,0) > HCO_3^- (1,5-4,0) > SO_4^{2-} (1,2-3,3) > NO_3^- (1,2-4,0)	NO_3^- (7,6-16,5) > NO_2^- (4,4-9,3) > Cl^- (2,8-6,3) > HCO_3^- (1,4-2,6) > SO_4^{2-} (1,2-2,2)
Рекреационная	Cl^- (2,0-5,0) > NO_2^- (1,0-2,2) > SO_4^{2-} (1,1-2,6) > HCO_3^- (1,3-1,7) > NO_3^- (0,5-1,5)	NO_3^- (1,3-2,8) > Cl^- (1,8-2,8) > NO_2^- (1,1-3,2) > SO_4^{2-} (1,5-2,5) > HCO_3^- (1,0-1,5)

Полученные ряды свидетельствуют о том, что в пробах снега всех городских зон г. Воронежа преобладающее место занимают: в 2013 г.: Cl^- > NO_2^- > SO_4^{2-} -ионы, в 2014 г.: NO_3^- > NO_2^- > Cl^- - ионы, что косвенно отражает состав техногенных выбросов в атмосферу. Перемещение Cl^- - ионов с 1 на 3 позицию связано, прежде всего, с меньшей продолжительностью периода снегопадов в 2014 г. и, соответственно, с меньшим количеством

применяемой пескосоляной смеси для обработки дорог. Увеличение превышений фоновых значений нитрат- и нитрит-ионов связано с ростом выбросов оксидов азота в воздух, что подтверждается данными Воронежского ЦГМС, согласно которым в атмосферном воздухе г. Воронежа в зимний период 2013-2014 гг. наблюдались превышения ПДК_{сс} по пыли в 1,7-3,9 раза; по NO₂ в 2,3-5,3 раза; по формальдегиду в 1,7-3 раза. Загрязнение воздуха диоксидом серы, фенолом, аммиаком, оксидом азота, сажей не наблюдалось.

Чтобы косвенно оценить степень загрязнения атмосферного воздуха, были рассчитаны суммарные показатели загрязнения снежного покрова (Z_c) в каждой исследуемой точке. Данный показатель является наиболее информативным при оценке загрязненности снега в урбоэкосистемах и определяется по формуле (2):

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1) \quad (2)$$

где K_c - коэффициент концентрации химического элемента; n - число определяемых элементов с $K_c > 1$.

Ориентировочная шкала для оценки очагов загрязнения снежного покрова и атмосферного воздуха по суммарному показателю загрязнения основана на методических рекомендациях ИМГРЭ (1990г.), модифицирована с учетом определяемых элементов, анализа аналогичных исследований и представлена в таблице 3 [4].

Расчет суммарного показателя загрязнения снежного покрова г. Воронежа выполнялся по девяти ингредиентам: гидрокарбонат-ионы, сульфат-ионы; ионы магния, ионы кальция, хлорид-ионы, нитрат-ионы, нитрит-ионы, аммоний, взвешенные вещества. На основе результатов расчета была построена карта-схема эколого-геохимического районирования территории г. Воронежа (рис. 5).

Согласно проведенным расчетам, общий уровень техногенного загрязнения снежного покрова и, соответственно, атмосферного воздуха в среднем по г. Воронежу сменился с низкого (2013 г.) на средний (2014 г.).

Таблица 3

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения снежного покрова по суммарному показателю загрязнения

Величина Z_c	Категория загрязнения снежного покрова	Уровень загрязнения атмосферного воздуха
менее 16	Допустимая	Низкий уровень загрязнения
16-32	Средняя (умеренно опасная)	Средний уровень загрязнения
32-128	Высокая (опасная)	Высокий уровень загрязнения
более 128	Очень высокая (чрезвычайно опасная)	Очень высокий уровень загрязнения

Во многих исследуемых точках уровень загрязнения увеличился с «низкого» на «средний» и со «среднего» на «высокий». Лишь в двух точках (точки 7 и 24) уровень загрязнения снизился, что может быть связано с расширением дороги (точка 24) и снижением выбросов от промышленных предприятий Железнодорожного района путем установки более эффективного газоочистного оборудования.

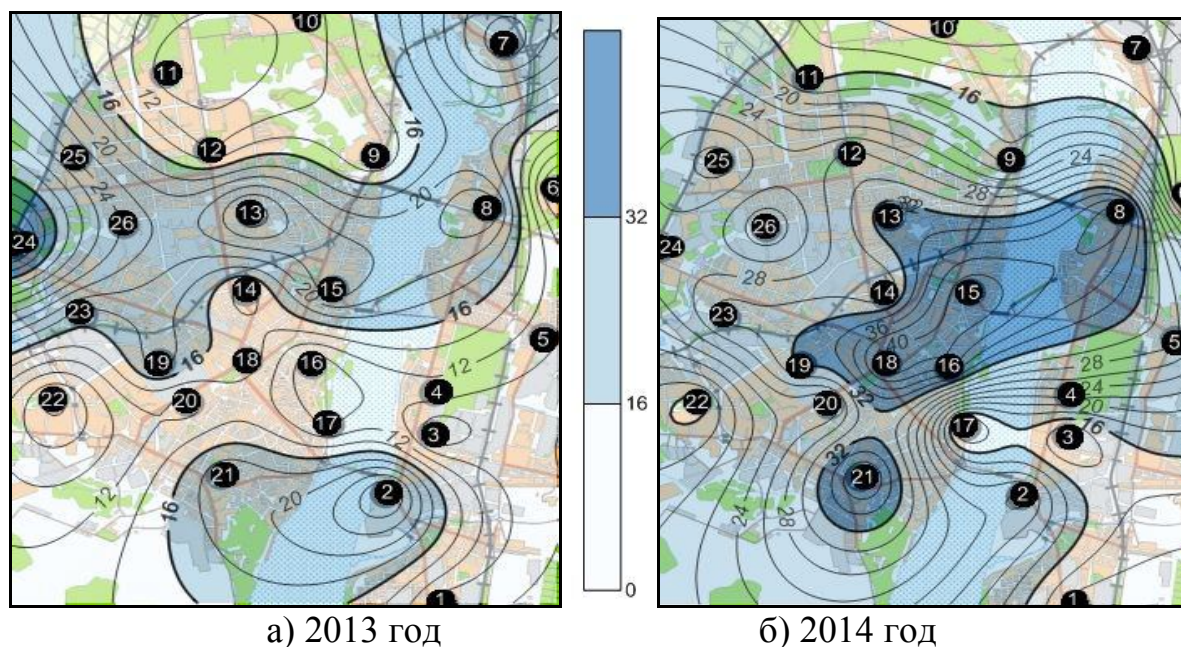


Рис. 5. Пространственное распределение значений показателя суммарного загрязнения снежного покрова

В 2013 г. все точки рекреации и жилой зоны располагались в зоне низкого загрязнения воздуха; все точки промышленной зоны – в зоне среднего загрязнения воздуха; точки транспортной зоны – в зоне низкого (точки №5, 12, 18), среднего (№ 8, 15, 21, 25) и высокого (точка 24) загрязнения воздуха.

В 2014г все точки рекреации располагались в зоне низкого загрязнения воздуха; точки жилой зоны – в зоне низкого (точки 1, 11), среднего (точки 4, 9, 14, 20) и высокого (точки 16) загрязнения воздуха; точки промышленной зоны – в зоне низкого (7) и среднего (2, 13, 19, 23, 26) загрязнения воздуха; точки транспортной зоны – среднего (точки 5, 12, 24, 25) и высокого (8, 15, 18, 21) загрязнения воздуха.

Таким образом, количество точек в зоне низкого загрязнения воздуха уменьшилось в 2 раза. Возросло загрязнение во многих точках жилой зоны (с «низкого» до «среднего» уровня) и транспортной зоны (со «среднего» до «высокого» уровня). Все точки рекреационной зоны характеризуются «низким» загрязнением воздуха в 2013 и 2014 годах.

Наиболее опасные очаги загрязнения располагаются вблизи крупных автодорог (точки 21, 25, 15, 18, 8), а также промышленных предприятий (точки 2, 13, 19, 26). Жилые зоны южной и северной окраин города меньше загрязнены, чем остальные части города. Очагами пониженного загрязнения остаются парковые зоны.

Мониторинг загрязнения снежного покрова на территории города Воронежа в период с 2013 по 2014 годы позволил сделать следующие выводы.

1. Степень минерализации снеговых вод характеризует интенсивность техногенного воздействия на городскую среду, а их химический состав указывает на источники поступления поллютантов.

2. Полученные ряды коэффициентов аномальности свидетельствуют о том, что в пробах снега всех городских зон г. Воронежа наибольшие превышения над фоном имеют в 2013 году: $\text{Cl}^- > \text{NO}_2^- > \text{SO}_4^{2-}$ - ионы, в 2014 году: $\text{NO}_3^- > \text{NO}_2^- > \text{Cl}^-$ - ионы, что косвенно отражает состав техногенных выбросов в атмосферу.

3. Основным источником загрязнения приземных слоев атмосферы и снежного покрова в городе Воронеже выступает автотранспорт, а исследуемые городские зоны можно расположить в следующий ряд по убыванию степени загрязненности: *транспортная зона > промышленная зона > жилая и рекреационная зоны > фоновая территория.*

4. Согласно временной динамике, наблюдается тенденция увеличения минерализации снежных проб, содержания в них основных анионов и катионов (SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), а также взвешенных веществ. Это свидетельствует о росте техногенной нагрузки на городскую среду.

5. Уровень нагрузки на воздушную среду в зимний период в среднем по городу оценивается как низкий (в 2013 году) и средний (в 2014 году) и ежегодно повышающийся. Загрязнение атмосферного воздуха возросло во многих точках жилой зоны (с низкого до среднего уровня) и транспортной зоны (со среднего до высокого уровня). Все точки рекреации и в 2013, и в 2014 годах располагаются в зоне с низким загрязнением воздуха.

Таким образом, проведенные исследования показали, что изучение химического состава снежного покрова можно использовать как вполне эффективный и достоверный метод экспрессной индикации загрязнения атмосферного воздуха городской среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилова И. П. Практикум по геохимии ландшафта / И.П. Гаврилова, Н.С. Касимов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 447 с.

2. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
3. Касимов Н. С. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 336 с.
4. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почвах. - М.: ИМГРЭ, 1990. - 14 с.
5. Прожорина Т.И. Эколого-аналитические методы исследования окружающей среды: учеб. пособие / Т.И. Прожорина, Н.В. Каверина, А.Н.Никольская и др. – Воронеж: Изд-во "Истоки", 2010. – 304 с.
6. Прожорина Т.И. Снежный покров как индикатор загрязнения атмосферы / Т.И. Прожорина, Н.А. Шилкина // Экологические проблемы промышленных городов: Сб.трудов 4 всерос. науч. конф. – Саратов, 2009. – Ч.1. – С. 188-191.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ГОРОДА

Л.О. Иванова, В.В. Синегубова

Почва урбанизированных регионов - один из важнейших аккумуляторов загрязняющих веществ и индикаторов очагов техногенного загрязнения городской среды. Систематический почвенный мониторинг города позволяет дать комплексную оценку загрязнению почвенного покрова и предложить необходимые рекомендации по улучшению его качества.

Характерными загрязнителями почв крупных промышленно-развитых городов являются нефтепродукты и тяжёлые металлы - объект наших исследований. В отличие от атмосферы, загрязняющие почву вещества сохраняются в ней многие годы, представляя угрозу для населения, городской биоты, а также являясь индикаторами промышленно-транспортного загрязнения городской среды в целом за длительный период [1].

Целью нашей работы являлось оценка техногенного загрязнения почвы путем определения в поверхностном слое городских почв кислотности, гумуса, содержания валовых и подвижных форм 9 тяжелых металлов - свинца (Pb), кадмия (Cd), меди (Cu), цинка (Zn), мышьяка (As), ртути (Hg), кобальта (Co), никеля (Ni), марганца (Mn), а также нефтепродуктов.

Для оценки техногенного загрязнения почвенного покрова нами были проведены специальные исследования на территории города Воронежа. Согласно ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-84 было отобрано 75 образцов почвы в пунктах мониторинга атмосферы Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области /подробнее - см. статью С.А. Куролапа и О.В. Клепикова "Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска для здоровья населения", приведенную выше/: 20 точек в жилой зоне, 18 - в промышленной, 17 - в транспортной, 14 - в рекреационной, 6 - фоновые пробы (рис.1).

Для оценки степени загрязнения различных компонентов экосистем тяжелыми металлами необходимо было определить фоновое значение содержания исследуемых загрязняющих веществ. В качестве фоновых точек были выбраны участки на территории пгт. Рамонь, СТ «Северный бор» и санатория им. Горького с естественным ненарушенным почвенным горизонтом.

Оценка экологического состояния почвенного покрова города проводилась с использованием следующих методов: для определения тяжелых металлов - вольтамперометрический метод исследования (на анализаторе ТА-4); нефтепродуктов - метод хлороформ-гексановой экстракции; содержания гумуса - метод И.В.Тюрина и актуальной кислотности - специализированные эколого-аналитические методы. Все анализы выпол-

нялись на базе учебно-научной эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета.



Рис. 1. Точки отбора образцов почвы на территории города

Требования к качеству почвы определены в основном нормативном документе почвенного мониторинга «Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». Данные нормативы распространяются на почвы населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений (табл.1).

Интегральная оценка качества почвы проведена нами с использованием суммарного показателя загрязнения (СПЗ), рассчитанного по формуле (1):

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

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

В расчет суммарного показателя загрязнения почвы включены 4 приоритетных тяжелых металла, являющихся постоянным объектом почвенно-геохимического мониторинга в г.Воронеже: свинец, медь, цинк, никель.

Таблица 1

Нормативы качества почвы по приоритетным тяжелым металлам

Тяжелые металлы (определяемая форма)*	ПДК, мг/кг	Класс опасности
Никель (подвижная форма)	4	2
Мышьяк (валовая форма)	2	1
Медь (подвижная форма)	3	2
Цинк (подвижная форма)	23	1
Цинк (валовая форма)	100	1
Свинец (подвижная форма)	6	1
Свинец (валовая форма)	32	1
Марганец (валовая форма)	1500	3
Кобальт (подвижная форма)	5	2
Кадмий (подвижная форма)	0,5	1
Ртуть (валовая форма)	2,1	1

*) *Подвижная форма элемента извлекается из почвы ацетатно-аммонийным буферным раствором с $pH = 4,8$.*

По своему характеру почвы города различны, но в основном преобладают типичные черноземы. По механическому составу они также неоднородны – от песков и супесей до тяжелых суглинков. Кроме того, специфика выбросов предприятий, а также почвенный покров на левом и правом берегах водохранилища различен по генетическим, химическим, физико-химическим, механическим свойствам, а также условиям почвообразования [3].

Анализ содержания гумуса в образцах почвы показал, что большинство почвенных образцов можно отнести к малогумусным и среднеплодородным, а также малогумусным и малоплодородным. Почвы, относительно богатые гумусом (среднегумусные, среднеплодородные), залегают в зонах рекреации и в пределах зон жилой застройки. Механический состав почвы в основном суглинистый (особенно в правобережной части города). Исследования актуальной кислотности показали изменение реакции среды от слабокислой до слабощелочной (табл. 2).

Таблица 2

Кислотность и содержание гумуса по некоторым мониторинговым точкам

№	Точки наблюдения	Функциональная зона *	Значение	Категория
Гумус, %				
1	ул. Лебедева, 2	промышленная	1,05	малогумусная, малоплодородная
2	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	рекреационная	3,84	малогумусная, среднеплодородная
3	ул. Циолковского – ул. Туполева	жилая (ЧС)	5,39	среднегумусная, среднеплодородная
4	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	2,01	малогумусная, среднеплодородная
5	ул. Степана Разина – ул. Большая Манежная	транспортная	3,24	малогумусная, среднеплодородная
6	ул. Грибоедова, 5	жилая (СП)	4,57	среднегумусная, среднеплодородная
7	ул. Ломоносова, 114	рекреационная	5,81	среднегумусная, среднеплодородная
Реакция среды (pH)				
1	ул. Лебедева, 2	промышленная	8,10	слабощелочная
2	ул. Героев Стратосферы, 8	жилая (ЦИ)	7,10	нейтральная
3	ул. Циолковского – ул. Туполева	жилая (ЧС)	7,60	нейтральная
4	Парк «Алые паруса»	рекреационная	6,40	слабокислая
5	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	6,70	слабокислая
6	ул. Степана Разина – ул. Большая Манежная	транспортная	6,50	слабокислая
7	ул. Кривошеина, 11	промышленная	8,20	слабощелочная

*) ЦИ - центральная историческая часть города, СП - современная многоэтажная застройка, ЧС - частный сектор.

