УДК 504.06

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

М.В.ВОЛКОДАЕВА, *д-р техн. наук, профессор, m.volkodaeva@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Изучены возможности применения современных геоинформационных систем (ГИС) для задач оптимизации размещения станций мониторинга качества атмосферного воздуха. Оценка уровней концентраций атмосферных примесей является информационной основой для принятия решений по улучшению качества атмосферного воздуха, необходимости проведения финансово-затратных атмосфероохранных мероприятий, контроля реализации этих решений и оценке эффективности осуществляемых мероприятий, поэтому столь важная роль принадлежит показателям качества атмосферного воздуха, а значит, корректному размещению станций мониторинга. Результаты модельных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, которые в последнее время развиваются в нашей стране, в сочетании с возможностями ГИС, предлагается использовать для выбора оптимальных мест размещения станций мониторинга качества атмосферного воздуха.

Одним из основных условий для объективной оценки состояния атмосферного воздуха городов является корректная привязка промышленных и автотранспортных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух к топографической основе города (как в общегородской, так и в локальной системах координат), а также выбор месторасположения станций мониторинга качества атмосферного воздуха и приоритетных для конкретного района города контролируемых примесей. Даны рекомендации по размещению постов мониторинга и примесей, необходимых для инструментального контролирования в одном из городов, основанные на анализе с использованием ГИС пространственного распределения максимальных приземных концентраций.

Ключевые слова: мониторинг качества атмосферного воздуха, геоиформационные системы, модельные расчеты загрязнения атмосферного воздуха.

В 2013 г. исполнилось 50 лет системе наблюдения за качеством атмосферного воздуха в Российской Федерации. В настоящее время наблюдательная сеть Росгидромета включает 631 станцию и 150 лабораторий в 223 городах России [12]. Наблюдения за качеством окружающей среды осуществляются также территориальными органами Роспотребнадзора, другими ведомствами при участии органов исполнительной власти субъектов РФ и местного самоуправления. Сохранение и развитие наблюдательной сети является важнейшим аспектом выполнения российского природоохранного законодательства, в частности Закона об охране атмосферного воздуха [11].

Правила организации наблюдений за уровнем загрязнения атмосферы в городах и населенных пунктах изложены в [4]. Наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы осуществляют на постах. Постом наблюдения является выбранное место (точка местности), на котором размещают павильон или автомобиль, оборудованные соответствующими приборами.

Устанавливаются посты наблюдений трех категорий: стационарные, маршрутные, передвижные (подфакельные). В соответствии с [4] количество стационарных постов зависит

от численности населения, не менее: 1 пост – до 50 тыс. жителей; 2 поста – 100 тыс. жителей; 2-3 поста – 100-200 тыс. жителей; 3-5 постов – 200-500 тыс. жителей; 5-10 постов – более 500 тыс. жителей; 10-20 постов (стационарных и маршрутных) – более 1 млн жителей.

Следует отметить, что в 2014 г. количество стационарных постов (от 10 до 20) соответствует ГОСТу, который был утвержден почти 30 лет назад, только в четырех городах-миллионниках: Москве (17 постов), Санкт-Петербурге (20 постов), Самаре (16 постов), Казани (10 постов). Во многих городах страны не ведутся регулярные наблюдения за качеством атмосферного воздуха, количество постов загрязнения атмосферы не только не увеличивается, но и сокращается [6]. Не охвачен инструментальным мониторингом качества атмосферного воздуха ни один из городов республик: Адыгея, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Чечня, Калмыкия, Марий Эл, Алтай, Ненецкий АО, Чукотский АО. Так, в РФ насчитывается 779 городов с населением до 50 тыс.человек, где должен был бы располагаться хотя бы один пост контроля загрязнения атмосферы. Однако в 95 городах расположен единственный пост мониторинга качества атмосферного воздуха, хотя это вовсе не значит, что в этих городах проживает менее 50 тыс.человек. По одному стационарному посту имеется в областных городах Тверь (более 400 тыс.жителей), Псков (более 200 тыс.жителей), столицы Республики Карелия – Петрозаводске (более 250 тыс.жителей). Ежегодно публикуется список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы [6], анализ повышенного уровня загрязнения атмосферы и включение города в этот «приоритетный» список проводятся по данным единственного поста мониторинга качества атмосферного воздуха (п. Восточный, Минусинск, Норильск, Ханты-Мансийск, Чегдомын, Черногорск). Это может быть не совсем корректно, так как данные инструментального мониторинга одного поста, расположенного в конкретном месте, не могут характеризовать распределение концентраций загрязняющих веществ по всей территории города.

