

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОРОНЕЖА)

П. М. Виноградов, С. А. Куролап, О. В. Клепиков

Воронежский государственный университет, Россия

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия

Поступила в редакцию 8 октября 2014 г.

Аннотация: В статье освещается опыт разработки региональной геоинформационной системы для обеспечения задач медико-экологического мониторинга промышленно-развитого города. На примере г. Воронежа иллюстрируются технологические аспекты создания системы, а также приведены результаты оценки риска для здоровья населения вследствие техногенного загрязнения воздушного бассейна города, позволившие оценить закономерности формирования экологической опасности в различных функционально-планировочных зонах города.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, медико-экологический мониторинг, загрязнение атмосферы, риск здоровью, городская среда.

Abstract: The experience of the development of the regional geo-data system for the maintenance of medical and ecological monitoring of industrially developed city is highlighted in the article. Within the example of Voronezh City technological issues of the creation of the system are illustrated. There are also the results of risk assessments of the public health due to technogenic pollution of urban-industrial environment, which allow to point out common factors of environmental threat in different functional and planning areas of the city.

Key words: GIS technology, medical and environmental monitoring, pollution, health risks, urban environment.

Создание региональных систем экологического мониторинга и оценка риска для здоровья населения вследствие техногенного загрязнения окружающей среды – важнейший аспект деятельности региональных природоохранных ведомств. Эффективность создания городских систем медико-экологического мониторинга (мониторинга воздействия вредных факторов среды обитания на здоровье население) значительно повышается на базе применения современных геоинформационных технологий, обеспечивающих достаточный набор инструментов для сбора, анализа информации, составления прогнозов и принятия на их основе управленческих решений для минимизации экологического риска [1].

Целью данной работы является создание специализированного геоинформационно-аналитического комплекса для обеспечения задач медико-

экологического мониторинга и оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих городскую среду. В качестве модельного города выбран крупнейший промышленный центр Черноземья – город Воронеж с населением более 1 млн. человек.

Общая технологическая схема реализации задачи следующая: 1) создание программной среды для накопления, хранения и электронного картографирования данных мониторинга «среда-здоровье» (специализированной геоинформационной системы /ГИС/); 2) формирование информационного банка данных (БД), т.е. сбор и компьютерная обработка исходных данных по заданным критериям состояния окружающей среды и здоровья населения (например, с использованием данных фонда социально-гигиенического мониторинга Управления Роспотребнадзора и дополнительных экспериментальных эколого-аналитических исследований); 3) аналитические исследования для вы-

явления пространственно-временных закономерностей формирования очагов техногенного загрязнения и оценки риска здоровью; 4) интерпретация результатов и выработка рекомендаций, управленческих решений для минимизации экологического риска и улучшения экологической обстановки на территории города. Подобный ГИС-комплекс – основа автоматизированного рабочего места эколога-практика, объединяющего в единое целое информационную, аналитическую и управленческую задачи мониторинга «среда – здоровье» как важнейшие блоки единой системы городского экологического мониторинга.

Поэтапное решение данного комплекса задач позволило получить следующие основные результаты.

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

Созданная картографическая основа является полноценной цифровой картой и позволяет осу-

ществлять пространственную «привязку» любой тематической информации.

Стандартный функционал ГИС MapInfo Professional предоставляет возможность производить анализ имеющейся информации на основе ее графического представления. Наглядно показать это могут, например, тематические карты любых пространственно варьирующих параметров на основе опорных точек (узлов) мониторинга с использованием метода интерполяции. Для отображения пространственно варьирующих явлений особенно удобен метод изолиний (для характеристики загрязнения атмосферы, снежного покрова, почвы и других депонирующих сред).

Карты представляют собой интерполированную поверхность с изолиниями (созданными при помощи приложения «Поверхность»). В ГИС MapInfo используются два метода интерполяции – метод обратных взвешенных расстояний (*Inverse Distance Weighting – IDW*) и нерегулярной сети треугольников (*Triangulated Irregular Network – TIN*). По опыту построения подобных тематических поверхностей можно сделать вывод, что для карт, основывающихся на данных по точкам, независимым и не влияющим друг на друга (какими являются, например, данные загрязнения воздушного бассейна), к тому же, находящихся на значительном удалении друг от друга, более приемлемым методом *IDW* (пример загрязнения атмосферы формальдегидом – приоритетным загрязнителем атмосферы, обладающим выраженным канцерогенным эффектом, – показан на рис. 1). Эта технология позволяет получать вполне репрезентативную информации с любой точки уже готовой поверхности, что весьма удобно при экспериментальном и выборочно-статистическом обследовании города.