Высокие значение pH обуславливает хорошую буферность почвы, ее поглотительную способность. Так, на почвах с более высоким показателем актуальной кислотности загрязняющие вещества лучше адсорбируются на коллоидных частицах, переходят в хелатные и становятся недоступными для растений. Кроме того, соли тяжелых металлов хорошо поглощаются и органическим веществом почвы.

Стоит также отметить, что значительная часть загрязняющих ве-

ществ в почве выносятся при продолжительных дождях, но с наступлением сухой погоды или подсыхании при повышенном испарении загрязняющие вещества поднимаются по капиллярам к поверхности почвы и становятся доступны растениям, вызывая в них многообразные изменения.

В процессе длительного воздействия человека почвы города сильно уплотнены (особенно вдоль автомагистралей и вблизи предприятий) и засорены строительными бытовыми отходами [3]. Причем, в процессе работы предприятия и автотранспорт выбрасывают в атмосферу большое количество твердых и газообразных веществ, которые, оседая на почву, вызывают в ней многообразные изменения. Установлено, что тяжелые металлы поступают в почву в основном из воздуха, при этом наиболее распространены является загрязнение такими элементами, как Pb, As, Cu, Zn, Cd, Ni [6].

Наиболее распространенным загрязняющим элементом в почве, производным выбросов отработанных газов транспорта, является свинец. Стоит отметить, что сильное загрязнение свинцом атмосферы и почвы обеспечивают автомобили, использующие этилированный бензин. После принятия постановления администрации г. Воронежа № 357 «О поэтапном переходе на реализацию неэтилированного бензина в г. Воронеже» (от 15.09.1997г.) количество автотранспорта, использующего этилированный бензин, значительно сократилось, что привело к снижению содержания свинца в атмосфере и почве, однако, в силу более замедленного самоочищения почвы по сравнению с атмосферой, свинец в почве пока ещё сохраняется в достаточных концентрациях [1].

У свинца четко выражена тенденция к накоплению в почве, так как его ионы малоподвижны даже при низких значениях pH. Техногенное загрязнение почвы свинцом прослеживается до глубины 10-15 см, редко - до 20 см [5].

Как показали результаты нашей работы, высокие концентрации свинца отмечены на транспортных перекрестках и вдоль крупных автодорог города – перекресток Московского пр-та и ул. Хользунова, ул. Грамши, ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко, ул. Плехановская – ул. Кольцовская и др. В жилой зоне и зоне рекреации высоких концентраций свинца не было отмечено.

Довольно опасным загрязняющим веществом является кадмий. В отличие от свинца, кадмий попадает в почву в значительно меньших количествах. В почву кадмий заносится из воздуха вместе с продуктами сгорания топлива, с фосфорсодержащими удобрениями, а также из коммунальных, промышленных отходов. В кислых почвах со значением $pH \leq 6$ ионы кадмия весьма подвижны, и накопления элемента не происходит. Кроме

того, накопление кадмия в гумусе протекает в значительно меньшей степени, чем накопление свинца.

Высоких концентраций кадмия на территории г.Воронежа нами не зафиксировано. В промышленных и транспортных зонах содержание кадмия в 3-4 раза выше, чем в зонах рекреации и селитебной зоне, но превышения ПДК не отмечалось.

По другим тяжелым металлам (кобальт, марганец, мышьяк, никель, ртуть) опасных превышений ПДК также не отмечено.

Анализируя загрязнение почвы города Воронежа медью, нами обнаружены участки с превышением ПДК – в зоне влияния ГП «Воронежский механический завод», что свидетельствует о том, что данный промышленный объект может быть источником загрязнения городской среды медью. Также стоит отметить, что высокие концентрации меди, близкие к величине ПДК, наблюдаются в зонах повышенной транспортной нагрузки города (вблизи пересечений ул. Димитрова - ул. Волгоградская, Московский проспект - ул. Хользунова и др.)

Подвижность ионов меди еще выше, чем подвижность ионов кадмия, а это создает благоприятные условия для усвоения растениями. Но благодаря своей высокой подвижности медь легче вымывается из почвы, чем свинец. Также растворимость соединений меди в почве заметно увеличивается при значениях $pH \leq 5$ [7].

К сравнительно подвижным элементам в почве также относят цинк. В ряде участков города наблюдается значительное превышение ПДК содержания в почве цинка, в основном это транспортные участки города (ул. Брусилова – Ленинский проспект, Московский проспект) и промышленная зона (ул. Пирогова, 79, ул. Богдана Хмельницкого, 35, ул. Кривошеина, 11). Основными источниками поступления цинка в окружающую среду являются ГП «Воронежский механический завод» и ОАО «Рудгор-маш».

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

Проанализировав загрязнение почвенного покрова г. Воронежа нефтепродуктами, мы отметили, что наибольшие концентрации наблюдаются вблизи наиболее интенсивных по грузопотокам перекрестках города и зонах промышленного влияния. Так, высокие концентрации нефтепродуктов в почве были обнаружены в районе ул. Ильюшина, 12б, ул. Димитрова-ул. Волгоградская, Московский проспект - ул. Хользунова, ул. Землячки, 1 и др.

Наиболее низкие концентрации (менее 200 мг/кг) нефтепродуктов отмечены в зонах рекреации города: парке «Алые паруса», парке «Дельфин» (ул. Остужева), ул. Дарвина и др. Относительно чистые зоны, концентрация нефтепродуктов в которых составляет менее 400 мг/кг, располагаются в Северном жилом районе (Коминтерновский район), некоторых участках Центрального и Левобережного района, где отсутствует интенсивное движение автотранспорта.

С определенной долей погрешности можно считать, что загрязнение почвы нефтепродуктами прямо пропорционально транспортной загруженности автодорог, интенсивности и средней скорости движения автомобилей. Так, очаги опасного загрязнения формируются на примагистральных участках пересечений улиц Димитрова – Волгоградская, в районе ВАИ, центрального автовокзала на Московском пр-те [1].

Основные мониторинговые точки с максимальными и минимальными показателями почвенного загрязнения города отражены в таблице 3.

Для комплексной оценки загрязнения тяжёлыми металлами почв города Воронежа для каждой исследуемой точки контроля рассчитана величина суммарного показателя загрязнения (СПЗ) тяжёлыми металлами.

Наиболее неблагоприятная ситуация отмечается у одного из крупнейших перекрёстков «Московский проспект - проспект Труда», что, видимо, связано с тем, что данный участок находится под воздействием не только промышленной зоны Коминтерновского района, но и под воздействием интенсивного движения автотранспорта. Также очень высокое загрязнение почвенного покрова наблюдается в районе Чернавского моста (перекресток «ул. Степана Разина – ул. Большая Манежная»), это обусловлено большим количеством автотранспорта и особенностями аэрационного режима; в промышленной зоне и микрорайоне «Отрожка» Левобережного района, где промышленный прессинг также усиливается воздействием автотранспорта.

Благополучная ситуация и наименьшее загрязнение почвенного покрова наблюдается в Северном жилом районе, некоторых селитебно-рекреационных участках Центрального и Ленинского районов. В основном это территории с небольшим потоком автотранспорта и умеренным влиянием промышленной зоны, а также ландшафтно-рекреационные зоны.

Таким образом, высокое загрязнение почв тяжёлыми металлами и нефтепродуктами наблюдается в большинстве зон воздействия промышленных объектов и крупных автомагистралей. Наименьшее загрязнение почвы тяжёлыми металлами отмечается преимущественно в районах, удалённых от промышленных объектов и крупных автодорог.

Таблица 3

Мониторинговые точки с максимальным и минимальным загрязнением почвенного покрова (по отдельным загрязняющим веществам/**ЗВ**/)

№	Точки наблюдения	Функциональная зона *	Концентрация ЗВ (мг/кг)
Нефтепродукты			
1	ул. Ильюшина, 12б	промышленная	1920,00
2	ул. Димитрова - ул. Волгоградская	транспортная	1670,00
3	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	1230,00
4	ул. Циолковского – ул. Туполева	жилая (ЧС)	1960,00
5	ул. 9 Января – ул. Антонова-Овсеенко	транспортная	1750,00
6	Парк «Дельфин» (ул. Остужева)	рекреационная	170,00
7	Парк «Алые паруса»	рекреационная	167,00
8	ул. Дарвина, 1	рекреационная	120,0
9	ул. Калининградская, 61	жилая (ЧС)	173,00
10	ул. Грибоедова, 5	жилая (СП)	202,0
Свинец (валовая форма)			
1	ул. Богдана Хмельницкого, 35	промышленная	42,10
2	ул. Димитрова - ул. Волгоградская	транспортная	58,30
3	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	31,50
Свинец (подвижная форма)			
4	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	рекреационная	11,0
5	СОК «Олимпик»	рекреационная	11,2
6	Парк «Алые паруса»	рекреационная	1,3
Цинк (валовая форма)			
1	Ленинский проспект, 149	транспортная	97,10
2	Московский проспект - ул. Хользунова	транспортная	119,00
3	ул. Димитрова - ул. Волгоградская	транспортная	88,00
4	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	рекреационная	2,5
5	Парк «Танаис» (ул. Южно-Моравская)	рекреационная	2,8

№	Точки наблюдения	Функциональная зона *	Концентрация ЗВ (мг/кг)
6	Парк «Дельфин» (ул. Остужева)	рекреационная	3,1
Медь (подвижная форма)			
1	Московский проспект, 36	транспортная	2,3
2	ул. Пирогова, 79	промышленная	2,8
3	ул. Ворошилова, 30	жилая (ЦИ)	4,2
4	Парк Авиастроителей (ул. Полины Осипенко)	рекреационная	0,1
5	Парк «Алые паруса»	рекреационная	0,1
6	Парк «Танаис» (ул. Южно-Моравская)	рекреационная	0,2

*) см. примечание к табл.2.

Стоит также добавить, что техногенному загрязнению почвы в г. Воронеже приводит и отсутствие полигона для захоронения промышленных отходов предприятий города, в связи с чем отходы, не подлежащие захоронению, накапливаются на площадках промышленных предприятий, что представляет опасность для состояния окружающей среды и здоровья населения.

Так, в 2013 году по результатам анализа Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области 8,9% исследованных проб почвы содержали тяжелые металлы - свинец, цинк и медь (рис.2). Высокий показатель несоответствия гигиеническим нормативам проб почвы по санитарно-химическим показателям в значительной мере обусловлен ежегодно возрастающим дефицитом парковочных мест в микрорайонах жилой застройки города: парковка личного автотранспорта граждан осуществляется во дворах жилых домов, в том числе на газонах и детских площадках, что приводит к ликвидации зелёных насаждений и загрязнению почвы. Микробиологическому и паразитологическому загрязнению почвы способствуют неудовлетворительная организация санитарной очистки населенных мест, отсутствие площадок для выгула собак [4].

К основным нерешенным вопросам по улучшению состояния почвенного покрова на территории г. Воронежа относят: 1) отсутствие производств по сортировке, переработке и уничтожению мусора и отходов; 2) слабую материально-техническую базу объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивающих санитарную очистку населенных мест; 3) наличие несанкционированных свалок на территории города, приводящих к загрязнению почвы, грунтовых вод, атмосферного воздуха и способствующих размножению мышевидных грызунов; 4) увеличение

объемной нагрузки на единицу площади контейнерных площадок для сбора мусора из-за уплотнения многоэтажной застройкой в историческом центре города; 5) неорганизованность вывоза бытовых отходов с территорий частных домовладений города; 6) отсутствие необходимого количества парковок на территории города; 7) высокая промышленная нагрузка на ряд районов города; 8) малоэффективная дорожно-транспортная сеть города.

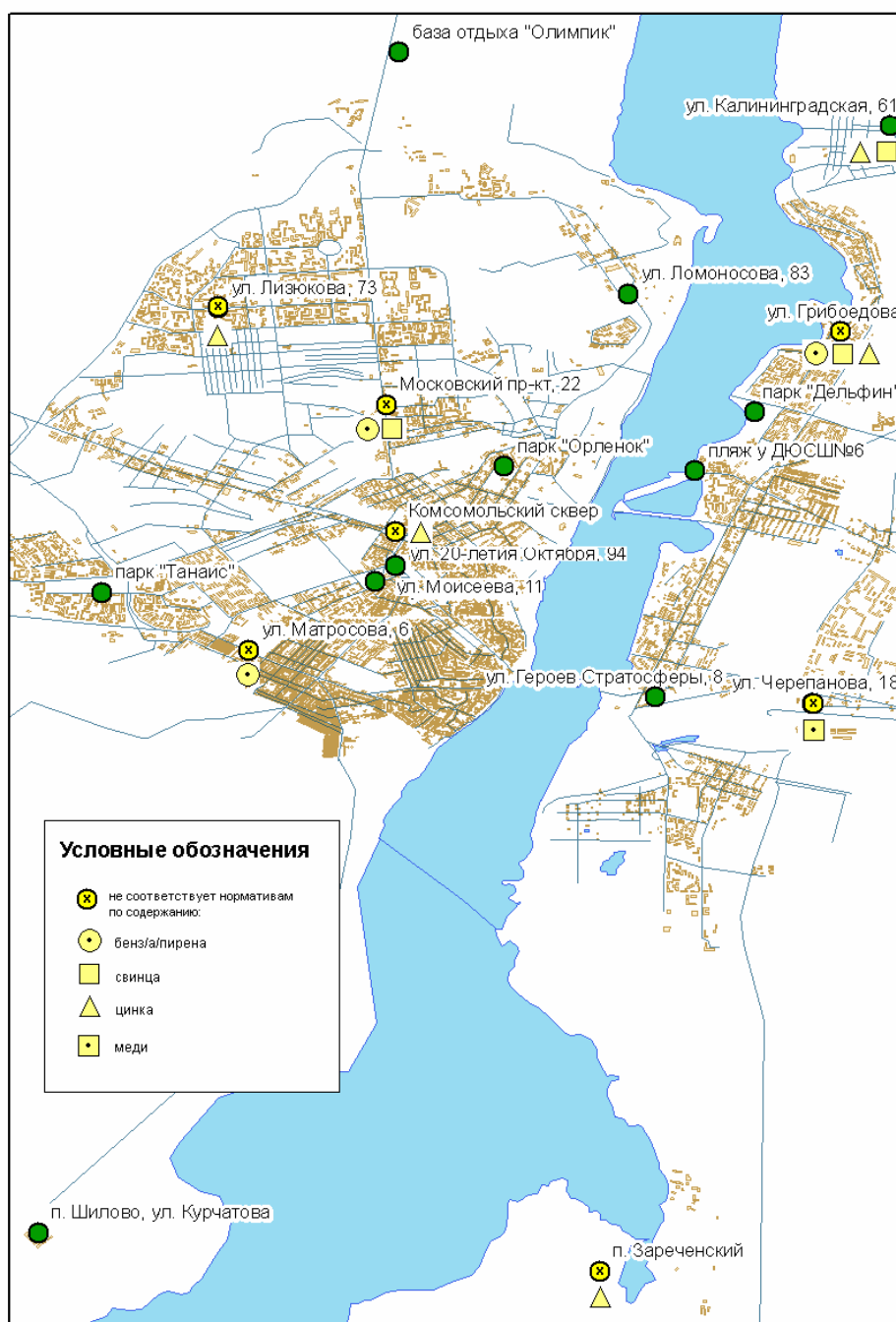


Рис. 2. Мониторинговые точки контроля с превышением нормативов содержания загрязняющих веществ в почве (по данным социально-гигиенического мониторинга за 2013 год)[4]

Кроме того существует необходимость в увеличении количества нормативов ПДК для почвенного покрова, т.к. в настоящее время для почв установлено всего около 40 ПДК, в то время как для воды – 1200, а для воздуха – 600. Следует иметь в виду, что подходы к определению ПДК меняются с годами и различны в разных странах. Разнообразие почвенно-геохимических условий делает недостижимыми и нереальными принцип учета всех почвенно-экологических условий для обоснования ПДК или требует объединения почв по свойствам, условиям почвообразования, сходным по устойчивости к тяжелым металлам [2]. А так как разнообразие почв велико, то и ПДК тяжелых металлов будет различно.

