DOI: 10.25515/PMI.2017.6.738

УДК 504.3.054.001.5

ОЦЕНКА ПЛОЩАДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В МЕГАПОЛИСЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

М.А.ПАШКЕВИЧ, Т.А.ПЕТРОВА
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

В статье предложены подходы к оценке состояния атмосферного воздуха в мегаполисах на примере района Санкт-Петербурга. Приведены результаты натурных наблюдений за качеством атмосферного воздуха, проведенных с помощью передвижной экологической лаборатории Горного университета. Проведен анализ распределения во времени концентраций основных загрязнителей атмосферного воздуха в мегаполисе, представленных оксидами азота, аммиака, углерода, диоксидом серы, сероводородом, метаном, суммарными углеводородами. Описан способ интерпретации данных мониторинга атмосферного воздуха с использованием площадного распределения концентраций загрязняющих веществ. Предложены пути решения проблемы загрязнения атмосферного воздуха на конкретных территориях мегаполиса с использованием геоинформационных систем, позволяющих моделировать площадные загрязнения.

Ключевые слова: атмосферный воздух, экологический мониторинг, геоинформационные системы, загрязнители атмосферного воздуха, моделирование площадного загрязнения

Как цитировать эту статью: Пашкевич М.А. Оценка площадного загрязнения атмосферного воздуха в мегаполисе с использованием геоинформационных систем / М.А.Пашкевич, Т.А.Петрова // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 738-742. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.738

Введение. Одной из острейших экологических проблем современности является состояние качества атмосферного воздуха в крупных мегаполисах и промышленных агломерациях [2, 8, 10]. Для ряда городских территорий загрязнение воздушной среды достигает критических размеров [7, 9, 12]. Около половины населения Российской Федерации проживает в городах с превышением допустимых норм загрязненности воздуха в селитебных территориях [1, 4, 5].

В настоящее время общепринятым подходом к оценке экологической ситуации в городе является усреднение результатов наблюдений по всей территории, что не позволяет отдельно выделить участки с повышенной антропогенной нагрузкой, требующие первоочередных мер и капиталовложений по улучшению качества окружающей среды.

Санкт-Петербург занимает третье место после Норильска и Москвы по загрязнению атмосферного воздуха в России – выбросы в атмосферный воздух составляют 488 тыс. т в год. Основным источником загрязнения атмосферы является высокая транспортная нагрузка. На долю автомобильного транспорта приходится 85,9 % выбросов мегаполиса [3]. По статистике 96 % жителей Санкт-Петербурга проживает в условиях высокой степени загрязнения атмосферы.

Постановка проблемы. Экологическая безопасность населения Санкт-Петербурга должна обеспечиваться путем повышения эффективности регулирования и снижения негативных последствий техногенного воздействия на атмосферный воздух. В этой связи точная и оперативная оценка качества атмосферного воздуха, проведенная с учетом всех климатических, атмохимических и ландшафтных особенностей территории Санкт-Петербурга, позволит разработать комплекс экономически выгодных и экологически эффективных мероприятий. Для анализа и точного расчета уровня загрязнения атмосферы необходимо привлечение математического аппарата и ГИС технологий.

Эффективный контроль за состоянием атмосферного воздуха не может быть осуществлен без достоверной информации о концентрации того или иного загрязнителя в любой точке пространства в любой момент времени [1, 6, 11, 13]. В то же время организация физического мониторинга в реальном времени либо невозможна, либо очень дорога. В связи с этим целью проводимых исследований является регулирование негативного воздействия на атмосферный воздух в Санкт-Петербурге на основе разработки механизма экологического мониторинга и построения модели пространственно распределенных данных натурных наблюдений с использованием методов математического моделирования.

Основными задачами проводимых мониторинговых исследований состояния атмосферного воздуха в мегаполисе являются:

• определение источников, факторов и уровня загрязнения;

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.738

• наблюдения за уже выявленными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;

• наблюдения за опасными антропогенными процессами как вероятными источниками загрязнения;

• оценка фактического состояния атмосферного воздуха;

• прогнозирование загрязнения воздушного бассейна и пути улучшения ситуации;

• выбор основных загрязнителей атмосферы с учетом ретроспективных наблюдений и данных о фоновых показателях.

Результаты достоверных, корректно проводимых продолжительных наблюдений, статистическая обработка полученных результатов и определение основных параметров загрязнения воздушного бассейна позволяют не только определить реальное состояние атмосферного воздуха, но и оценить эффективность природоохранных мероприятий, скорректировать перечень приоритетных загрязнителей и определить вклад различных источников в общее загрязнение атмосферы и регулирование выбросов загрязняющих веществ.

