

С. А. Куролап

(Воронежский государственный университет)

В 1980 г. окончил географический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова по специальности «география». В настоящее время — заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета. Доктор географических наук, профессор. Кандидат географических наук.

П. М. Виноградов

(Воронежский государственный университет)

В 2012 г. окончил географический факультет Удмуртского государственного университета по специальности «геодезия и геоинформатика». В настоящее время — аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета.

О. В. Клепиков (Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области)

В 1989 г. окончил технологический факультет Воронежской государственной технологической академии по специальности «охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». В настоящее время — заведующий отделением информационных технологий Центра гигиены и эпидемиологии Воронежской области. Доктор биологических наук, профессор.

Геоинформационно-аналитический комплекс для обеспечения медико-экологического мониторинга Воронежа

Современные крупные города — центры острейших экологических проблем, а техногенное загрязнение городской среды является объектом постоянного мониторинга региональных природоохранных ведомств. Эффективная организация городских систем медико-экологического мониторинга (мониторинга воздействия вредных факторов среды обитания на здоровье население) возможна лишь на базе современных геоинформационных технологий, предоставляющих достаточный набор инструментов для сбора и 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.

Разработка комплекса «МЕД-ЭКО ГИС» г. Воронежа осуществляется в программной среде ГИС MapInfo Professional. В качестве картографической основы использована топографическая карта г. Воронежа масштаба 1:20 000. Карта привязана к 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 (основными объектами этого слоя являются Воронежское водохранилище, постоянные и временные водотоки);

- жилые кварталы города (кварталы жилой городской застройки), разбитые на 3 функциональные зоны:

- центральная историческая часть города, включая общественно-деловую застройку и «старую» 5-этажную застройку 1950–1970-х гг.;

- кварталы с современной многоэтажной застройкой;

- частный сектор: преимущественно одноэтажная и коттеджная жилая застройка;

- промышленные зоны (площади, занятые промышленными предприятиями, и территории санитарно-защитных зон);

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

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

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

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

Важнейшим этапом в создании системы экологического мониторинга является сбор медико-экологической информации и формирование тематических баз 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, прогнозируемая заболеваемость населения).



Рис. 1. Цифровая карта Воронежа

БД по техногенному загрязнению воздушно-го бассейна состоит из двух частей: данные по концентрации загрязняющих веществ в атмосфере и в снежном покрове. 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 Воронежской области» и Воронежским ЦГМС — филиалом ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

БД по приоритетным загрязнителям (оксид углерода, оксид азота, диоксид азота, диоксид серы, пыль, фенол, сажа, формальдегид и некоторые другие ингредиенты) формировалась в электронной таблице Microsoft Excel, затем привязывалась к картооснове. БД по загрязнению снежного покрова создана по результатам химического анализа, проведенного в зимние периоды с 2012 по 2014 г. на базе учебно-научной эколого-аналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета. В ходе первого анализа (февраль 2013 г.) был произведен отбор 27 проб снега, условно распределенных по пяти функциональным зонам города с разной степенью техногенного воздействия. В феврале 2014 г. был произведен отбор 48 проб — почти в два раза больше. Информация по второй части БД также привязана к картооснове путем геокодирования химического анализа снежного покрова.

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 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 средней интенсивности движения автотранспорта (количество автомобилей в час), выбросов 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 [3].

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

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 находящимся на значительном удалении друг от друга, более приемлемым оказался метод IDW (рис. 2). Стоит отметить, что есть возможность получения информации из любого места уже готовой поверхности, что весьма удобно при отсутствии достаточно густой сети точек.