Следует отметить, что для предотвращения негативного влияния антропогенной деятельности на почвенный покров г. Воронежа, необходимо проводить систематический почвенный мониторинг территорий всех микрорайонов города, который включает в себя своевременное выявление изменений состояния земельного фонда, оценку этих изменений, прогноз и выработку рекомендаций о предупреждении и об устранении последствий техногенного загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска / С.А. Куропат, С.А. Епринцев, О.В. Клепиков и др. – Воронеж: Изд-во «Истоки», 2010. – 207 с.
2. Глазовская М.А. Принципы классификации почвы по их устойчивости к химическому загрязнению / М.А. Глазовская // Земельные ресурсы мира, их использование и охрана. – М., 1978. – С.85-89.
3. Джувеликян Х.А. Экология, город, человек / Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1996. – 103 с.
4. Доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в городском округе город Воронеж в 2013 году – Воронеж: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 2014 – 107 с.
5. Лабий Ю.М. Влияние растений на миграцию в почве свинца / Ю.М. Лабий // Биологические науки. – 1989. – №2. – С.86-88.
6. Саэт Ю.Е. Город как техногенный субрегион атмосферы / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Р.С. Смирнова // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. – М., 1985. – С.133-165.
7. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию / Г.Фелленберг. – М.: Мир, 1997. – 232 с.

БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

М.А. Клевцова

На городские растения оказывают негативное влияние не только модифицированные абиотические и биотические факторы, но и загрязнение атмосферного воздуха и почвенного покрова. Многие антропогенные факторы среды становятся опасными для живого, потому что они отличны по величине, интенсивности, продолжительности и моменту воздействия от той обычно существующей в природе нормы, к которой адаптированы биологические системы. В результате они часто влияют на диапазон толерантности, что нередко приводит к превышению допустимой нагрузки на организмы и к распаду биологической системы [1].

Таким образом, изучение ответных реакций древесных растений на условия городской среды обитания весьма важно не только для оценки их состояния и устойчивости, но и для создания и сохранения зеленых насаждений с высокой функциональной способностью.

Биотический компонент геосистем, находящийся под влиянием литосферы и атмосферы и обладающий большой чувствительностью к условиям среды обитания, можно рассматривать как их индикатор. В соответствии с организационными уровнями биологических систем устанавливаются следующие уровни биоиндикации:

- 1) биохимические и физиологические реакции;
- 2) анатомические, морфологические, биоритмические и поведенческие отклонения;
- 3) флористические, фаунистические и хорологические изменения;
- 4) ценотические изменения;
- 5) биогеоценотические изменения;
- 6) изменения ландшафтов.

Наиболее чувствительный аппарат к неблагоприятным воздействиям окружающей среды – растительный организм, который в десятки раз интенсивнее осуществляет газообмен по сравнению с человеком и животными [1].

В наших исследованиях в качестве индикаторов использовались городские древесные растения, произрастающие в условиях с различной степенью антропогенного воздействия.

В последнее время в связи с проблемой загрязнения окружающей среды продуктами техногенеза объектом пристального внимания экологического мониторинга стали тяжелые металлы (ТМ). Однако оценка их по-

ступления и накопления в компонентах экосистем в преобладающем большинстве случаев ведется на основе аналитических методов, а полученная количественная информация не раскрывает, каким образом тяжелые металлы попадают в растения и распределяются внутри их органов и тканей. Важным аспектом в разрешении этого вопроса являются гистохимические методы, в частности, дитизоновая методика, предложенная И.В. Серегиним и В.Б. Ивановым (1997).

Целью нашего исследования являлась оценка содержания тяжелых металлов в побегах древесных растений в различных категориях зеленых насаждений г. Воронежа.

Для реализации данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1) провести отбор образцов на выбранных участках в пределах городской черты и поставить серию опытов по диагностике тяжелых металлов.

2) проследить динамику накопления тяжелых металлов в побегах в течение вегетационного периода.

Способность растений накапливать тяжелые металлы реализуется на разных уровнях организации: клеточном, тканевом и органном, что связано, прежде всего, со способностью растений накапливать металлы в клеточных оболочках и вакуолях клеток разных тканей и органов, а также с существованием барьерных тканей, ограничивающих передвижение ряда тяжелых металлов. Многие виды растений способны накапливать тяжелые металлы, причем их содержание в органах растений может в десятки и даже сотни раз превышать их содержание в окружающей среде. По способности к аккумуляции тяжелых металлов выделяют две контрастные группы растений: исключатели, у которых тяжелые металлы накапливаются, главным образом, в корневой системе, и аккумуляторы, у которых они накапливаются в больших количествах в надземных органах [5].

Токсичность кадмия для растений проявляется в нарушении активности ферментов, торможении фотосинтеза, нарушении транспирации, а также ингибировании восстановления NO_2 до NO . Кроме того, в метаболизме растений он является антагонистом ряда элементов питания (Zn, Cu, Mn, Ni, Se, Ca, Mg, P). При токсичном воздействии металла у растений наблюдаются задержка роста, повреждение корневой системы и хлороз листьев (табл. 1). Кадмий достаточно легко поступает из почвы и атмосферы в растения. По фитотоксичности и способности накапливаться в растениях в ряду ТМ он занимает первое место ($\text{Cd} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb}$) [2].

Таблица 1

Влияние токсичных концентраций некоторых тяжелых металлов
на растения [2]

Элемент	Концентрация в почве, мг/кг	Реакция растений на повышенные концентрации ТМ
Pb	100-500	Ингибирование дыхания и подавление процесса фотосинтеза, иногда увеличение содержания кадмия и снижение поступления цинка, кальция, фосфора, серы, снижение урожайности, ухудшение качества растениеводческой продукции. Внешние симптомы – появление темно-зеленых листьев, скручивание старых листьев, чахлая листва
Cd	1-13	Нарушение активности ферментов, процессов транспирации и фиксации CO ₂ , торможение фотосинтеза, ингибирование биологического восстановления NO ₂ до NO, затруднение поступления и метаболизма в растениях ряда элементов питания. Внешние симптомы - задержка роста, повреждение корневой системы, хлороз листьев
Zn	140-250	Хлороз молодых листьев
Cr	200-500	Ухудшение роста и развития растений, увядание надземной части, повреждение корневой системы, хлороз молодых листьев, резкое снижение содержания в растениях большинства незаменимых макро- и микроэлементов (K, P, Fe, Mn, Cu, B и др.)
Ni (подвижная форма)	30-100	Подавление процессов фотосинтеза и транспирации, появление признаков хлороза

Химический состав растений, как известно, отражает элементный состав почв. Поэтому избыточное накопление ТМ растениями обусловлено, прежде всего, их высокими концентрациями в почвах. В своей жизнедеятельности растения контактируют только с доступными формами ТМ, количество которых, в свою очередь, тесно связано с буферностью почв. Однако способность почв связывать и инактивировать ТМ имеет свои пределы, и когда они уже не справляются с поступающим потоком металлов, важное значение приобретает наличие у самих растений физиолого-биохимических механизмов, препятствующих их поступлению.

Другой путь поступления ТМ в растения – некорневое поглощение из воздушных потоков. Оно имеет место при значительном выпадении металлов из атмосферы на листовую аппарат, чаще всего вблизи крупных промышленных предприятий. Поступление элементов в растения через листья (или фоллиарное поглощение) происходит, главным образом, путем неметаболического проникновения через кутикулу. ТМ, поглощенные ли-

ствиями, могут переноситься в другие органы и ткани и включаться в обмен веществ [3].

Основные этапы работы отражены на рисунке 1. Первый этап – предварительный. На данном этапе производилось изучение теоретического материала и экспериментальных результатов: ознакомление с научными источниками по данной проблематике, анализ ранее выполненных исследований, выделение конкретных принципов и имеющихся подходов к разработке темы исследования, подготовка обобщающего аннотационного обзора по проблеме.

Следующий этап – экспериментальный. Для изучения содержания тяжелых металлов в побегах древесных растений проводились полевые и лабораторные исследования в течение 2009-2011 гг.

Определение накопления тяжелых металлов в побегах проводились в мае-июне и сентябре ежегодно в указанный период.

Третий этап научного исследования – аналитический, который подразумевает обработку и анализ экспериментальных данных. Математическая обработка материала проводилась с помощью пакета анализа MS Excel. Для интерпретации данных также применялись графические программы MiniSee, SkopePhoto и Adobe Photoshop CS 9.0.

Заключительный этап – прогнозно-рекомендательный. Разработка рекомендаций о возможности использовать результаты данных исследований в практической деятельности.

Общая схема организации исследования показана на рисунке 2. Расположение точек отбора образцов побегов древесных растений представлено в таблице 2.

Для каждой отдельно взятой техногенно загрязненной территории характерны определенный набор ТМ и свои масштабы поступления каждого из них в почвенный покров, специфика дальнейшего поведения этих элементов в почвах, особенности проявления процессов антагонизма и синергизма ионов, определяющие уровень поступления ТМ в растения. Поэтому при изучении их накопления в растениях необходимо проводить исследования на конкретной территории и характерных для нее почвах. Накопление растениями избыточных количеств ТМ – интегральный показатель взаимодействия ряда факторов: содержания ТМ в почвах, их свойств и буферности, видовых и сортовых особенностей растений и др. Поэтому вариабельность этого показателя весьма высока и в разных регионах земного шара имеет свои особенности. Признанной закономерностью является накопление токсичных количеств металлов растениями при их высоком содержании в почвах. Известно, что в транслокации ТМ основную роль играет количество их доступных растениям подвижных форм. Поэтому избыточные концентрации ТМ могут накапливаться в рас-

тениях и при невысоком общем содержании металлов в почвах, но при их высокой подвижности [2, 7].