Таким образом, увеличение количества стационарных постов контроля загрязнения атмосферы – одна из актуальных задач развития экологического мониторинга.

По данным ФГБУ «ГГО им. А И.Воейкова» [7], получение информации о загрязнении атмосферного воздуха на сети Росгидромета в основном ориентировано на отбор проб воздуха в поглотительные приборы и на аэрозольные фильтры – ручные методы химического состава атмосферного воздуха. В настоящее время остро встают вопросы модернизации сети – применение на сети наблюдений Росгидромета новых технических средств измерений – автоматических пробоотборных устройств и газоанализаторов, автоматизированных станций и систем. В [7] представлены основные требования к газоанализаторам, пробоотборным устройствам, к образцовым средствам измерений, общие требования к стационарному посту наблюдений за загрязнением атмосферы.

Основные направления развития наблюдательной сети в соответствии со Стратегией деятельности в области гидрометеорологии [9]:

• проведение регулярных наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха и их оптимизация путем увеличения частоты наблюдений, расширения до международных требований перечня определяемых вредных примесей с учетом выбросов в атмосферу от источников загрязнения в городах с населением свыше 100 тыс. жителей и крупных промышленных центрах;

• поэтапное внедрение автоматизированных систем непрерывного измерения содержания основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов.

Однако ни в [7], ни в [9] нет никаких конкретных рекомендаций по размещению станций мониторинга на территории городов и перечню примесей.

Общие принципы построения системы мониторинга и методы наблюдений регламентированы. Число постов и их размещение определяется с учетом численности населения, площади населенного пункта и рельефа местности, а также развития промышлен-

ности, сети магистралей с интенсивным транспортным движением и их расположением по территории города, рассредоточенности мест отдыха и курортных зон. В населенных пунктах устанавливают один стационарный или маршрутный пост через каждые 0,5-5 км с учетом сложности рельефа и наличия значительного количества источников загрязнения [4, 10].

По сути, даны общие рекомендации, но не понятно: что значит с учетом? Какая интенсивность движения транспорта должна быть? Какой рельеф? Что понимается под значительным количеством источников загрязнения? С другой стороны, в документе, рассчитанном на использование во всех городах страны, очень трудно дать конкретные рекомендации, так как пространственное распределение приземных концентраций в разных городах может быть существенно разным для различных примесей. Поэтому могут различаться и конфигурации соответствующих наблюдательных сетей. Оценка уровней концентраций атмосферных примесей является информационной основой для принятия решений по улучшению качества атмосферного воздуха, необходимости проведения финансово-затратных атмосфероохранных мероприятий, контроля реализации этих решений и оценке эффективности осуществляемых мероприятий, поэтому столь важную роль играет показатель качества атмосферного воздуха, а значит, корректное размещение станций мониторинга. Станции мониторинга качества атмосферного воздуха должны давать максимально достоверную информацию об уровне концентраций на репрезентативных участках в местах максимально возможного загрязнения атмосферного воздуха. В противном случае будут приниматься необоснованно дорогостоящие природоохранные мероприятия, которые в лучшем случае будут бесполезны, а в худшем – усугубят экологическую обстановку.

В последние годы, в условиях развития современных геоинформационных технологий, использование ГИС является актуальным не только в градостроении и муниципальном управлении, проектировании, строительстве и эксплуатации объектов, кадастрах (земельном, водном, лесном, недвижимости и т.д.), политике и управлении государством, обороне, безопасности при чрезвычайных ситуациях, здравоохранении, торговле и маркетинге, но и в области атмосфероохранной деятельности.