Помимо построения поверхностей ГИС MapInfo располагает богатым набором других инструментов для анализа информации БД. К ним следует отнести средства, позволяющие сортировать данные, производить выборку по заданному условию (создание *SQL-запросов*). Задание *SQL-запросов* находит применение при решении различных задач, например, этот инструмент будет полезен при необходимости выявления промышленных объектов, выброс загрязняющих веществ в атмосферу которых превышает нормативы ПДВ. Вся тематическая информация, присвоенная графическим объектам в слоях, созданных в MapInfo, представляется в виде таблиц (слой «*таблица*»). При этом, производя выборку определенных строк в таблице, можно видеть и сами объекты на карте,



Рис. 1. Карта загрязнения воздушного бассейна г. Воронежа формальдегидом (метод IDW-интерполяции).
Концентрация ($\text{мг}/\text{м}^3$): 5 – ($\geq 0,0215$); 4 – ($0,0165-0,0214$); 3 – ($0,0111-0,0164$);
2 – ($0,006-0,0110$); 1 – ($0,001-0,0059$)

которым соответствуют эти строки. Также можно просмотреть информацию об интересующих объектах, воспользовавшись инструментом «Информация». В том случае, если нужно вычислить статистические величины (например, 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 заданной 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 индекса загрязнения атмосферного воздуха по первичным экспериментальным данным загрязнения атмосферы. Также важной функцией является построение буферных зон (например, санитарно-защитных зон промышленных предприятий).

Описанные «штатные» инструменты и функции ГИС MapInfo предоставляют богатый выбор возможностей для анализа БД. Для расширения арсенала инструментов ГИС, необходимых в решении задач с использованием большого объема однотипных операций, производимых «вручную», целесообразно применять специальные языки

программирования. В среде MapInfo таким инструментом является MapBasic.

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

Формирование информационного банка данных. Важнейшим этапом в создании системы экологического мониторинга является сбор медико-экологической информации и формирование тематических БД. На первом этапе создания «МЕД-ЭКО ГИС» г. Воронежа основное внимание уделено формированию БД по загрязнению воздушного бассейна, поскольку предшествующие исследования показали достаточно высокую информативность атмосферных характеристик среди различных факторов риска здоровью населения г. Воронежа [2, 4, 7].

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

доставлена Испытательным лабораторным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области»).

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

По приоритетным загрязнителям (оксид углерода, оксид азота, диоксид азота, диоксид серы, пыль, фенол, сажа, формальдегид и некоторые другие ингредиенты) БД формировалась в электронной таблице Microsoft Excel и в дальнейшем «привязывалась» к картооснове. По источникам техногенного воздействия БД, 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: перечень основных улиц с указанием средней интенсивности движения автотранспорта (авт/час), выбросов загрязняющих веществ вдоль трассы в соответствии с категорией и грузонапряженностью (категории улиц и объемы выбросов загрязняющих веществ рассчитаны в зависимости от интенсивности движения автотранспорта, средней скорости транспортного потока, количества полос движения и длины дороги) [8].

Аналитические исследования и оценка риска здоровью населения. 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, приписан-

ных к предприятиям и организациям города [5]. Основными составляющими выхлопных газов являются оксиды углерода, азота, серы, углеводороды, взвешенные вещества, содержание которых возрастает в процессе эксплуатации автомобилей в связи с износом двигателей.

Существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха города Воронежа приносят и стационарные источники. По опубликованным данным Управления Росприроднадзора по Воронежской области /формы государственной статистической отчетности 2ТП (воздух) – «Сведения об охране атмосферного воздуха»/, в атмосферный воздух г. Воронежа от организованных (промышленных) источников поступает 343 загрязняющих вещества общим объемом выбросов около 10497 т/год [3].