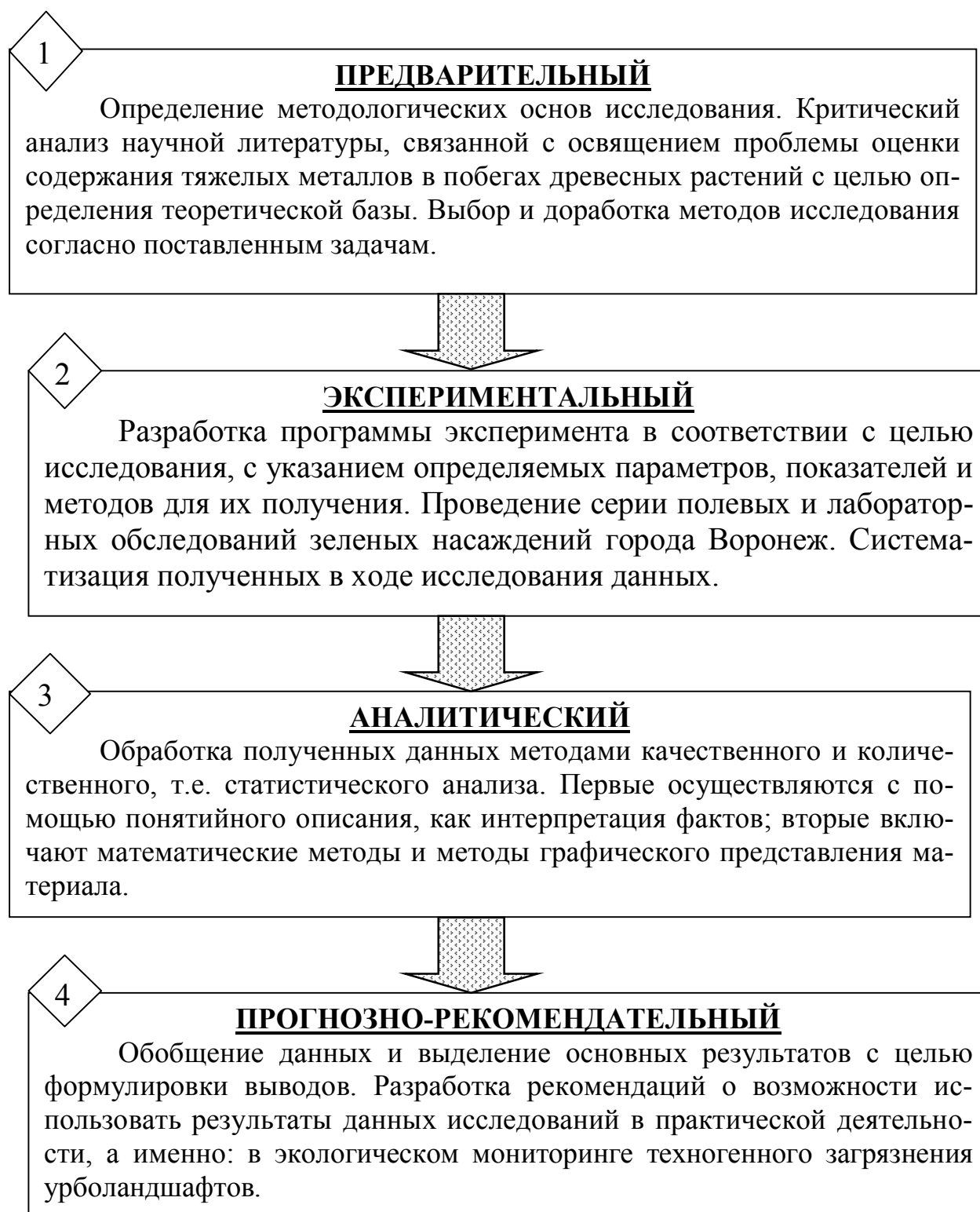


Рис. 1. Основные методические этапы исследования

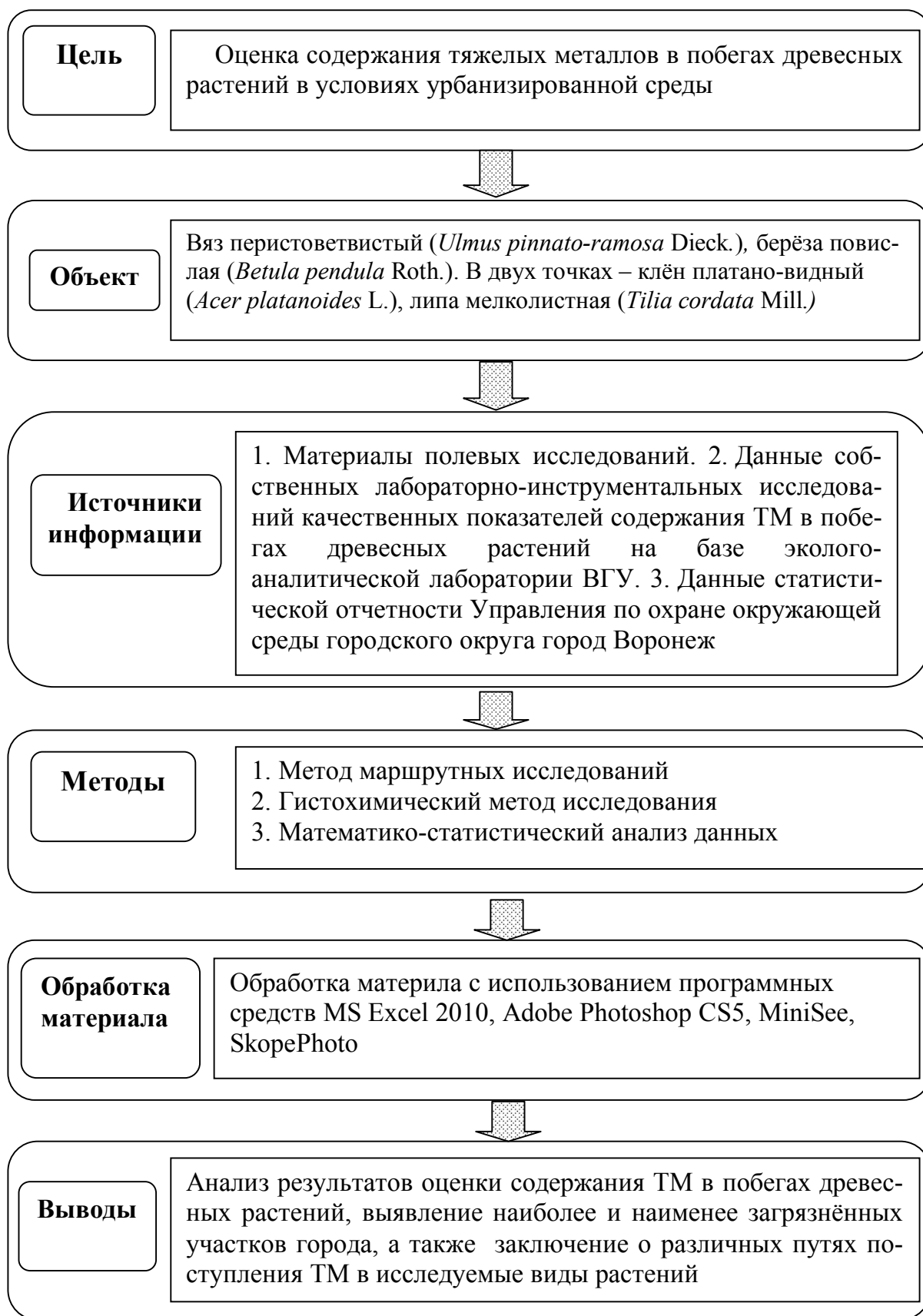


Рис. 2. Общая схема организации исследования

Местоположение точек отбора исследуемых образцов

№ точки	Место отбора
1	пересечение Ленинского пр-та и ул. Остужева; ост. Остужева
2	пересечение Ленинского пр-та и ул. Димитрова; ост. Димитрова
3	пересечение Ленинского пр-та и ул. Ильича; ост. Ильича
4	пересечение Ленинского пр-та и ул. Героев Стратосферы; ост. ДК Кирова
5	ТЭЦ 1; ост. ВОГРЭС
6	ОАО «Воронежсинтезкаучук»; ост. ВОГРЭС
7	ул. Лебедева; Ост. Лебедева
8	ООО «Амтел-Черноземье», сквер; ост. Шинный завод
9	пересечение ул. Степана Разина и ул. Сакко и Ванцетти; ост. Манежная
10	пересечение пр-та Революции и ул. Степана Разина; ост. Петровский сквер
11	Ж/д вокзал Воронеж 1; ост. Ж/д вокзал
12	пересечение Московского пр-та и пр-та Труда; ост. Пр-т Труда
13	ост. ул. Текстильщиков
14	ТЭЦ 2
15	ост. Электросигнальная
16	пересечение Московского пр-та и ул. Брянской; ост. Автовокзал
17	пересечение Московского пр-та и ул. Бульвар Победы; ост. 15-й квартал
18	парк «Динамо»; ост. Динамо
19	СОК «Олимпик» (контроль)

Таким образом, необходимость изучения содержания ТМ в древесных растениях г. Воронежа весьма актуальна, поскольку оценка состояния зеленых насаждений является неотъемлемой составляющей экологического мониторинга.

В качестве материала для исследований нами были выбраны одни из наиболее распространенных в городской среде видов древесных растений: берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) и вяз перистоветвистый (*Ulmus pinnato-ramosa* Dieck.). Также в двух точках отбора – клён остролистный (*Acer platanoides* L.) и липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.).

Отбор годичных побегов проводился в нижней части кроны (с высоты 2-3 м) и с принятой для всех деревьев стороны (в наших исследованиях – юго-восточной).

В учебно-научной эколого-аналитической лаборатории Воронежского государственного университета образцы изучались на предмет накопления и распределения металлов. Для этого безопасной бритвой готовили серию поперечных срезов побега, которые помещали на предметное стекло и обрабатывали качественным реагентом на наличие тяжелых металлов (дитизоном).

Обработанные реактивом срезы просматривали при помощи монокулярного микроскопа Биолан-ЛОМО с увеличением объектива $9\times 0,20$ с применением цифровой камеры-окуляра DCM130 (1.3 МПикс). Все срезы фотографировались и передавались на экран компьютера, а затем обрабатывались программой MiniSee и ScopePhoto. С помощью инструмента «Пипетка» в программе Adobe Photoshop CS2 9.0 b и «Гистограмма» в программе ScopePhoto нами произведена обработка снимков по шкале насыщенности.

Цифровая камера DCM 130 является новой оптической системой, которая осуществляет максимально возможную правильную цветопередачу, благодаря чему, мы можем получать изображение наблюдаемого объекта на экране компьютера. В комплект цифровой камеры входят программы MiniSee и ScopePhoto, что позволяет делать фотографии и видео-записи, а также их последующую обработку (рис. 3).

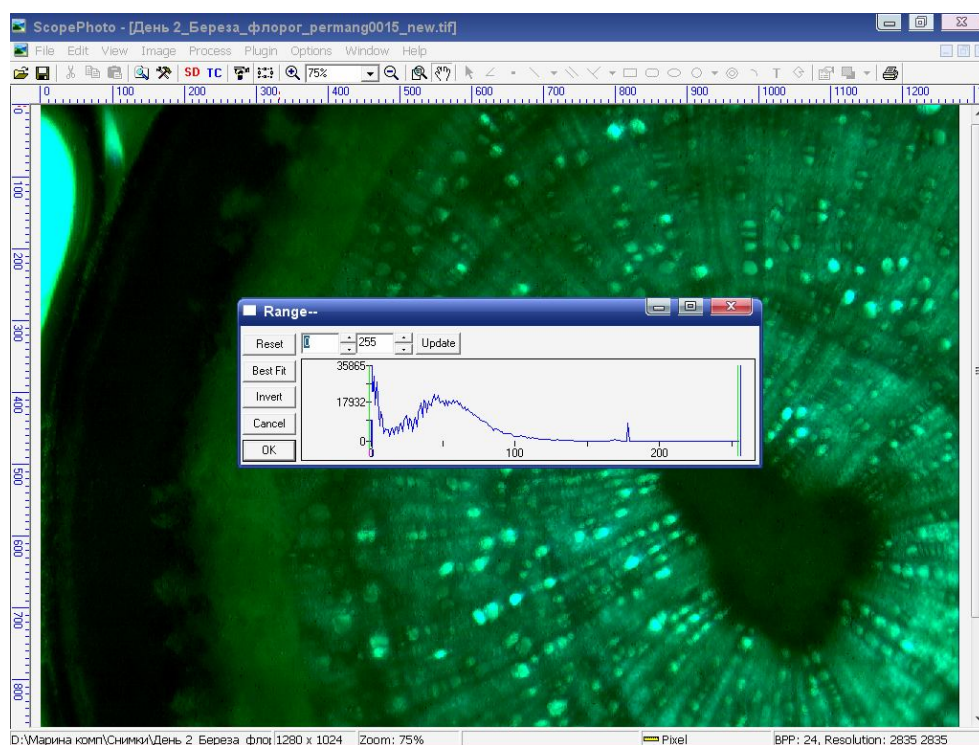


Рис. 3. Обработка снимков в программе ScopePhoto.

Локализацию металлов определяли по характерному окрашиванию и оценивали по пятибалльной шкале (табл. 3). При отсутствии изменений присваивался балл – 0.

Следует отметить, что степень насыщенности окраски срезов, ее особенности, а, следовательно, и суммарное количественное содержание металлов в органах и тканях есть визуальное проявление действия многих факторов, не только внешних, влияние которых на растительный организм весьма специфично в каждой конкретной точке отбора материала, но и

внутренних, таких как эколого-биологические особенности вида и его анатомическое строение на определенном онтогенетическом этапе [3].

Таблица 3

Балльная система оценки содержания ТМ в побегах в зависимости от интенсивности окраски

Балл	RGB (цветовая модель: соотношение красного/зеленого/синего)	Относительное содержание ТМ / балл /
1	244/164/148	Очень низкое /1
2	239/124/108	Низкое /2
3	234/80/68	Среднее /3
4	229/40/28	Высокое /4
5	224/0/0	Очень высокое /5

Анализ литературных источников показал, что гистохимические реакции используются для определения тяжелых металлов в древесных, а также культурных растениях. Впервые на возможность применения дитизона для изучения распределения свинца и кадмия указали Серегин И.В. и Иванов В.Б. (1997). Они исследовали локализацию ионов металлов в различных тканях корней и побегов проростков кукурузы, корни которых были погружены на разное время в растворы нитратов кадмия и свинца. Из четырех использованных реагентов (металлоиндикатор 4-(2-пиридилазо)-резорцин (ПАР), дитизон, 2-(2-пиридилазо-) нафтол, дифенилкарбазид) наиболее четкое окрашивание было получено с дитизоном [6].

Прохорова Н.В. с коллегами (1997, 1998, 2005, 2006) использовала дитизоновый метод для оценки накопления тяжелых металлов в сельскохозяйственных и древесных растениях в условиях полевого эксперимента. В данных исследованиях указывается на то, что предложенный И.В. Серегиным и В.Б. Ивановым (1997) гистохимический метод с применением дифенилтиокарбазона, построенный на качественных цветных реакциях агента с ионами многих тяжелых металлов, показывает себя весьма удачно не только в модельном эксперименте, где контролируемым металлам искусственно отводится роль ведущего фактора, а действие остальных факторов предельно сбалансировано, но, что особенно важно, в натурных исследованиях – в условиях агрофитоценоза. Данный метод характеризуется экспрессностью, информативностью, не требует особых материальных и физических затрат, дает возможность в сочетании с количественными аналитическими данными о содержании тяжелых металлов в почве

и растениях оценить диапазон накопления и характер распределения внутри органов, тканей и клеток либо отдельно взятого металла (в лабораторном эксперименте), либо их совокупности (в природной среде), а значит, в конечном итоге, он может быть рекомендован для использования в экологическом мониторинге состояния окружающей среды с целью оценки полиметаллического загрязнения сельскохозяйственной продукции [4].

Нами проведен анализ содержания тяжелых металлов в побегах древесных растений в течение всего вегетационного периода для того, чтобы проследить динамику накопления ТМ; кроме того составлена балльная шкала-палитра для определения концентрации ТМ в зависимости от интенсивности окраски срезов, т.е. проведен полуколичественный анализ с использованием графических возможностей указанных программ.

Поперечный срез побега нами был условно разделен на три зоны: сердцевина, древесина и кора, в каждой из которых проводилась диагностика тяжелых металлов. Отдельные результаты исследований представлены в таблице 4.

Было выявлено, что наиболее чувствительным из рассматриваемых видов древесных растений к накоплению тяжелых металлов является береза повислая. Во всех точках отбора отмечается содержание тяжелых металлов выше среднего, локализация – в сердцевине и древесине.

В целом неспецифическая гистохимическая реакция с дитизином позволяет выявить локализацию комплекса тяжёлых металлов в растительных тканях и отдельных клетках (Cd, Pb, Zn, Co, Fe, Ni, Cu и др). Она даёт возможность количественно оценить уровень накопления тяжелых металлов по интенсивности и цветности окраски (изменение цвета от слабого красно-коричневого до интенсивного), возможна качественная оценка на уровне «больше-меньше» или полуколичественная – с применением балльной шкалы.

Данный метод позволяет выявить степень загрязнённости атмосферы и почвы тяжелыми металлами по интенсивности окраски и распределению металлов в конкретных тканях годичных побегов древесных растений (кутикула, перидерма, в определённой степени – флоэма – связь с атмосферным загрязнителем, флоэма, ксилема, сердцевидные лучи ксилемы, паренхима сердцевины – связь с загрязнением почвы и атмосферы). В качестве примеров на рисунках 4 и 5 представлено распределение ТМ в побегах.

Анализ образцов показал, что в наибольшей степени тяжелые металлы накапливаются в древесине – в 43 % случаев, меньше всего – в коре – в 21 % случаев – у березы повислой. У вяза перистоветвистого в наибольшей степени ТМ накапливаются в коре – в 50 % случаев, в наименьшей степени – в сердцевине – в 16 % случаев.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в побегах древесных растений (2010 г.):
условные обозначения: кора – К, сердцевина – С, древесина – Д

№ точки отбора	Вид растения	Локализация ТМ в срезах побегов		Балл	
		июнь	сентябрь	июнь	сентябрь
1	Вяз перистоветвистый	К	К	3	4
	Береза повислая	С,Д,К	С,Д,К	4	4
2	Вяз перистоветвистый	К,Д	К,Д	2	4
	Береза повислая	Д	С,Д,К	2	4
3	Вяз перистоветвистый	К	К	1	4
	Береза повислая	С,Д	С,Д	2	1
4	Вяз перистоветвистый	К	К	3	2
	Береза повислая	С,Д,К	С,Д	4	1
5	Вяз перистоветвистый	К	С,Д	3	3
	Береза повислая	С,Д	С,Д	3	3
6	Вяз перистоветвистый	К	К	3	2
	Береза повислая	С,Д	С	4	1
7	Вяз перистоветвистый	К,Д	С,Д,К	3	3
	Береза повислая	С,Д	С,Д	4	4
8	Вяз перистоветвистый	К,Д	С,Д,К	3	5
	Береза повислая	С	С,Д,К	4	3
9	Вяз перистоветвистый	С,Д,К	К	4	2
	Береза повислая	С	К,Д	4	3
		Д		2	
		К		2	
10	Вяз перистоветвистый	К,Д	К	4	4
	Береза повислая	С,Д,К	С,Д	4	3
11	Вяз перистоветвистый	Д	К	3	2
	Береза повислая	С,Д	С,Д,К	3	4
12	Вяз перистоветвистый	С,Д	К,Д	4	4
	Береза повислая	С,Д,К	С,Д,К	5	5
13	Вяз перистоветвистый	К,С	К,С	2	4
14	Вяз перистоветвистый	К	С	3	2
	Береза повислая	С,Д	С,Д	4	4
15	Вяз перистоветвистый	К	Д	2	2
	Береза повислая	С	С,Д	4	4
16	Вяз перистоветвистый	К,С	К	3	2
	Береза повислая	С,Д,К	С,Д,К	5	4
17	Вяз перистоветвистый	К,Д	К	2	2
	Береза повислая	С,Д	С,Д	3	4
18	Вяз перистоветвистый	-	К,С	0	2
	Береза повислая	Д	С,Д,К	3	3
19	Береза повислая	С	С,Д	2	2
		Д		1	

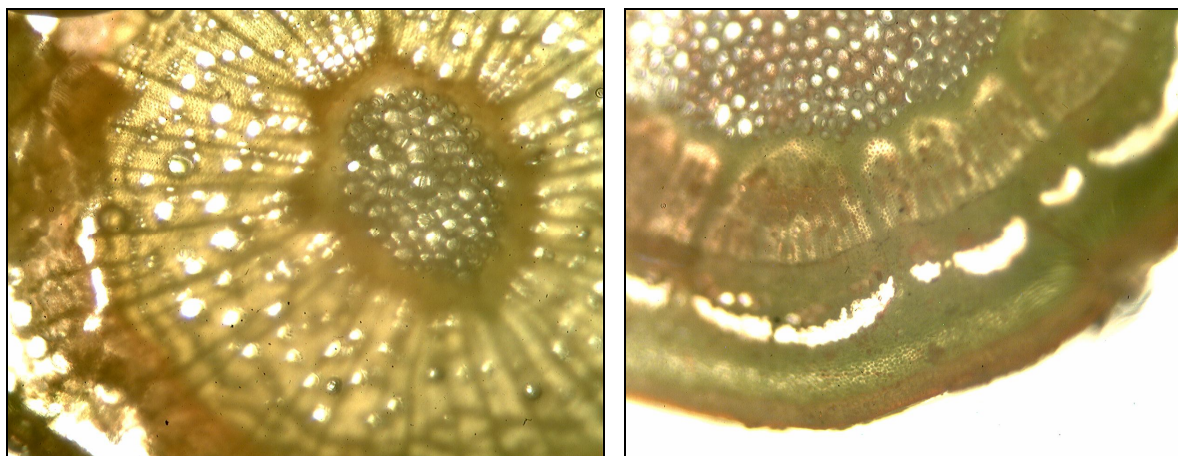


Рис. 4. Вяз перистоветвистый: слева - пересечение ул. Димитрова и Ленинского пр-та; справа - ул. Лебедева (13.09.2009 г.).