Геоинформационная технология – совокупность приемов, способов и методов применения программно-технических средств обработки и передачи информации, позволяющая реализовать функциональные возможности геоинформационных систем [5].

Геоинформационная система (ГИС) – это набор компьютерного оборудования, географических данных и программного обеспечения для сбора, обработки, хранения, моделирования, анализа и отображения всех видов пространственно привязанной информации. В отличие от обычных бумажных или отсканированных карт, только с помощью электронной топографической карты города, можно учесть весь объем информации о множестве слоев разнообразной общегеографической и тематической информации о городе, в том числе об источниках загрязнения атмосферы, уровнях загрязнения атмосферного воздуха и т.д.

В ГИС осуществляется комплексная обработка информации – от ее сбора до хранения, обновления и представления.

В качестве основных ГИС можно использовать: ArcView GIS; MapInfo Professional; AutoCAD и др.

С помощью ГИС можно моделировать влияние и распространение загрязняющих веществ (ЗВ) от источников выбросов, а результаты модельных расчетов совмещать с цифровыми картографическими материалами, такими как топографические карты жилых массивов города, спутниковыми и аэрофотоснимками, расширяющими область анализа полученных данных.

Результатом модельных расчетов являются поля максимальных концентраций в приземном слое воздуха по всему спектру веществ, выбрасываемых всеми источниками загрязнения города (промышленность, энергетика, транспорт и т.д.). Максимальные приземные концентрации рассчитываются по формулам ОНД-86 [8] по данным о параметрах ис-

точников выбросов вредных (загрязняющих) веществ и данным о характеристиках рассеивания загрязняющих веществ в воздушном бассейне городов. В каждой расчетной точке определяется максимальная по направлениям и скоростям ветра концентрация примеси. Поскольку максимальные приземные концентрации рассчитываются с учетом неблагоприятных направлений ветра, корректная привязка и ориентация в пространстве источников выбросов являются гарантом более точного расчета максимальных приземных концентраций. Без использования возможностей современных ГИС выполнение корректной привязки промышленных и автотранспортных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух к топографической основе города (как в общегородской, так и в локальной системах координат) практически невозможно [2, 3].

В современных ГИС однородные пространственные объекты представляются в виде различных тематических слоев и интегрируются по географическому признаку с наложением друг на друга. К таким объектам, например, относятся:

– аэрокосмические фотоснимки;
– дорожная сеть;
– здания и сооружения, относящиеся как к промышленности, так и к жилой застройке;
– источники выбросов загрязняющих веществ;
– изолинии и поля концентраций вредных веществ.

Схематично наложение различных слоев представлено на рис.1.

Результаты модельных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, которые в последнее время развиваются в нашей стране [1], в сочетании с возможностями ГИС предлагается использовать для развития существующей системы инструментального мониторинга качества атмосферного воздуха.

Так как вся исходная информация (расположение источников выбросов, длина дорог или площадь особоохраняемых территорий и др.) хранится в отдельных слоях в цифровом виде, и все эти географические данные рассортированы по слоям, в любой момент можно включить или отключить отображение любого из слоев, поменять их очередность в зави-