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%); а веществ, для которых приняты ОБУВ, – 156 (45,4%) [3].

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») [5].

В ходе аналитических исследований динамики концентраций загрязняющих веществ по функционально-планировочным зонам города за период 2009-2013 гг. нами установлено, что наиболее опасные ситуации отмечаются в промышленных и транспортных функциональных зонах.

К числу приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха в промышленных и транспортных зонах следует отнести 5 из 16 контролируемых веществ, соотношение среднеарифметических значений максимально разовых концентраций которых к ПДК среднесуточным >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). В жилых функциональных зонах вызывает опасение присутствие в атмосферном воздухе оксида марганца и формальдегида. На рекреационно-рекреационных территориях отмечается вполне удовлетворительная ситуация [5].

Наиболее неблагоприятная ситуация характерна для транспортной функциональной зоны. Превышения ПДК максимально разовых 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. Для промышленной функциональной зоны также характерны превышения ПДК максимально разовых 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 максимально разовой) систематически 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 только взвешенных веществ. Такая информационная картина является закономерной и объясняется преобладанием вклада в уровень загрязнения воздушной среды автомобильного транспорта. Причем, из жилых функциональных зон наиболее неблагоприятная ситуация характерна для центральной исторической части города, вследствие высокой автотранспортной нагрузки в сочетании с исторически реализованными устаревшими приемами градостроительного проектирования, в том числе узкими проезжими частями автомагистралей, близким и плотным примыканием к ним зданий, что ухудшает условия рассеивания выхлопов от автотранспорта.

Выполненная оценка аэротехногенного риска для здоровья населения методически вполне согласуется с принятыми в мировой практике подходами. Основные положения 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» [6].

В соответствии с данной методологией для расчета уровней рисков применяются справочные величины, установленные экспериментальным

путем (SF – фактор канцерогенного потенциала $\text{мг}/(\text{кг}\cdot\text{сутки})^{-1}$; RfD – референтная доза – суточное воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья; RfC – референтная концентрация).

Канцерогенный риск (CR) в течение жизни определяется по формуле (1):

$$CR = ADD * SF, \quad (1)$$

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

Неканцерогенный риск (для воздушной среды) количественно оценивается на основе расчета коэффициента опасности (HQ) по формуле (2):

$$HQ = Ci/RfC, \quad (2)$$

где HQ – коэффициент опасности; Ci – средняя концентрация ($\text{мг}/\text{м}^3$); RfC – референтная (безопасная) концентрация, ($\text{мг}/\text{м}^3$).

С учетом однонаправленности воздействия веществ рассчитывается индекс суммарного эффекта, т.е. опасности присутствия множества загрязняющих веществ (CI или HI), в зависимости от характера суммируемых рисков по формулам (3) и (4):

$$CI = CR_1 + CR_2 + \dots + CR_n \quad (3)$$

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n, \quad (4)$$

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

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

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

С помощью инструмента MapBasic нами автоматизирован процесс оценки риска для здоровья населения, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха. На основе информации БД по техногенному загрязнению воздушного бассейна, средствами ГИС MapInfo осуществлена оценка потенциальной заболеваемости по индексам канцерогенного и неканцерогенного рисков для здоровья населения г. Воронежа в соответствии с алгоритмами формул (1-4). Для этой цели специально разработан программный модуль, реализующий количественные расчеты уровней риска для здоровья населения. Данный модуль представляет собой «Приложение», при запуске которого в горизонтальном меню MapInfo добавляется пункт «Риск», справа от меню «Справка», включающий три команды: «Создать таблицу Risks_MB», «Расчет экологического риска», а также «Выход», завершающий работу программы.

Первая команда меню «Создать таблицу Risks_MB» дает возможность создать новый слой в проекции данной карты. Слой включает в себя несколько графических объектов, расположение которых совпадает с местоположением постов мониторинговых наблюдений загрязнения атмосферы города. Вторая команда («Расчет экологического риска») вызывает одноименное диалоговое окно, включающее в себя нескольких выпадающих списков, в котором предлагается последовательно выбрать БД, на основе которой будет проводиться расчет, а также вид расчетного риска – канцерогенного или неканцерогенного. Разработанный модуль значительно оптимизирует и ускоряет процедуру оценки риска, а также устраняет вероятность совершения ошибок при «ручных» расчетах.