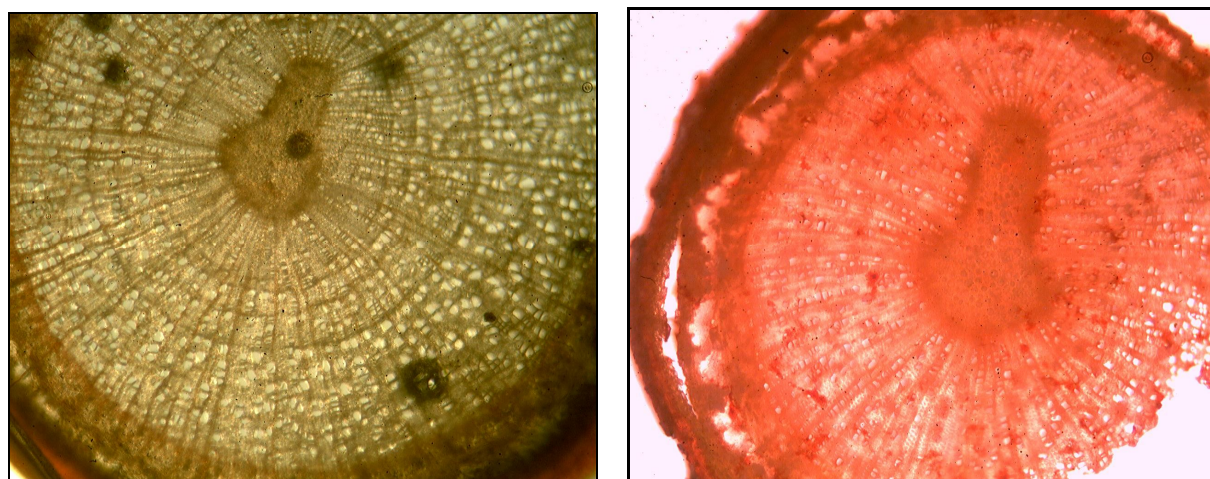


Рис. 5. Берёза повислая: слева - СОК «Олимпик» (13.09.2009 г.); справа - ул. Ростовская (13.06.2010 г.).

Опираясь на эти данные, можно сделать вывод о разных путях преимущественного поступления ТМ в растения указанных видов. У вяза перистоветвистого преобладает азральный путь поступления ТМ, а у березы повислой – через корневую систему. В течение вегетационного периода в 39 % случаев наблюдается повышение концентрации ТМ, что свидетельствует об их накоплении. В ходе исследования нами были выявлены точки с наивысшим содержанием тяжелых металлов в побегах древесных растений – пересечение пр-та Труда и Московского пр-та, район ООО «Амтел-Черноземье», ост. Лебедева, район Автовокзала, ост. Манежная; а также точки с наименьшим содержанием тяжелых металлов: парк «Динамо», ост. ДК Кирова. На территории СОК «Олимпик» в побегах растений ТМ не обнаружены. Поскольку все исследуемые растения произрастают вдоль

крупных магистральных улиц г. Воронежа, то разницу в содержании тяжелых металлов в различных точках города нельзя объяснить только интенсивностью транспортного потока. Отсюда следует, что повышенное содержание тяжелых металлов обуславливают также выбросы промышленных предприятий, в зоне влияния которых обнаружено наивысшее содержание тяжелых металлов в годичных побегах древесных растений.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

Во-первых, нами апробирована методика оценки содержания тяжелых металлов в побегах древесных растений, произрастающих в условиях городской среды. Было установлено, что в течение вегетационного периода происходит накопление тяжелых металлов, что говорит о связи между химическим составом растений и элементным составом среды. Известно, что существует два ведущих фактора формирования элементного состава растений – генетический и экологический. Их долевое участие меняется в зависимости от изменения условий среды. Экологический фактор становится ведущим при техногенном загрязнении среды обитания ТМ, особенно их подвижными формами. Таким образом, нами подтверждено, что накопление и распределение тяжелых металлов в тканях годичных побегов древесных растений коррелирует с уровнем техногенного загрязнения среды.

Во-вторых, проведенные нами исследования достаточно наглядно показывают фитоиндикационные возможности и перспективность гистохимического дитизонового метода выявления тяжелых металлов для целей экологического мониторинга урбанизированных экосистем. Данный метод отличается быстрота и доступность, т.к. не требуется дорогостоящее специальное оборудование. В связи, с чем он может быть рекомендован к использованию не только в научно-исследовательских работах, но и в деятельности органов экологического контроля и мониторинга. Однако, имеется недостаток – данная гистохимическая реакция является качественной на комплекс тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, Co и др.) и не позволяет выявить тот или иной элемент, тем не менее по литературным данным более специфична реакция к Pb и Cd.

В-третьих, из рассматриваемых видов наиболее чувствительным к накоплению тяжелых металлов является берёза повислая. По условной шкале содержание тяжелых металлов составляет 3 и выше баллов, что соответствует среднему и высокому значению. В данном случае преобладает аэральное (фолиарное) поступление загрязняющих веществ в растительный организм, т.к. наивысшее содержание тяжелых металлов отмечается в древесине, а точнее в ксилеме. У вяза перистоветвистого аккумуляция тяжелых металлов наблюдается в коре (во флоэме) – в 50 % случаев, что говорит о поступлении токсикантов через корневую систему. Сравнение степе-

ни накопления в трех зонах побега позволило расположить их в следующий ряд (в порядке убывания): *древесина (ксилема) > кора (флоэма) > сердцевина*.

В-четвертых, сравнивая результаты с контрольной точкой (СОК «Олимпик») нами были выявлены местообитания с высоким содержанием тяжелых металлов в окружающей среде: пересечение пр-та Труда и Московского пр-та, район ООО «Амтел-Черноземье», ост. Лебедева, район Автовокзала, ост. Манежная; а также участки с наименьшим содержанием тяжелых металлов: парк «Динамо», ост. ДК Кирова.

Опираясь на результаты проведенных исследований, в сентябре 2014 г. планируется проведение серии опытов с целью определения содержания тяжелых металлов в побегах древесных растений. Предполагается использование апробированной дитизиновой методики. В качестве объекта исследования будет выступать вид-индикатор, оказавшийся наиболее чувствительным к накоплению тяжелых металлов – береза повислая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Э. Вайнерт [и др.]; под ред. Р. Шуберта; пер. с нем. Г. И. Лойдиной, В. А. Турчаниновой; под ред. Д. А. Криволуцкого. – М. : Мир, 1988. – 348 с.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
3. Прохорова Н.В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н.В. Прохорова, Н.М. Матвеев, В.А. Павловский. – Самара: Изд-во Самарск. гос. ун-та, 1998. – 131 с.
4. Прохорова Н.В. Гистохимический анализ в оценке эколого-биогеохимических характеристик агрофитоценозов / Н.В. Прохорова, Ю.В. Макарова // Вестник СамГУ. – Естественнонаучная серия. – 2006. – №7(47). – С. 177-185.
5. Серёгин И.В. Распределение тяжелых металлов в растениях и их действие на рост: автореф. дис. ...д-ра биол. наук / И.В. Серегин. – М., 2009. – 54 с.
6. Серегин И.В. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях / И.В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – №6. – С. 915-921.
7. Убугунов В.Л. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ / В.Л. Убугунов, В.К. Кашин. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – 128 с.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОД В МЕСТАХ РЕКРЕАЦИИ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ Г. ВОРОНЕЖА

М.О. Маслова, Т.И. Прожорина

Согласно Схеме территориального планирования Воронежской области, утвержденной Постановлением Правительства Воронежской области №158 от 5 марта 2009 года, одной из задач территориального планирования территории является развитие современной инфраструктуры туризма с учетом рекреационных возможностей территории Воронежской области на базе бальнеологических и прочих ресурсов.

Воронежская область обладает значительными водными ресурсами для создания баз отдыха, туристических баз, санаториев, детских лагерей, спортивных комплексов. Однако развитие туристического потенциала области и создание новых мест отдыха и оздоровления населения невозможно без проведения предварительного анализа потенциальных рисков здоровью рекреантов. В связи с этим становится актуальной геоэкологическая оценка качества вод в местах активного отдыха населения в теплый сезон.

Химический анализ вод проводился для проб, отобранных в популярных местах отдыха г. Воронежа и ближнего Подворонежья (на пляжах) в теплый сезон (май-июнь 2014 года). Места отбора проб показаны на рисунке 1, а краткая характеристика пляжных участков приведена в таблице 1. Всего проанализировано 22 пробы воды.

Таблица 1

Места отбора проб воды и характеристика пляжей

Но- мер пробы	Водный объект	Место отбора пробы	Характеристика пляжа
1	2	3	4
1	Воронежское водохрани- лище	Пляж санатория им. М. Горького	Обустроенный закрытый песчаный пляж II категории для отдыхающих санатория. Асфальтированная дорога к пляжу от санатория
2	Воронежское водохрани- лище	В 300 м выше точки №1	Неорганизованный песчаный пляж. Большая часть отдыхающих – жители пос. Рыбачий. Не имеет подъезда для ав- томобилей
3	р. Воронеж	Пляж базы отдыха «Немецкая слобода», с. Чертовицы	Оборудованный пляж II категории с платной парковкой и развлекательным комплексом

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
4	р. Воронеж	Пляж «Багратиони»	Оборудованный песчаный пляж II категории с платной парковкой и объектами питания
5	р. Дон	Пляж г. Семилуки	Необорудованный песчаный пляж III категории
6	р. Дон	Пляж туристической базы «Донгор»	Неорганизованный пляж с илистым дном. Не имеет обустроенного подъезда для автомобилей
7	р. Усмань	Пляж микрорайона «Сомово»	Необорудованный песчаный пляж III категории с бесплатным паркингом
8	р. Усмань	Пляж микрорайона «Боровое»	Необорудованный песчаный пляж III категории
9	р. Ведуга	Пляж с. Терновое Семилукского района	Необустроенный пляж с илистым дном. Место купания жителей ближайших деревень и дачных кооперативов. Для реки характерно обилие холодных ключей и быстрое течение, что делает пляж опасным для купания
10	Пруд с. Бого- явленка	Пляж с. Богоявленка Семилукского района	Сеть необустроенных пляжей. Популярное место отдыха жителей ближайших деревень, дачных кооперативов и приезжих горожан, т.к. пруд имеет большую площадь и глубину
11	р. Трещевка	Пляж с. Приволье Семилукского района	Необустроенный пляж с илистым дном
12	Пруд с. Мед- вежье	Пляж с. Медвежье Семилукского района	Необорудованный песчаный пляж. Популярное место отдыха, как жителей ближайших населенных пунктов, так и жителей г. Воронежа
13	Пруд с. Каве- рье	Пляж с. Каверье Семилукского района	Необорудованный пляж, эвтрофированный водоем с илистым дном
14	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Солнечная поляна»	Оборудованный песчаный пляж II категории
15	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Солнечная поляна»	Оборудованный песчаный пляж II категории
16	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Коминтерновец»	Необорудованный песчаный пляж
17	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Коминтерновец»	Необорудованный песчаный пляж
18	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Лесная сказка»	Необорудованный песчаный пляж
19	р. Усмань	Пляж базы отдыха «Лесная сказка»	Необорудованный песчаный пляж

1	2	3	4
20	р. Усмань	ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник», 500м ниже очистных сооружений бобрового питомника	Место купания работников и волонтеров заповедника
21	р. Усмань	ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник», место сброса сточных вод	Место купания работников и волонтеров заповедника
22 (фон)	р. Усмань	ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник», 500м выше очистных сооружений бобрового питомника	Место купания работников и волонтеров заповедника

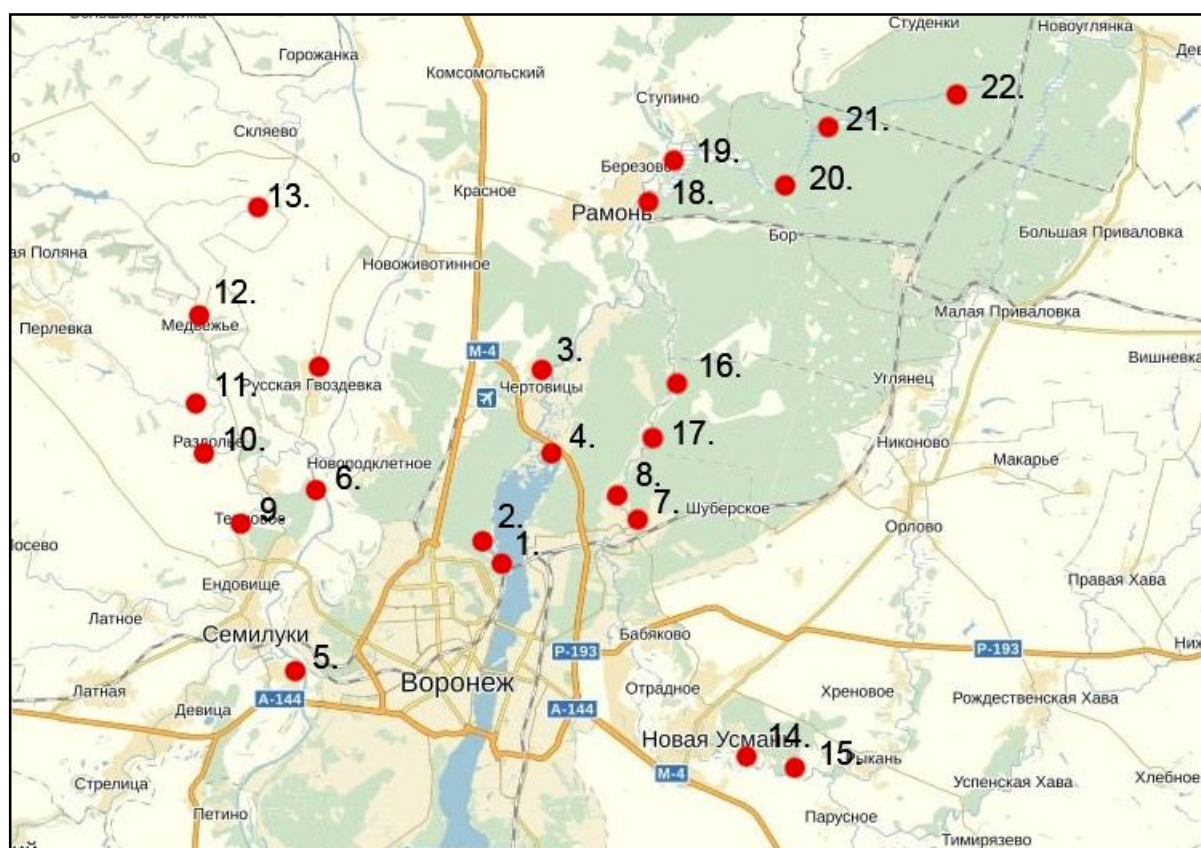


Рис.1. Места отбора проб воды на территории ближнего Подворонежья

Отобранные пробы анализировали на органолептические (таблица 2) и санитарного-гигиенические показатели, характеризующие безвредность химического состава воды (таблицы 3, 4), с применением следующих методов анализа: потенциометрический (рН), титриметрический (общая жесткость, кальций, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты), фотоколориметрический (железо общее, нитраты, нитриты), вольтамперометрический (тяжелые металлы – свинец, медь, кадмий), расчетный метод (общая минерализация, магний).