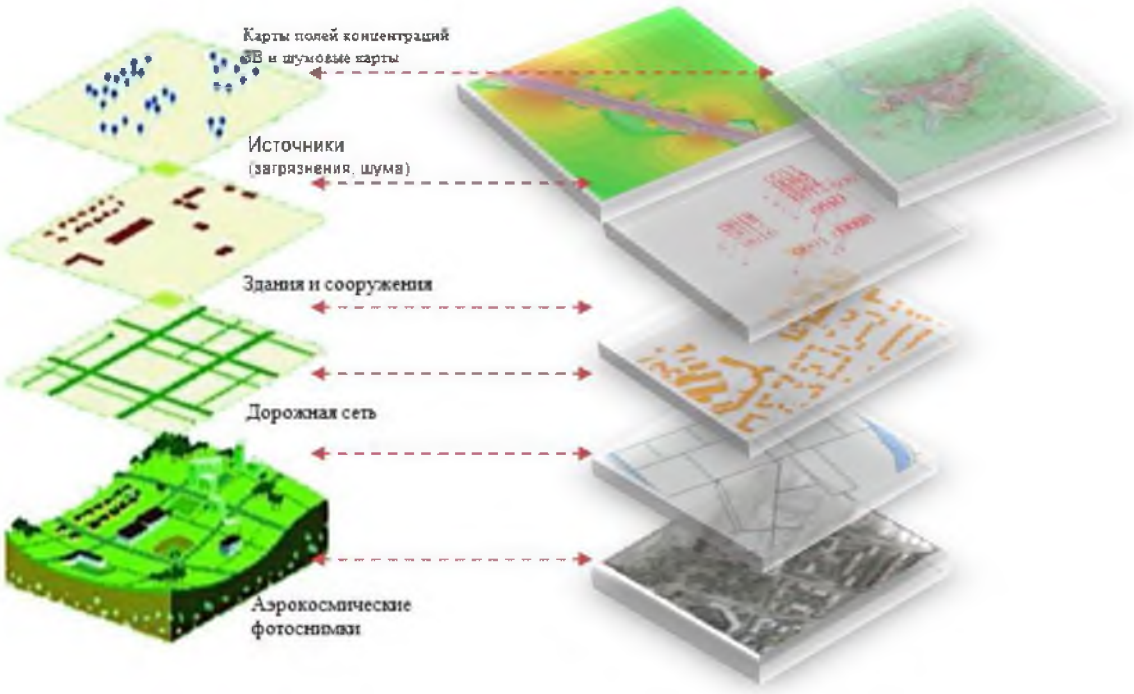


Рис.1. Слои, используемые в работе с ГИС, для решения задач экологического мониторинга