Помимо построения поверхностей, 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 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 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 (Toruscad, 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,

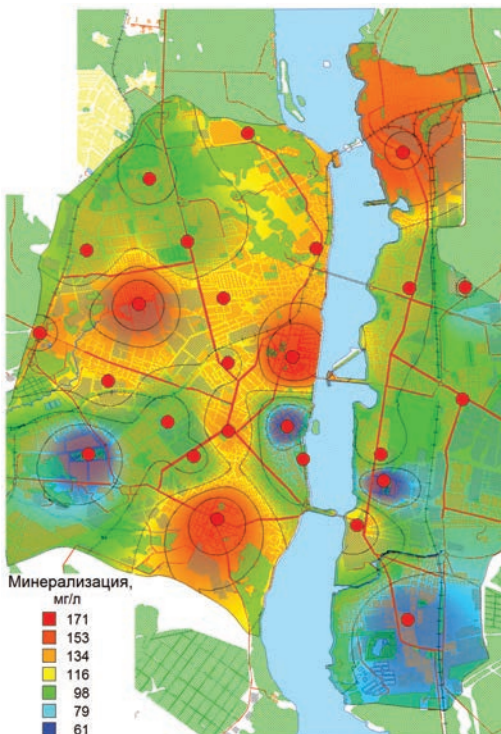


Рис. 2. Карта минерализации снеговых вод, построенная методом IDW-интерполяции

позволяющие переключать инструменты «Сдвиг» и «Выбор» нажатием специальных клавиш на клавиатуре компьютера. 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 жителей г. Воронежа. 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) [2]. Однако данная оценка предполагала совершение большого объема операций, что значительно увеличивало временные затраты на постоянное обновление и дополнение информации, особенно с учетом того факта, 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 команду «Выход», завершающую 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. Команда «Расчет экологического риска» вызывает одноименное диалоговое окно, включающее в себя несколько выпадающих списков. В окне

предлагается последовательно выбрать БД, на основе которой будет вестись расчет, и вид расчетного риска — канцерогенного или неканцерогенного (рис. 3). Разработанный модуль сводит к минимуму механический ручной труд, а также вероятность совершения ошибок при расчетах.

Характеристика неканцерогенного риска проводилась с двух позиций: острого и хронического воздействия. Для характеристики неканцерогенного риска от воздействия на организм химических веществ использован коэффициент опасности (HQ), который рассчитывается 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.

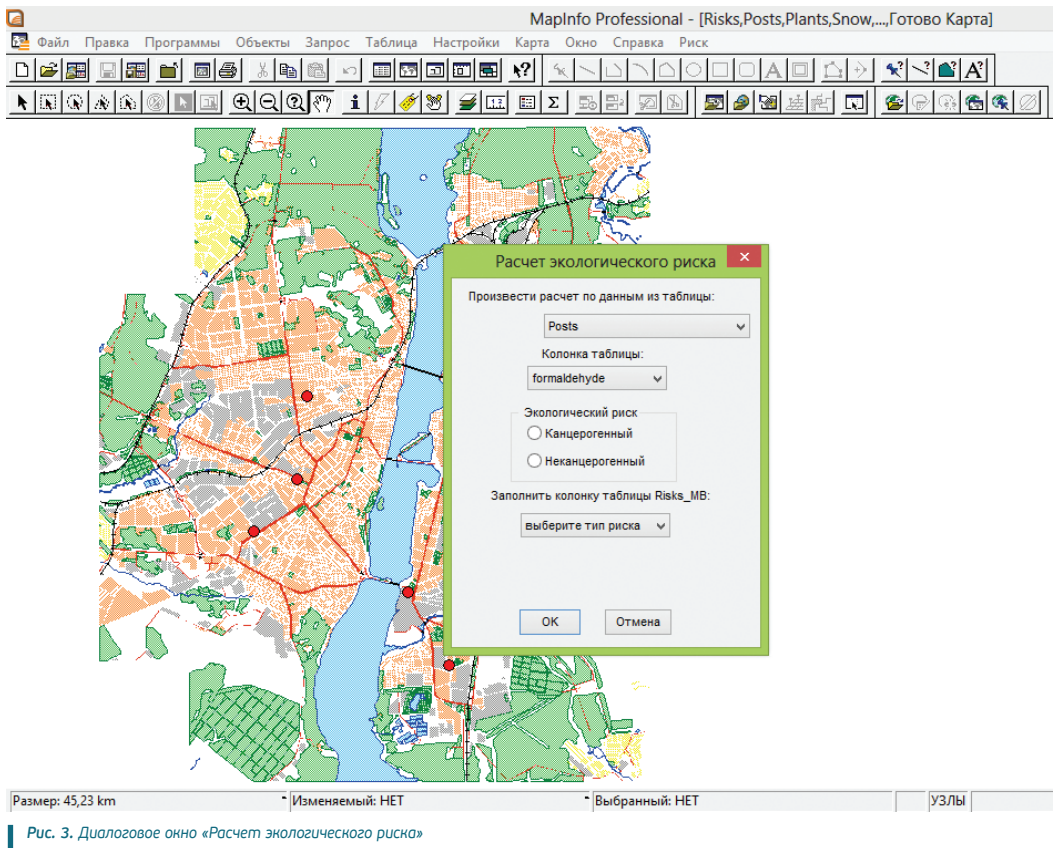
Риск острого воздействия оценивался по максимальным значениям разовых концентраций. Риск хронического воздействия оценивался по среднему арифметическому значению максимальных разовых концентраций.