Таблица 2

Результаты органолептических показателей исследуемых
водных объектов

Номер пробы	Характеристика осадка (количество, вид, цвет)	Характеристика запаха (интенсивность в баллах, вид запаха)	Прозрачность, см столба жидкости	Цветность, градусы
1	2	3	4	5
1	незначительный хлопьевидный бурый	3 балла заметный землистый	более 30	25
2	незначительный хлопьевидный бурый	4 балла отчетливый землистый	более 30	30
3	незначительный песчаный черный	1 балл очень слабый травянистый	более 30	15
4	незначительный хлопьевидный бурый	2 балла слабый землистый	более 30	20
5	незначительный песчаный черный	1 балл очень слабый землистый	6	60
6	незначительный песчаный черный	4 балла отчетливый землистый	4	80
7	заметный хлопьевидный светло-коричневый	2 балла слабый рыбный	20	50
8	незначительный хлопьевидный светло-коричневый	1 балл очень слабый рыбный	более 30	60
9	заметный илистый бурый	1 балл очень слабый рыбный	более 30	20

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
10	незначительный	1 балл	более 30	20
	илистый бурый	очень слабый рыбный		
11	большой илистый бурый	1 балл очень слабый землистый	более 30	30
12	нет	4 балла отчетливый затхлый	более 30	20
13	большой илистый зеленый	3 балла заметный сладковатый	более 30	30
14	незначительный хлопьевидный коричневый	2 балла слабый плесневый	более 30	30
15	незначительный песчаный черный	1 балл очень слабый землистый	более 30	40
16	незначительный песчаный коричневый	1 балл очень слабый землистый	более 30	40
17	незначительный песчаный коричневый	3 балла землистый травянистый	более 30	30
18	незначительный песчаный коричневый	2 балла слабый плесневый	более 30	40
19	незначительный песчаный коричневый	1 балл очень слабый плесневый	более 30	40
20	незначительный песчаный черный	2 балла слабый огуречный	более 30	50
21	незначительный песчаный желтый	2 балла слабый рыбный	более 30	50
22 (фон)	незначительный песчаный черный	2 балла слабый сладковатый	более 30	50

По органолептическим показателям все исследуемые пробы воды можно считать удовлетворительными. Однако повышенная цветность воды, интенсивный неприятный запах и заметное количество осадка оказывают влияние на впечатления отдыхающих и портят привлекательность

пляжной зоны. Несмотря на отсутствие нормативов для данного вида анализа, органолептические показатели могут косвенно свидетельствовать о химическом или биологическом загрязнении вод.

Для оценки качества воды в исследуемых водных объектах фактические концентрации определяемых ингредиентов сравнивали с нормами ПДК для вод рыбохозяйственного назначения. Результаты анализов приведены в таблицах 3, 4.

Таблица 3

Результаты санитарного-гигиенических показателей
исследуемых водных объектов

Номер пробы	рН	Общая жест- кость, мг-экв/л	Ca ²⁺ мг/л	Mg ²⁺ мг/л	Fe общ. мг/л	NO ₃ ⁻ мг/л	NO ₂ ⁻ мг/л	SO ₄ ²⁻ мг/л	Cl ⁻ мг/л	HCO ₃ ⁻ мг/л	Общая минера- лизация, мг/л
1	8,17	4,05	55,31	15,69	0,09	4,81	0,13	87	23,58	163,02	557,09
2	8,14	4,46	65,91	19,7	0,10	4,50	0,07	73	25,27	164,74	535,16
3	7,74	4,48	61,12	17,39	0,21	5,50	0,09	71	21,89	197,34	591,64
4	7,76	4,85	62,93	20,79	0,22	4,25	0,18	19	23,58	197,34	488,7
5	8,15	3,89	43,29	21,04	0,34	3,00	0,13	70	20,21	157,87	502,42
6	8,18	3,98	44,69	21,28	0,38	2,69	0,27	83	20,21	159,59	531,52
7	8,11	6,69	82,06	31,49	0,14	1,13	0,16	49	36,67	271,128	716,18
8	8,15	6,26	79,36	27,97	0,09	1,80	0,09	120	28,33	276,276	852,99
9	7,64	5,81	95,19	12,89	0,22	74,56	0,01	81	20,00	270,86	892,86
10	8,12	3,31	40,68	15,56	0,21	13,94	0,02	78	13,33	155,50	521,58
11	7,68	5,00	91,99	4,26	0,11	5,50	0,75	9	16,67	302,63	669,10
12	8,29	3,40	41,88	15,93	0,11	1,75	0,49	67	6,67	150,48	452,78
13	7,49	3,92	55,11	14,23	0,10	83,31	2,37	36	6,67	188,94	634,58
14	8,00	6,10	75,35	28,45	0,16	3,63	0,01	87	29,36	258,85	757,70
15	8,04	5,72	75,75	23,59	0,16	10,81	0,03	51	24,47	262,11	696,84
16	7,78	4,88	63,13	21,04	0,22	6,13	0,02	60	24,47	221,41	624,06
17	7,00	4,99	59,92	24,32	0,11	6,13	0,07	15	27,73	195,36	488,58
18	7,74	4,91	58,12	24,44	0,06	9,25	0,04	23	8,16	205,13	491,16
19	7,07	4,86	55,51	25,41	0,05	6,44	0,03	22	22,84	201,87	506,36
20	7,75	6,60	72,34	8,55	0,33	1,80	0,03	23	30,99	236,06	583,76
21	7,45	6,69	79,36	33,20	0,27	0,50	0,07	19	30,99	229,55	560,22
22	7,74	6,64	82,97	30,40	0,21	1,13	0,11	46	27,73	231,18	612,30
ПДК	6,5- 8,5	7	180	40	0,1	40	0,08	100	300	400- 500	1000

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в исследуемых пробах воды

Номер пробы	Cu ⁺² , мг/л	Pb ⁺² , мг/л	Cd ⁺² , мг/л
1	0,00000406	0,0000351	0,0000198
2	0,000069	-	-
3	-	0,00017	-
4	-	0,0003	-
5	0,0012	0,00021	-
6	0,0018	0,00042	-
7	0,0018	0,00025	-
8	0,0027	0,000092	-
9	-	-	-
10	-	-	-
11	-	-	-
12	-	0,000015	-
13	-	0,0000273	-
14	0,0031	-	-
15	0,0011	0,000034	-
16	0,0017	0,00006	-
17	0,000034	-	-
18	0,0000083	-	-
19	0,000064	0,000043	-
20	-	-	-
21	0,00004	-	0,0000033
22	-	-	-
ПДК	0,001	0,006	0,0005

Анализ результатов исследований показал, что 82% отобранных проб воды не удовлетворяет нормативам по количеству содержащегося общего железа. Превышения концентрации варьируют в диапазоне от 1 до 3,8 ПДК.

Превышения ПДК в 2,1-3,3 раза характерны также и для фоновой пробы воды, отобранной на территории ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник», что может быть связано не только с природным содержанием компонента, но и с работой бобрового питомника, оснащенного металлическими вольерами для животных.

Высокое содержание железа в природных водах характерно для всей Воронежской области, что может быть связано, в первую очередь, с растворением горных пород и минералов [1]. Вторичной причиной загрязнения природных вод железом может служить перенос сточных вод от очистных сооружений и предприятий. Дополнительной причиной попадания

железа в природные воды является фильтрация со свалок и замусоренность территории, в том числе засоренность дна водоемов.

Проведенные исследования позволили установить превышения существующих санитарно-гигиенических норм для азотистых соединений. Так, например, содержание нитратов превышает норму в 1,9 - 2,1 раза; нитритов - от 1,1 до 30 раз, в том числе и для фоновой точки на территории Воронежского заповедника (1,38 раза). Повышенное содержание азотистых соединений может свидетельствовать о загрязнении вод органическими веществами, и может быть связано с цветением водоемов в теплый период года, жизнедеятельностью водных живых организмов.

Химический анализ исследуемых проб позволил выявить единичное превышение ПДК по сульфатам в 1,2 раза на пляже «Боровое» реки Усмань, что может быть связано с засоренностью территории и активным отдыхом населения.

Анализ таблицы 4 показал, что треть всех отобранных образцов воды не удовлетворяет нормативу по содержанию меди и превышает рыбохозяйственные ПДК в 1,1-12 раз. Повышенное содержание меди относится в основном к водам реки Усмань. Медь имеет свойство оседать и постепенно накапливаться в донных отложениях. В теплый сезон (особенно в зонах отдыха населения) концентрация меди в приповерхностном слое воды резко возрастает, что связано с активным перемешиванием вод. Повышение содержания тяжелых металлов в природных поверхностных водах связано, чаще всего, со сбросами сточных вод промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также с рекреационной нагрузкой на территорию.

Проведенная эколого-химическая оценка пляжных зон пригородной зоны г.Воронежа может быть полезна специалистам региональных природоохранных ведомств, туристического бизнеса и населению для планирования мероприятий по обеспечению безопасного рекреационного водопользования и выбора оптимальных мест купания и отдыха в летний период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ступин В.И. Доклад о государственном надзоре и контроле за использованием природных ресурсов и состоянием окружающей среды Воронежской области в 2012 году / В.И. Ступин, Л.И. Дубовская, Г.С. Сейдалиев и др. – Воронеж : Изд-во им. Е. А. Болховитинова, 2013. – 87 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

П.М. Виноградов

Геоинформационные системы (ГИС) в XXI веке превратились в практически незаменимый инструмент научных и производственных исследований. Благодаря богатому функционалу и возможности решать разноплановые задачи ГИС находят применение в самых разнообразных сферах деятельности, в том числе в урбоэкологии.

Напряженная экологическая ситуация, сложившаяся в крупных промышленных центрах, какими являются современные города, требует постоянного контроля над состоянием городской среды и организации системы мониторинга. Последняя включает в себя сбор разрозненной информации, в том числе и разновременной, по комплексному загрязнению различных сред, основным источникам этого загрязнения, ответной реакции среды и населения на воздействие тех или иных поллютантов; анализ всей имеющейся информации, с постоянным ее обновлением и дополнением, а также принятие соответствующих решений в отношении мероприятий по улучшению экологической обстановки. Кроме того само понятие "система" предполагает взаимосвязь всех компонентов, их единство. Геоинформационные системы предоставляют достаточный набор инструментов для сбора и анализа информации, составления прогнозов и принятия на их основе тех или иных решений, таким образом, являясь основой для создания системы геоэкологического мониторинга.

Ярким примером крупного промышленного центра является город Воронеж – крупнейший город Центрально-Чернозёмного экономического района. Целью исследования является создание геоинформационно-аналитического комплекса для обеспечения эффективного функционирования системы экологического мониторинга.

Разработка данного комплекса ведется в ГИС MapInfo Professional. В качестве картографической основы взята топографическая карта г.Воронежа масштаба 1:20 000. Карта привязана в местной системе координат Воронежской области (МСК-36). Все объекты карты разбиты на семь основных тематических слоев:

- растительность (внутригородские и пригородные зеленые массивы, парки, скверы, формирующие «зеленый каркас» городской агломерации);
- гидрография (основным объектами этого слоя являются Воронежское водохранилище, постоянные и временные водотоки);
- жилые кварталы города (кварталы жилой городской застройки, разбитые на 3 функциональные зоны: 1) ЦИ - центральная историческая

часть города, включая общественно-деловую застройку и старую 5-ти-этажную застройку; 2) СП - кварталы с современной многоэтажной застройкой; 3) ЧС - частный сектор: преимущественно одноэтажная жилая застройка);

- промышленные кварталы (площади, занятые промышленными предприятиями);

- кварталы населенных пунктов, присоединенных к г.Воронежу в 2010 г. (села Никольское, Подгорное, Репное);

- основные автомагистрали (наиболее крупные и загруженные улицы г.Воронежа);

- другие транспортные коммуникации (железные дороги и мосты, выделенные в отдельный слой).

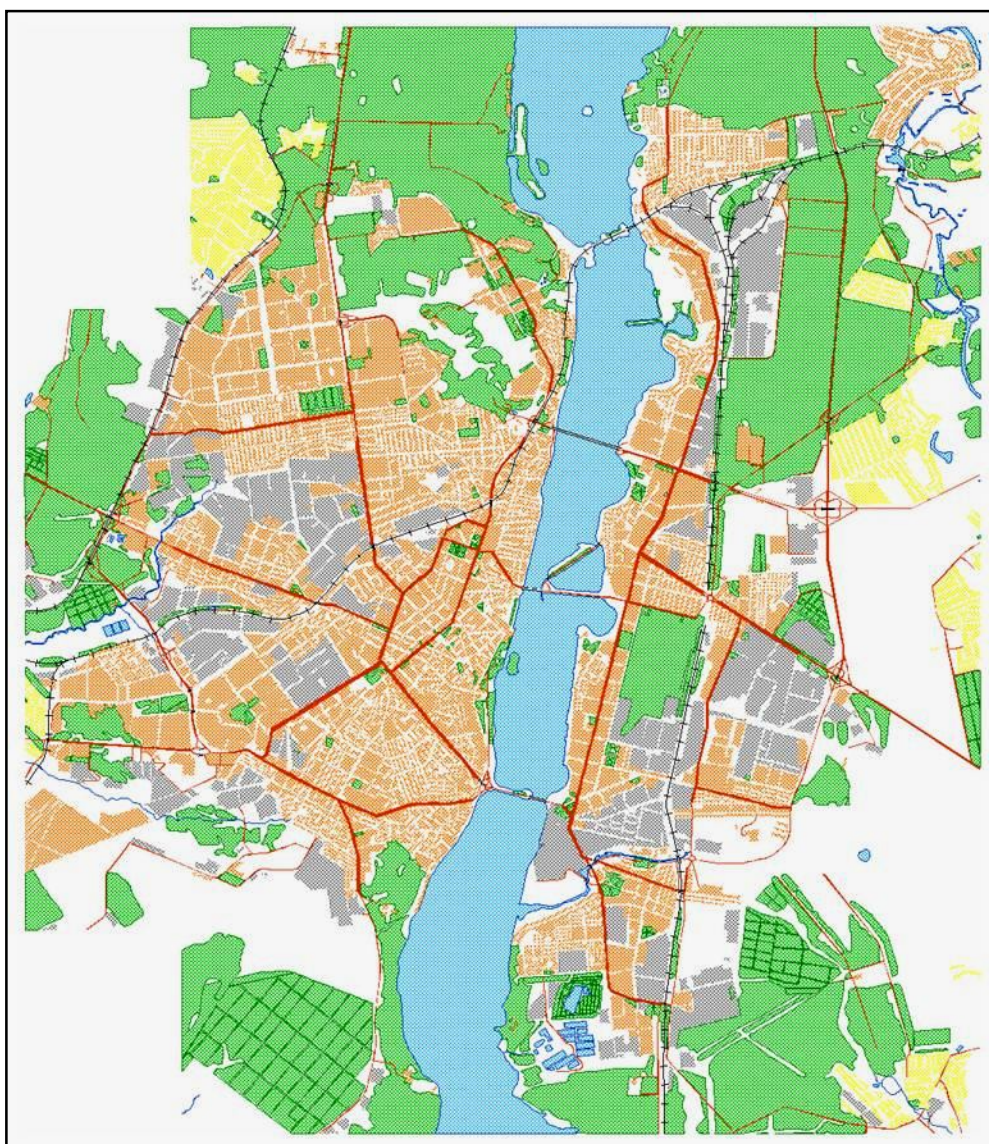


Рис.1. Цифровая карта г. Воронежа

Созданная картографическая основа является полноценной цифровой картой и позволяет осуществлять привязку к ней любой тематической информации (рис. 1).

Основополагающим этапом в создании системы экологического мониторинга является сбор необходимой информации и формирование баз эколого-геохимических данных (БД).

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

БД по техногенному загрязнению воздушного бассейна состоит из двух частей: данные по концентрации загрязняющих веществ в атмосфере и в снежном покрове. Первая часть БД создана по данным мониторинга с пяти стационарных постов наблюдения Воронежского ЦГМС – филиала ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»; включает в себя информацию о концентрациях от 5 до 7 загрязнителей (оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, пыль, формальдегид, фенол, сажа). Эта часть БД формировалась в электронной таблице Microsoft Excel и, в дальнейшем, привязывалась к картооснове. Вторая часть создана по результатам химического анализа снежного покрова, проведенного в зимние периоды 2012-2013 и 2013-2014 г.г. на базе учебно-научной эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета. В ходе работ первого анализа (февраль 2013 г.) был произведен отбор 27 проб снега, условно распределенным по пяти функциональным зонам города с разной степенью техногенного воздействия. В феврале 2014 г. количество проб было увеличено почти вдвое – до 48. Информация по второй части БД также привязана к картооснове путем геокодирования.