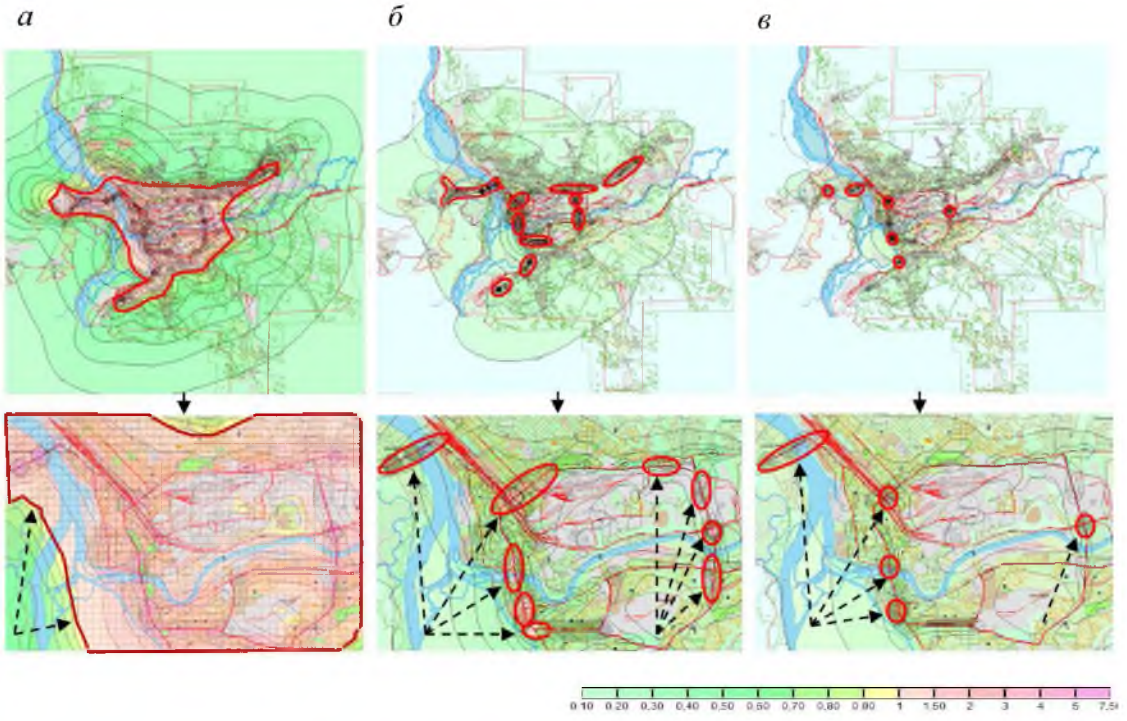


Рис.2. Поле максимальных приземных концентраций: *а* – диоксид азота; *б* – оксид углерода; *в* – формальдегид в долях ПДК

симости от решаемых задач и вопросов. При этом всегда можно контролировать объем и полноту отображаемой на карте информации, проводить комплексный пространственный анализ и моделирование имеющихся данных. Каждый слой, в том числе и поля максимальных приземных концентраций по каждому загрязняющему веществу, представляет свой тип объектов (тему), темы можно накладывать друг на друга и получать комплексную информацию по данной территории, в том числе и информацию о суммарном загрязнении атмосферного воздуха всеми загрязняющими веществами в любой точке по всей территории города. Далее, анализируя суммарное загрязнение атмосферы в различных районах города, можно определять место для размещения станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и примеси, которые следует контролировать с учетом вклада различных источников выбросов в суммарный уровень загрязнения атмосферного воздуха.

В качестве иллюстрации использования ГИС и результатов модельных расчетов для задач оптимизации размещения станций мониторинга по контролю за загрязнением атмосферного воздуха представим рекомендации по размещению дополнительных постов мониторинга качества атмосферного воздуха в одном из городов РФ. В атмосферу этого города из всех источников выбросов (более 4 000) поступает 209 вредных (загрязняющих) веществ, по которым были проведены расчеты максимальных приземных концентраций. На рис.2 показана схема анализа графических материалов с использованием ГИС с выявлением особо загрязненных городских территорий, в том числе в жилых и рекреационных зонах, требующих особого контроля качества атмосферного воздуха, по трем загрязняющим веществам: диоксиду азота, оксиду углерода, формальдегиду. Красным цветом выделены границы зон с повышенным уровнем загрязнения атмосферы в различных масштабах.

На основе анализа территориального распределения совокупности концентраций вредных (загрязняющих) веществ предлагается инструментально контролировать в атмосферном воздухе города 12 веществ: азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, углерода оксид, ксилол, толуол, бенз(а)пирен, формальдегид, уайт-спирит, взвешенные вещества с размером частиц < 10 мкм (PM10) и < 2,5 мкм (PM25), сумму взвешенных веществ (см. таблицу).

Примеси, по которым рекомендуется проводить измерения на автоматических стационарных постах по контролю за загрязнением атмосферного воздуха города

Назначение дополнительного поста	Номер поста	Местоположение и примерные адрес и координаты в городской системе координат	Загрязняющие вещества
«Промышленный» пост автоматический стационарный (вблизи промышленных предприятий)	П.1	Жилая зона для учета совместного влияния выбросов от автотранспорта и основных предприятий теплоэнергетики и железнодорожного транспорта	Азота диоксид Азота оксид Озон Сера диоксид Углерод оксид Ксилол Толуол Бенз(а)пирен Формальдегид Уайт-спирит PM 10 PM 2,5 Взвешенные вещества
	П.2	Жилая зона, рядом с детским садом, для учета влияния выбросов от основного машиностроительного предприятия города	Азота диоксид Азота оксид Озон Сера диоксид Углерод оксид Ксилол Бенз(а)пирен Формальдегид PM 10 PM 2,5 Взвешенные вещества
Передвижной (мобильный) или стационарный пост	М.1	Жилая зона, рядом со школой и общежитием, или в 500 м юго-западнее от них для учета влияния выбросов от основных предприятий строительства и промышленности стройматериалов	Азота диоксид Азота оксид Озон Сера диоксид Углерод оксид Ксилол Бенз(а)пирен Формальдегид PM 10 PM 2,5 Взвешенные вещества
	М.2	Жилая зона, рядом со школой и общежитием, или в 500 м юго-западнее для учета влияния выбросов от основных предприятий теплоэнергетики, строительства и промышленности стройматериалов (бетона, железобетонных изделий и т.п.), а также выбросов автотранспорта	Азота диоксид Азота оксид Озон Сера диоксид Углерод оксид Бенз(а)пирен Формальдегид PM 10 PM 2,5 Взвешенные вещества