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 [2].

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

При анализе данных по загрязнению воздушного бассейна за последние пять лет (2009–2013 гг.) выявлено, что наиболее неблагоприятная ситуация характерна для транспортной функциональной зоны.

Превышения ПДК в этой зоне отмечаются по содержанию оксида углерода, диоксида серы, диоксида азота, формальдегида, взвешенных веществ, фенола от 1,3 до 13,7 раза.

Для промышленной функциональной зоны также характерны превышения ПДК по содержанию оксида углерода, диоксида азота, формальдегида, взвешенных веществ, фенола от 1,2 до 5,3 раза.

В целом в транспортной зоне превышения ПДК отмечены по содержанию шести веществ, в промышленной зоне — пяти веществ, в центральной исторической жилой функциональной зоне — трех веществ (оксида углерода, диоксида азота, взвешенных веществ), в жилых зонах с современной мно-

гоэтажной застройкой и на территории частного сектора — по содержанию только 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 в центральной исторической жилой функциональной зоне, 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.

При оценке хронического воздействия установлено, что коэффициенты опасности, характеризующие неканцерогенный риск, превышали приемлемый уровень ($HQ > 1$) по 4 веществам (диоксид серы, диоксид азота, формальдегид, взвешенные вещества). Наиболее значительный неканцерогенный риск обусловлен присутствием в атмосферном воздухе формальдегида (HQ для промышленной, транспортной и жилой функциональной зоны соответственно 3,1; 3,1; 1,5–1,7).

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.

Превышения приемлемого уровня неканцерогенного риска ($HI > 1$) выявлены по следующим органам и системам: болезням органов дыхания (HI — до 9,50 в промышленной функциональной зоне), нарушениям иммунной системы (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, неблагоприятнее выражено в промышленной и транспортной функциональных зонах: содержание вредных веществ выше фонового значения в 4,6 и 4,3 раза соответственно.

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, составляющего для загрязнителей атмосферного воздуха $1 \cdot 10^{-4}$, т. е. одного случая онкологического заболевания на 10 тыс. человек) отмечаются по воздействию оксида хрома (VI) и 1,3-бутадиена.

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 ($4,38 \cdot 10^{-3}$).

Таким образом, созданный геоинформационно-аналитический комплекс может быть успешно использован в реализации автоматизированного экологического мониторинга городской среды. 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 эффективных управленческих решений в сфере обеспечения экологической безопасности города.

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 из них, что требует расширения спектра контролируемых веществ. 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 [3]. Серьезную проблему представляют собой также автомобильные пробки, что способствует 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 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.

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, улучшением качества дорожного покрытия, увеличением 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 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куролап С. А. *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. *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.

3. 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.