База по источникам техногенного воздействия, как и БД по техногенному загрязнению воздушного бассейна, состоит из двух подразделов: данные по промышленным объектам и по автотранспорту. Подраздел, включающий данные по промышленным объектам, создан на основе кадастра основных промышленных предприятий г.Воронежа (данные Управления Росприроднадзора по Воронежской области), содержит полные названия предприятий, их адреса, класс вредности, валовой выброс загрязняющих веществ в атмосферу и процент от общего выброса. Тематическая информация этого подраздела БД привязана к пространственно координированным графическим объектам соответствующего слоя цифровой картоосновы. Второй подраздел содержит информацию по улично-дорожной

сети города. Сюда входит перечень основных, наиболее крупных, улиц, с указанием того, в каком, преимущественно, административном районе города она находится, средней интенсивности движения автотранспорта (авт/час), выбросам загрязняющих веществ и категории, к которой относится улица. Категории присвоены улицам в зависимости от интенсивности движения автотранспорта, средней скорости потока, количества полос движения и длины дороги. Выбросы загрязняющих веществ рассчитаны с учетом категории и района расположения улицы [2].

Стандартный функционал ГИС MapInfo Professional предоставляет возможность производить анализ имеющейся информации на основе её графического представления. Наглядно показать это могут, например, тематические карты минерализации снеговых вод, построенные по БД техногенного загрязнения снежного покрова (рис. 2, 3).

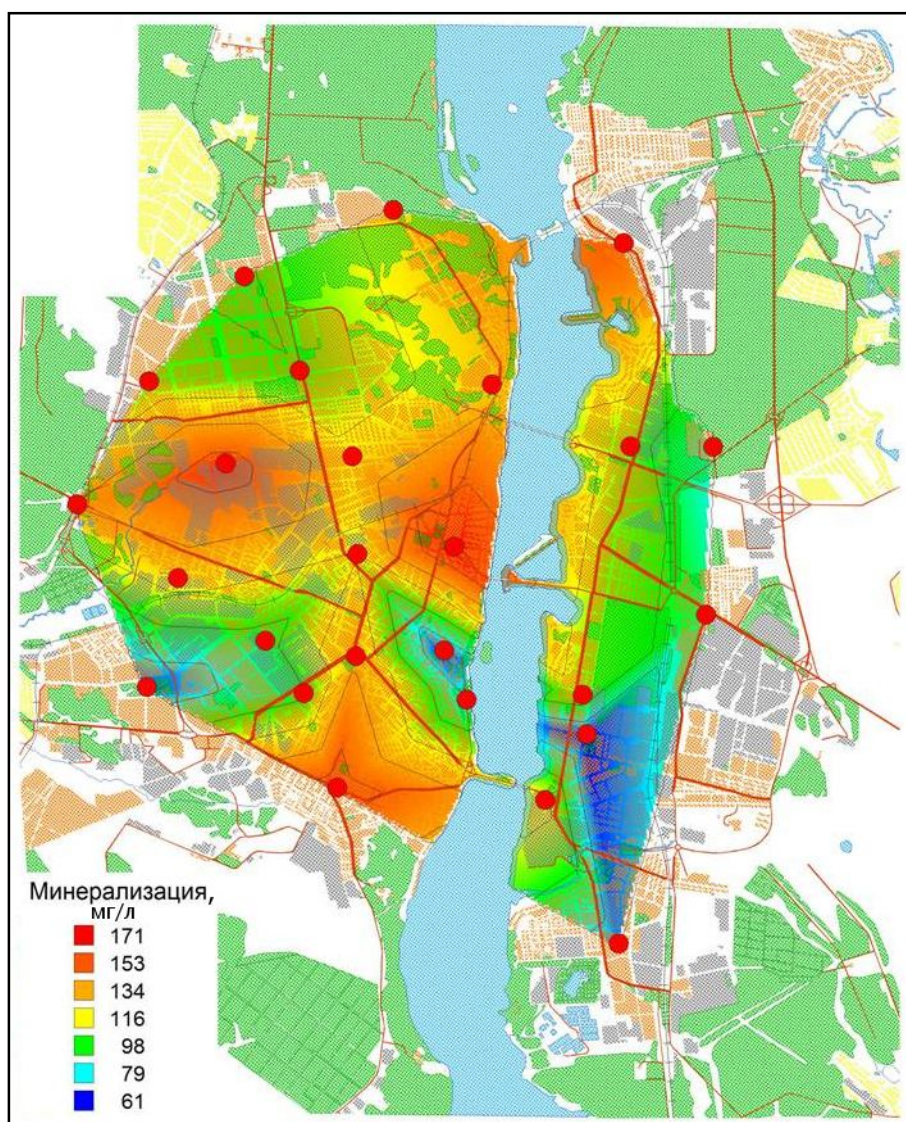


Рис.2. Карта минерализации снеговых вод, построенная методом TIN-интерполяции

Карты представляют собой интерполированную поверхность (созданную разными методами), с построенными изолиниями (при помощи приложения «Поверхность»). В ГИС MapInfo используются два метода интерполяции – метод обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting - IDW) и нерегулярной сети треугольников (Triangulated Irregular Network - TIN). По опыту построения подобных тематических поверхностей можно сделать вывод, что для карт, основывающихся на данных по точкам, независимым и не влияющим друг на друга (какими являются данные загрязнения снежного покрова), к тому же, находящихся на значительном удалении друг от друга, более приемлемым оказался метод IDW. Стоит отметить, что есть возможность получения информации из любого места уже готовой поверхности, что весьма удобно при отсутствии достаточно густой сети точек.

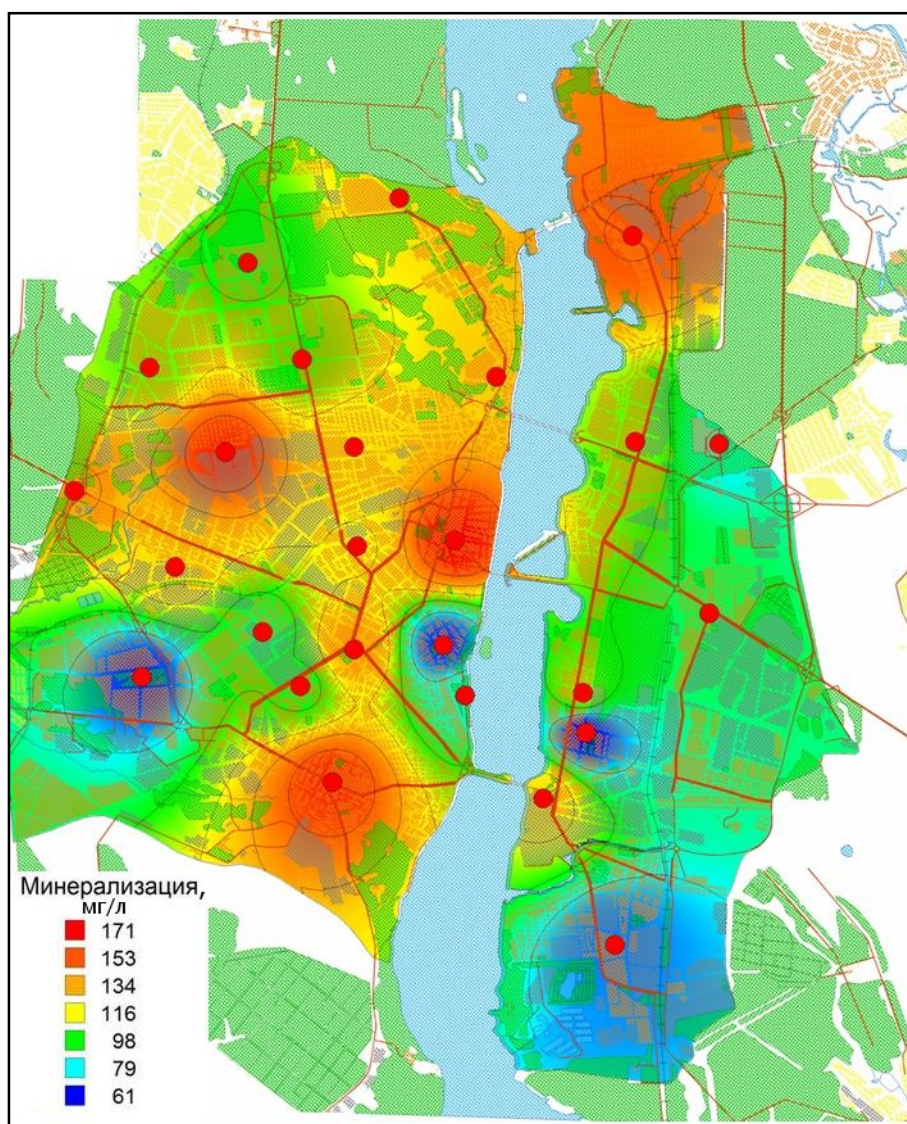


Рис.3. Карта минерализации снеговых вод, построенная методом IDW-интерполяции

Помимо построения поверхностей, MapInfo располагает богатым набором других инструментов для анализа информации БД. К таковым следует отнести средства, позволяющие сортировать данные, производить выборку по заданному условию (создание SQL-запросов). Задание SQL-запросов находит применение при решении совершенно разных вопросов, в частности, этот инструмент будет полезен при необходимости выявления промышленных объектов, выброс загрязняющих веществ в атмосферу которых выше определенных установленных пределов. Вся тематическая информация, присвоенная графическим объектам в слоях, созданных в MapInfo, представляется в виде таблиц. Отсюда и второе наименование слоев – таблицы. При этом, производя выборку определенных строк в таблице, можно видеть и сами объекты на карте, которым соответствуют эти строки. Также можно просмотреть информацию об интересующих объектах, воспользовавшись инструментом «Информация». В том случае, если нужно вычислить статистические величины (средние и суммарные показатели) по нескольким объектам, активируем окно «Статистика». Основное преимущество этой функции состоит в том, что окно остается активным даже тогда, когда мы работаем с картой, что позволяет выбирать объекты в произвольном порядке, снимать выделение с одних объектов, выбирать другие и постоянно получать статистические показатели по этой выборке. Существует возможность расчета интегральных показателей, с внесением рассчитанных величин в таблицу. За эту функцию отвечает инструмент «Обновить колонку». Примером его использования может служить расчет парциального индекса загрязнения атмосферного воздуха. Также важной функцией является построение буферных зон (например, санитарно-защитных зон промышленных предприятий).

Описанные «штатные» инструменты и функции, хотя это лишь небольшая часть всего набора средств ГИС MapInfo, предоставляют богатый выбор возможностей для анализа БД. Но даже использование всего арсенала инструментов ГИС может оказаться недостаточным, ввиду отсутствия определенных функций, необходимых в данной ситуации, либо алгоритм решения некоторых задач предполагает большой объем однотипных операций, производимых "вручную". В этом случае приходится прибегать к применению языков программирования. В среде MapInfo таким инструментом является MapBasic.

В процессе работ по созданию цифровой картографической основы возник вопрос о неудобстве постоянного переключения между инструментами «Сдвиг» и «Выбор» путем нажатия на соответствующие кнопки на панели инструментов. При «оцифровке» растрового изображения часто необходимо перемещаться по карте и выбирать определенные объекты. За выполнение этих функций отвечают данные инструменты. Во многих программах (Tropcad, EasyTrace) это неудобство устранено путем задания

этим командам «горячих клавиш». В нашем случае было решено пойти тем же путем.

В пункт горизонтального меню **Правка** были добавлены соответствующие команды, позволяющих переключать инструменты «Сдвиг» и «Выбор» нажатием клавиш 1 и 2 на клавиатуре. Вторым примером применения MapBasic служит создание БД по оценке риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха. На основе информации БД по техногенному загрязнению воздушного бассейна, средствами ГИС MapInfo Professional была произведена оценка потенциальной заболеваемости, предполагающая расчет показателей канцерогенного и неканцерогенного рисков для здоровья населения г.Воронежа. Однако, данная оценка предполагала совершение большого объема операций, что значительно увеличивало временные затраты на постоянное обновление и дополнение информации, особенно учитывая тот факт, что БД должна всегда находиться в актуальном состоянии. Возникла необходимость автоматизации процесса. Для этой цели был разработан модуль, позволяющий производить расчет количественной оценки риска для здоровья населения. Данный модуль представляет собой приложение, при запуске которого в горизонтальном меню MapInfo добавляется пункт «Риск», справа от меню «Справка», и включает в себя три команды: «Создать таблицу Risks_MB», «Расчет экологического риска», а также «Выход», завершающий работу программы.

Первая команда данного меню дает возможность создать новый слой в проекции данной карты. Слой включает в себя несколько графических объектов, расположение которых совпадает с местоположением постов наблюдения ЦГМС на карте. Вторая команда («Расчет экологического риска») вызывает одноименное диалоговое окно, включающее в себя нескольких выпадающих списков, в котором предлагается последовательно выбрать БД, на основе которой будет вестись расчет, и тип экориска (канцерогенный или неканцерогенный) (рис. 4).

Алгоритмы оценки риска выбраны в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920 – 04) [1]. Разработанный модуль сводит к минимуму ручной «механический» труд, а также вероятность совершения ошибок при расчетах, что существенно сокращает временные затраты по обновлению информации БД по оценке риска для здоровья населения.

Созданный геоинформационно-аналитический комплекс может быть успешно использован в реализации автоматизированного экологического мониторинга городской среды.

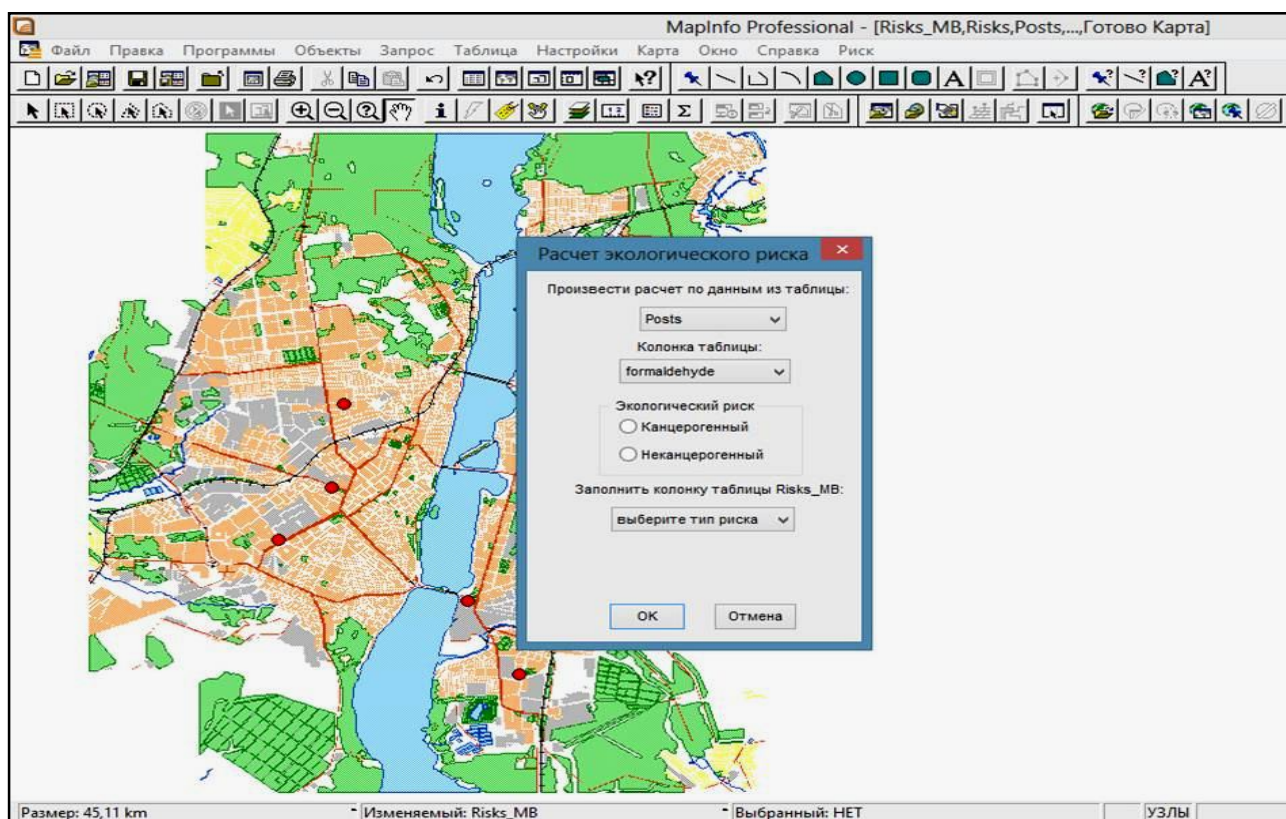


Рис.4. Диалоговое окно "Расчет экологического риска"

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920 – 04). – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
2. Якушев А.Б. Экологическая оценка воздействия автотранспорта на воздушный бассейн городов Центрального Черноземья / А.Б. Якушев, С.А. Куролап, М.А. Карпович. - Воронеж: Изд-во "Научная книга", 2013. – 207 с.