Предлагается разместить четыре автоматических стационарных поста по контролю за загрязнением атмосферного воздуха в различных районах города. В таблице показаны назначение и месторасположение постов, а также загрязняющие вещества, рекомендуемые к измерению.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волкодаева М.В.* Тенденции и перспективы развития комплексных (сводных) расчетов показателей воздействия выбросов загрязняющих веществ, характеризующих воздействие на качество атмосферного воздуха / М.В.Волкодаева, Я.С.Канчан // Проблемы региональной экологии. М., 2008. № 6. С.127-131.

2. *Волкодаева М.В.* Геоинформационные системы и их практическое применение при проведении расчетов загрязнения атмосферного воздуха / М.В.Волкодаева, А.В.Лёвкин, М.М.Полуэктова // Проблемы охраны атмосферного воздуха: Сб. тр. / НИИ «Атмосфера». СПб, 2009. С.169-178.

3. *Волкодаева М.В.* Использование результатов сводных расчетов для совершенствования систем качества мониторинга атмосферного воздуха в городах / М.В.Волкодаева, А.В.Лёвкин // Ученые записки РГГМУ. СПб, 2012. № 26. С. 27-31.

4. ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. М.: Изд-во стандартов, 1986. 4 с.

5. ГОСТ Р 52438-05. Географические информационные системы. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2005. 15 с.

6. Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2012» / Под ред. Э.Ю.Безуглая / Росгидромет. М., 2013. 247 с.

7. Методическое письмо «Обзор состояния работ по мониторингу загрязнения атмосферного воздуха в 2013 году». СПб, 2014. 136 с. http://www.voeikovmgo.ru/ru/

8. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 93 с.

9. Распоряжение Правительства РФ от 3 сентября 2010 г. № 1458-р «Стратегия деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 г. (с учетом аспектов изменения климата)» / Гидрометцентр России. М., 2010 (http://www.mcc.meteorf.ru).

10. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.:Гидрометиздат, 1991. 693 с.

11. Федеральный закон от 04.05.99 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (с изменениями на 13 июля 2015 г.) // Российская газета 13.05.99. № 91.

12. *Цатуров Ю.С.* 50 лет. Как это было. Этапы. Итоги // Сборник научно-практической конференции «Загрязнение атмосферы городов». СПб, 2013. С.5-9.

REFERENCES

1. *Volkodaeva M.V., Kanchan Ya.S.* Tendentsii i perspektivy razvitiya kompleksnykh (svodnykh) raschetov pokazatelei vozdeistviya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv, kharakterizuyushchikh vozdeistvie na kachestvo atmosfernogo vozdukha (*Trends and prospects of complex (summary) calculations of indicators of emissions impact on air quality. Problems of regional ecology*). Problemy regional'noi ekologii. Moscow, 2008. N 6, p.127-131.

2. *Volkodaeva M.V., Levkin A.V., Poluektova M.M.* Geoinformatsionnye sistemy i ikh prakticheskoe primenenie pri provedenii raschetov zagryazneniya atmosfernogo vozdukha (*Geographic information systems and their practical application for air pollution calculations*). Problemy okhrany atmosfernogo vozdukha: Sb. tr. NII «Atmosfera». St Petersburg, 2009, p.169-178.

3. *Volkodaeva M.V., Levkin A.V.* Ispol'zovanie rezul'tatov svodnykh raschetov dlya sovershenstvovaniya sistem kachestva monitoringa atmosfernogo vozdukha v gorodakh (*Use of results of air pollution calculations for improvement of system of urban atmospheric air quality monitoring*). Uchenye zapiski RGGMU. St Petersburg, 2012. N 26, p.27-31.