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 (более $1 * 10^{-4}$) отмечаются по воздействию оксида хрома (VI) и 1,3-бутадиена в основном в Левобережном секторе города вблизи ОАО «Воронежсинтезкаучук», где до сих пор жилая зона частично внедряется в санитарно-

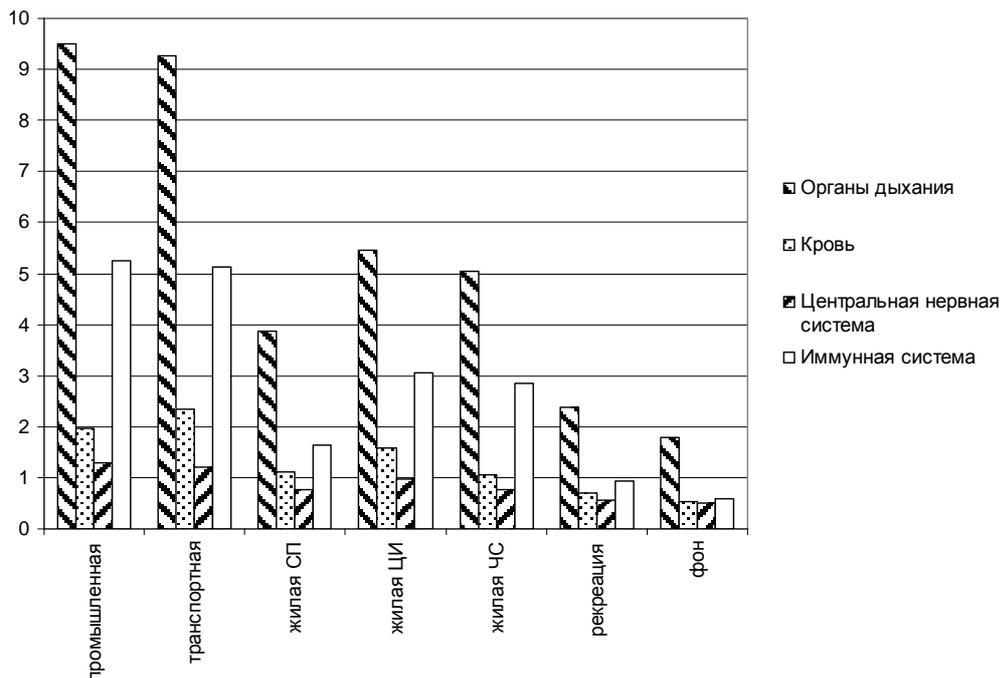


Рис. 2. Неканцерогенный риск, обусловленный однонаправленным воздействием загрязняющих веществ на критические органы и системы организма человека (индекс опасности – HI)

защитную зону предприятия, обуславливая повышенную канцерогенную опасность для населения.

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

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

При оценке однонаправленного воздействия веществ установлено, что неприемлемый уровень неканцерогенного риска ($HI > 1$) характерен для развития патологий органов дыхания, кроветворной системы, центральной нервной и иммунной систем (рис. 2).

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

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

Таким образом, реальная опасность для здоровья населения свидетельствует о необходимости совершенствования системы аэротехногенного мониторинга.

Разработка рекомендаций и управленческих решений по улучшению экологической обстановки и снижению риска для здоровья населения.

Созданный ГИС-комплекс может быть успешно использован в реализации автоматизированного медико-экологического мониторинга городской среды. Перспективы модернизации существующей системы мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа, в первую очередь, связаны с необходимостью расширения систематического контроля концентраций загрязняющих веществ более 16 ингредиентов, контролируемых в настоящее время; особенно это касается веществ, присутствующих в выхлопах автотранспорта, который формирует опасные риски загрязнения воздуха как в промышленных, так и в жилых зонах [2, 5]. Серьезную проблему представляют также