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КАРТЫ-ОСНОВЫ ГИС «ЭКОГЕОХИМИЯ ГОРОДА ВОРОНЕЖА» И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

С. А. Епринцев, П.М. Виноградов

В настоящее время сложно представить решение множества задач, требующих работы с пространственной информацией, без применения геоинформационных систем. Геоинформатика, находящаяся на стыке таких наук, как картография и информатика, в последние десятилетия находит практическое применение во многих разнообразных областях человеческой деятельности. Геоэкология является одной из таких сфер. Это динамично развивающаяся наука, тесно связанная со многими областями знаний, что обуславливает наличие обширного спектра разноплановых задач. В частности, оценка состояния окружающей среды в современных условиях влечёт необходимость работы с большим количеством данных. В связи с этим существует необходимость в использовании систем, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, отображение и распространение данных, а также получение на их основе новой информации. Выполнить данные задачи возможно при создании специализированных ГИС.

Описание опыта создания подобных модулей и приложений встречается у таких авторов, как А.А. Тигеев, Н.О. Гусейнова и др. [2, 3]. Однако, такое программное обеспечение, разработанное для решения определенных задач на конкретной территории со своими специфическими физико-географическими, социально-экономическими и экологическими особенностями, напрямую не может быть применимо в других регионах. Поэтому необходимость создания специализированного геоинформационного комплекса для определенной территории является актуальной задачей при оценке состояния окружающей среды.

Целью данной работы является создание ГИС «Экогеохимия города Воронежа» и апробация методов оценки риска для здоровья населения, связанного с техногенным загрязнением городской среды. Для создания ГИС использована программа MapInfo Professional, версия 7.0, которая наиболее оптимальна для реализации поставленной задачи.

На первом этапе создания экологической карты-основы нами в системе MapInfo было зарегистрировано растровое изображение города Воронежа в проекции «Non-Earth (kilometers)». В качестве основы для растрового изображения была использована карта города Воронежа в масштабе 1:20 000, составленная ФГУП «Омская картографическая фабрика» в 2005 году.

На основе имеющегося растрового слоя, были созданы 11 векторных слоёв:

- жилая застройка;
- промышленная застройка;
- зелёные насаждения;
- улицы;
- крупные автодороги;
- железные дороги;
- рельеф;
- кладбища;
- сады;
- водохранилище;
- границы районов.

Слой «Жилая застройка» создан при помощи «полигонов», которые были наложены на основные жилые кварталы города. Данный слой позволяет оценить скученность и густоту жилой застройки в различных частях города, что имеет экологический аспект.

Слой «промышленная застройка» создан по аналогии с «жилой застройкой» при помощи «полигонов», которые наложены на контуры основных промышленных предприятий города – наиболее вероятных загрязнителей окружающей среды. В таблицу данного слоя внесены названия предприятий, их почтовый адрес, а также класс вредности предприятия согласно санитарной классификации. Поместив данный слой на основную карту, предоставляется возможным оценить районы предполагаемого воздействия данного предприятия, учитывая розу ветров. Также, построив буферные зоны, есть возможность определить жилую застройку, расположенную в пределах санитарно-защитной зоны промышленных предприятий, что часто встречается в городе Воронеже (по данным Управления Роспотребнадзора в Воронежской области около 6 тысяч человек проживают в санитарно-защитных зонах предприятий).

Слой «зелёные насаждения» также создан путём «полигонов». Данный слой позволяет оценить возможное задерживание распространения токсических веществ от промышленных предприятий и автомобильных дорог.

Слой «улицы» создан при помощи «линий» и «полилиний». При помощи данного слоя предоставляется возможным ориентирование в расположении основных улиц города.

Слои «крупные автодороги» и «железные дороги» созданы посредством «линий» и «полилиний». Слой «крупные автодороги» показывает основные транспортные артерии города Воронежа. Поскольку автотранспорт является основным источником свинца, формальдегида, нефтепро-

дуктов и других загрязнителей, сопоставляя данный слой со слоем «жилая застройка», можно оценить зоны возможного превышения ПДК данных загрязнителей. Железнодорожный транспорт менее токсичен, однако сопоставление слоя «железные дороги» с «жилой застройкой», дает возможность выявить жилые кварталы, в которых наблюдается превышение допустимого уровня шума.

Слой «рельеф» создан при помощи сглаженных «полилиний». Данный слой позволяет оценить распространение загрязнителей окружающей среды с учётом относительной высоты той или иной территории; так, например, в понижениях рельефа (впадинах) концентрации загрязняющих веществ в объектах окружающей среды, как правило, всегда выше, чем на возвышенностях. Также данный слой позволяет прогнозировать аэрацию того или иного участка городской территории.

Слои «сады» и «кладбища» были созданы при помощи «полигонов». Слой «сады» отображает основные посадки плодовых деревьев на территории города, а слой «кладбища» отображает расположение основных кладбищ города.

Слой «водохранилище» включает в себя все водоёмы, расположенные на территории города – городское водохранилище, реки, озёра, пруды и прочие водоёмы. Городское водохранилище, пруды и озёра, а также крупные реки были созданы посредством «полигонов», а более мелкие водотоки – при помощи сглаженных «полилиний».

Слой «границы районов», созданный при помощи линий и полилиний, показывает расположение границ, разделяющих город Воронеж на 6 административных районов.

Созданная карта (рис. 1) послужила основой изучения ареалов техногенного загрязнения городской среды.

Проведённые экогеохимические исследования по ключевым участкам города подтвердили обусловленность высокого почвенного и атмосферного загрязнения промышленно-транспортным давлением на окружающую среду, что определяет необходимость организации комплексного геоэкологического мониторинга г.Воронежа с использованием геоинформационных технологий, предоставляющих богатый инструментарий для полноценной оценки состояния окружающей среды.

Для оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий городского округа города Воронежа создана ГИС «Экогеохимия и здоровье населения г. Воронежа», при помощи которой в автоматизированном режиме создаются различные тематические карты территории городского округа г. Воронеж. Основой ГИС служит автоматизированная база данных «Экогеохимия города Воронежа», зарегистрированная в ФГУП НТЦ «Информрегистр» (№ 0220611156), а также программно-

картографический инструментарий создания геоэкологических карт города Воронежа.

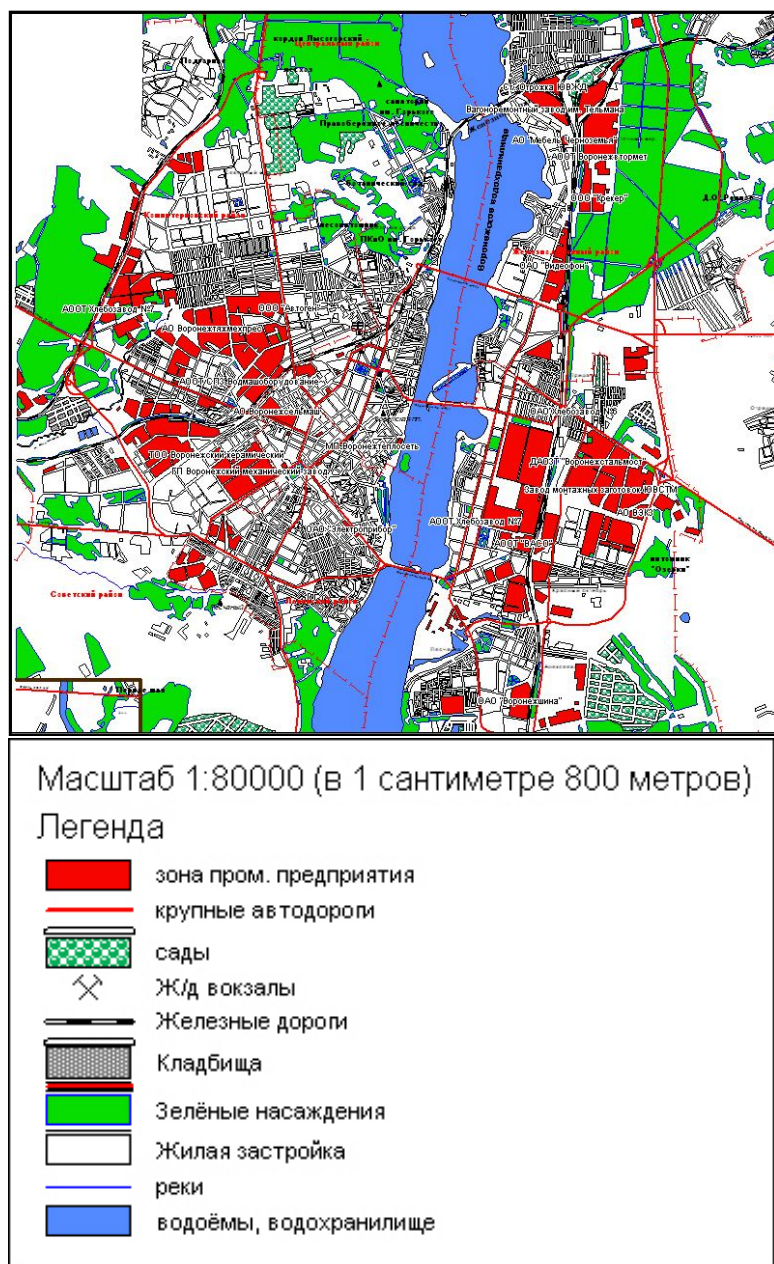


Рис. 1 Электронная карта-основа г. Воронежа

Основным критерием при оценке качества окружающей среды является риск возникновения у населения экологически-обусловленных заболеваний. Оценить количественные значения риска позволяет методология Федерального центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана (Р 2.1.10.1920—04), апробированная по широкому спектру факторов экологического риска на территории г.Воронежа в 2010г. [1].

Используя величину суммарного экологического риска (НІ) по данной методологии, общий экологический риск можем определить по формуле (1):

$$\text{ЭР} = \text{НІ} / N \quad (1)$$

где ЭР – экологический риск; НІ – суммарный риск, определённый по методологии US EPA; N – количество поллютантов (величин НQ), изученных при определении величины НІ.

В зависимости от величины ЭР введём индекс экологического потенциала (ІЭП), определяемый в баллах:

1 балл – критический потенциал – ЭР более 10; 2 балла – низкий, недопустимый потенциал – ЭР от 7 до 10; 3 балла – пониженный потенциал – ЭР от 5 до 7; 4 балла – минимальный потенциал – ЭР от 3 до 5; 5 баллов – средний потенциал – ЭР 1 до 3; 6 баллов – положительный потенциал – ЭР от 0,8 до 1; 7 баллов – повышенный потенциал – ЭР от 0,6 до 0,8; 8 баллов – высокий потенциал – ЭР от 0,5 до 0,6; 9 баллов – очень потенциал – ЭР от 0,4 до 0,5; 10 баллов – оптимальный потенциал – ЭР менее 0,4.

Анализируя загрязнённость атмосферы города Воронежа в 2011-2012 г.г., можно констатировать максимально-высокое загрязнение атмосферы в районе Чернавского моста (перекрёсток ул. Ст. Разина - ул. Манежная). Причиной высокого загрязнения атмосферы в данной зоне является большое количество автотранспорта, проезжающего через данный перекрёсток. Кроме того, данная территория расположена в зоне воздействия МУП «Воронежтеплосеть», относящегося к 1 классу вредности, что вносит свой вклад в формирование загрязнения данного участка города Воронежа.

В наименьшей мере загрязнена атмосфера микрорайона Агроуниверситета Центрального района и Северного жилого района. «Чистой» можно назвать также атмосферу городских окраин – Областной больницы, пос. Шилово, пос. Никольское и др. Низкая загрязнённость атмосферы наблюдается в удалённых от промышленной и транспортной зоны частях Советского административного микрорайона г. Воронежа (ул. Маршака, 38).

Проведя расчёт интегрального неканцерогенного риска возникновения хронических заболеваний (НІ), было установлено расположение зон высокого и очень высокого неканцерогенного риска возникновения хронических заболеваний в Железнодорожном районе города, микрорайоне «Машмет» Левобережного района, Советском районе и в районе ул. Транспортная Центрального района.

Территория повышенного риска наблюдается преимущественно в левобережной и центральной частях города.

Зона низкого уровня риска расположена преимущественно в северной части города (Северный жилой район Коминтерновского района и микрорайон Агроуниверситета Центрального района г. Воронежа).

В холодный период года наблюдается сходная ситуация, за исключением значительного сокращения зон повышенного, высокого и очень высокого уровней риска.

Анализ геоэкологических аспектов качества окружающей среды урбанизированной территории городского округа г. Воронеж позволил дифференцировать территорию на 5 зон.

Зона положительного экологического потенциала (12% площади городского округа) – располагается сплошной областью на территории Северного жилого района и микрорайона Агроуниверситета. На данной территории более 80% факторов социально-геоэкологической комфортности имеют положительные значения.

Зона среднего экологического потенциала (60% площади городского округа) – наиболее крупная зона – располагается сплошной областью, охватывающей преимущественно городские окраины. Расположение данной зоны наблюдается практически во всех районах города. На территории этой зоны, как правило, большинство факторов экологической комфортности находятся в пределах положительных значений, но существуют определённые артефакты.

Зона минимального экологического потенциала (20% площади городского округа) – располагается в виде двух основных крупных областей – в Центральной и левобережной частях города. В центральной части города данная зона включает территорию, прилегающую к промышленной зоне Коминтерновского района г. Воронежа, Центральный, Ленинский и небольшую часть Советского административного района города. В левобережной части г. Воронежа эта территория охватывает промышленную зону Левобережного района и часть Железнодорожного района.

Зона пониженного экологического потенциала (7% площади городского округа) – располагается небольшими областями в районе ул. 9 Января, в центральной части города (от железнодорожного вокзала «Воронеж-1» до ГП «Воронежский Механический завод»), вдоль ул. Матросова, в микрорайоне «Машмет» Левобережного района, в районе Ростовской трассы и в районе ул. Димитрова. В данной зоне наблюдаются существенные геохимические аномалии и, соответственно, низкий индекс экологического потенциала, низкие индексы социальных показателей.

Зона низкого, недопустимого экологического потенциала (менее 1% площади городского округа) – расположена тремя небольшими областями в районе Чернавского моста (пересечение улиц Манежная и Ст. Разина), Центральном районе г. Воронежа (пересечение улиц Плехановская и Кольцовская) и в микрорайоне «Машмет» Левобережного района г. Воро-

нежа (в зоне влияния ЗАО «Воронежский шинный завод» и ОАО «Воронежсинтезкаучук»). На данной территории наблюдаются наиболее обширные геохимические аномалии содержания загрязняющих веществ в почвенном покрове, а также аномально-высокое содержание атмосферных поллютантов, значительное превышение уровней экологического риска, высокая заболеваемость экспонированного населения. Факторы социальной комфортности в данной зоне неудовлетворительны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска / С.А. Куролап, С.А. Епринцев, О.В. Клепиков и др. – Воронеж: Издательство «Истоки», 2010. – 207 с.
2. Гусейнова Н.О. Экологический мониторинг Дагестана с использованием дистанционного зондирования и ГИС-технологий (на примере г. Махачкалы) / Н.О. Гусейнова, Н.М. Булаева, Б.И. Магомедов, С.Я. Аскеров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Вып.5, Т.2. – С. 477-482.
3. Тигеев А.А. Структура региональной экологической ГИС Тюменской области / А.А. Тигеев // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2009. – № 10. – С. 210-213.

Научное издание

**Экологическая оценка и картографирование
состояния городской среды**

Сборник научных статей

Общая редакция и компьютерная верстка
С.А. Куролапа и О.В. Клепикова