4. GOST 17.2.3.01-86 Okhrana prirody. Atmosfera. Pravila kontrolya kachestva vozdukha naselennykh punktov (*GOST 17.2.3.01-86. Rules of air quality monitoring in populated localities*). Moscow: Izd-vo standartov, 1986, p.4.

5. GOST R 52438-05. Geograficheskie informatsionnye sistemy. Terminy i opredeleniya (*GOST R 52438-05. Geographic information systems. Terms and definitions*). Moscow: Standartinform, 2005, p.15.

6. Ezhegodnik Sostoyanie zagryazneniya atmosfery v gorodakh na territorii Rossii za 2012 (*An annual report on urban air pollution in Russia in 2012*). Edited by E.Yu.Bezuglaya. Rosgidromet. Moscow, 2013, p.247.

7. Metodicheskoe pis'mo «Obzor sostoyaniya rabot po monitoringu zagryazneniya atmosfernogo vozdukha v 2013 godu» (*A prosidual letter «A review of atmospheric air pollution monitoring in 2013»*). Saint Petersburg, 2014, p.136. http://www.voeikovmgo.ru/ru/

8. OND-86. Metodika rascheta kontsentratsii v atmosfernom vozdukhe vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatii (*OND-86. A method of calculation of harmful substances concentrations in atmospheric air due to industrial emissions*). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, p. 93.

9. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 3 sentyabrya 2010 g. № 1458-r «Strategiya deyatel'nosti v oblasti gidrometeorologii i smezhnykh s nei oblastyakh na period do 2030 g. (s uchetom aspektov izmeneniya klimata) (*Russian Federation Government Decree of September 3, 2010 № 1458-r «Strategic actions in the field of hydrometeorology and related areas for the period up to 2030 (taking into account climate change aspects)»*). Gidromettsentr Rossii. Moscow, 2010 (http://www.mcc.meteorf.ru).

10. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery (*RD 52.04.186-89. Guidelines for air pollution monitoring*). Moscow: Gidrometizdat, 1991, p.693.

11. Federal'nyi zakon ot 04.05.99 № 96-FZ «Ob okhrane atmosfernogo vozdukha» (s izmeneniyami na 13 iyulya 2015) (*Federal law of 04.05.99 No. 96-FZ «On amospheric air protection»*). Rossiiskaya gazeta 13.05.99. N 91.

12. *Tsaturov Yu.S.* 50 let. Kak eto bylo. Etapy. Itogi (*50 years. How it happened. Stages. Results*). Sbornik nauchno-prakticheskoi konferentsii «Zagryaznenie atmosfery gorodov». St Petersburg, 2013, p.5-9.

USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR OTPIMIZED DISTRIBUTION OF STATIONS OF ATMOSPHERIC AIR QUALITY MONITORING

M.V.VOLKODAEVA, *Dr. of Engineering Sciences, Professor, m.volkodaeva@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

The article deals with possible applications of modern geographic information systems for optimized distribution of stations of atmospheric air quality monitoring. Due to the fact that estimation of atmospheric pollutant concentrations is a reason for decisions to improve air quality, costly measures to protect the atmosphere and monitoring effectiveness of these actions, atmospheric air quality indicators, and therefore the proper distribution of monitoring stations, are of great importance. Results of model calculations of atmospheric air pollution, which have been recently developed in our country, in combination with GIS solutions, should be used for optimized distribution of stations of atmospheric air quality monitoring.

One of the major factors of objective estimation of urban atmospheric air quality is proper reference of industrial and transport pollutant emission sources to the city's topographic base (both in city-wide and local coordinate systems), as well as distribution of stations of atmospheric air quality monitoring and selection of high-priority pollutants for a particular city district. Some recommendations for monitoring stations distribution and pollutants selection based on the GIS analysis of spatial distribution of maximum ground level concentrations of pollutants are given.

Key words: monitoring of atmospheric air quality, geographical information system, model calculations of air pollution.