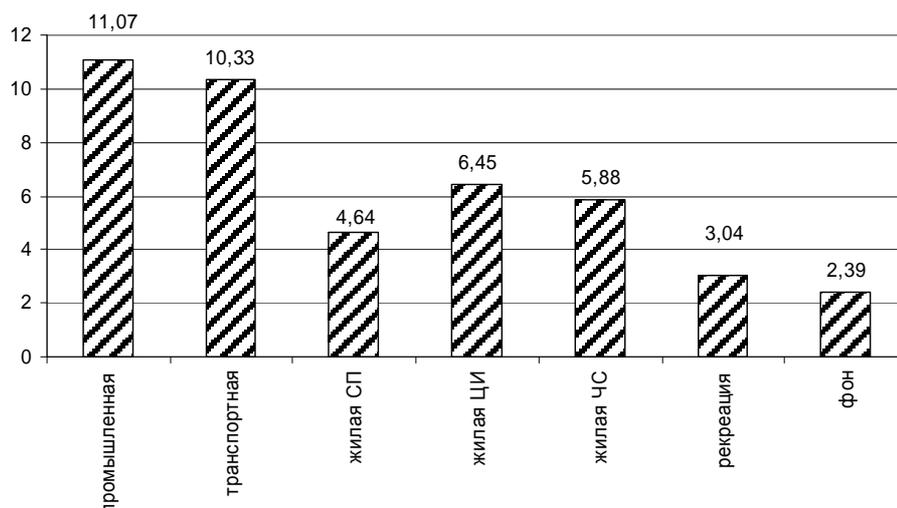


Рис. 3. Сумма коэффициентов опасности ($\sum HQ$), характеризующих неканцерогенный риск при хроническом ингаляционном воздействии

автомобильные «пробки», что способствует повышению концентраций загрязняющих веществ в приземном слое воздуха [8].

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 скоростных «транспортных коридоров» по типу современных «органических систем» городского транспорта во многих европейских городах, а также возврат к электротранспорту (скоростной трамвай); во-вторых, изменение топливного баланса в теплоэнергетической промышленности с полным переходом на газ в качестве топлива и, в-третьих, более интенсивное озеленение внутригородского пространства, создание ландшафтно-экологического каркаса с внедрением в состав посадок газоустойчивых зеленых насаждений (тополя, ясеня и др.), 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 и риск для здоровья населения.

(Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 14-054-00722_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов П. М. Применение геоинформационных технологий для обеспечения эффективного функционирования системы экологического мониторинга /

П. М. Виноградов // Экологическая оценка и картографирование состояния городской среды. – Воронеж, 2014. – С. 152-159.

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

3. 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>].

4. 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. Сер. География. Геоэкология. – 2009. – № 2. – С. 107-113.

5. Куролап С. А. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенного риска для здоровья населения / С. А. Куролап, О. В. Клепиков // Экологическая оценка и картографирование состояния городской среды. – Воронеж, 2014. – С. 71-94.

6. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920 - 04). – Москва : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

7. Экологическое зонирование города Воронежа с применением геоинформационных технологий / С. А. Епуринцев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2008. – № 1. – С. 68-77.

8. Якушев А. Б. Экологическая оценка воздействия автотранспорта на воздушный бассейн городов Центрального Черноземья / А. Б. Якушев, С. А. Куролап, М. А. Карпович. – Воронеж : Научная книга, 2013. – 207 с.

Виноградов Павел Михайлович

аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473)266-56-54, E-mail: vinpaul89@gmail.com

Куролап Семен Александрович

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473)266-56-54, E-mail: skurolap@mail.ru

Клепиков Олег Владимирович

доктор биологических наук, профессор кафедры инженерной экологии Воронежского государственного университета инженерных технологий, г. Воронеж, т. (473) 255-35-58, E-mail: klep1967@rambler.ru

Vinogradov Pavel Mikhailovitch

Post-graduate student of the chair of geoecology and environment monitoring, department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, E-mail: vinpaul89@gmail.com

Kurolap Semyon Alexandrovich

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the chair of geoecology and environmental monitoring, Department of geography, geoecology and tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, E-mail: skurolap@mail.ru

Klepikov Oleg Vladimirovich

Doctor of Biological Sciences, Professor of the chair of ecology engineering, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, tel. (473) 255-35-58, E-mail: klep1967@rambler.ru