В качестве модельного объекта исследования выступала территория Васильевского острова. Отбор проб проводился в шести точках, их расположение представлено на рис.1.

Методология. Для проведения детального мониторинга атмосферного воздуха на территории Васильевского острова использовались маршрутные посты наблюдения, назначение которых – регулярный отбор проб атмосферного воздуха, поскольку с экономической точки зрения для обследования территории мегаполиса этот вариант является наиболее приемлемым по сравнению с установкой стационарного поста.

Репрезентативность наблюдений (подлинность получаемой информации) за состоянием воздушного бассейна определяется правильностью расположения маршрутного поста, который устанавливается в местах, определенных благодаря проведению рекогносцировочных обследований, т.е. предварительного исследования состояния воздушной среды и изучения метеорологических условий.

Для этого проводилось обследование территории с помощью передвижных средств по сетке с шагом 1000 м. В узлах сетки производился отбор среднесуточных проб (4 разовые пробы в течение суток через равные промежутки времени). Пробы исследовались на содержание в атмосферном воздухе оксидов азота (NO_2), аммиака (NH_3), углерода (CO), диоксида серы (SO_2), сероводорода (H_2S), метана (CH_4), углеводородов (C_nH_m).

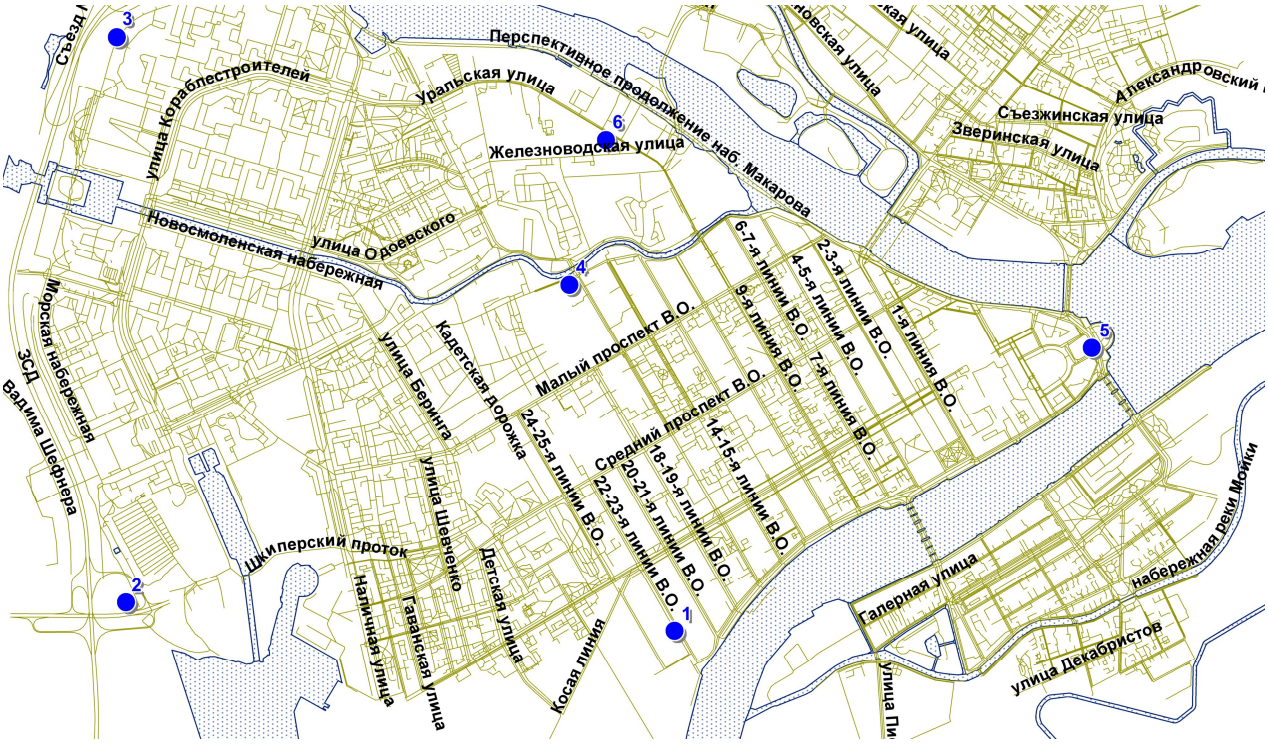


Рис.1. Расположение точек контроля

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.738

Для проведения исследований качества атмосферного воздуха привлекалась передвижная экологическая лаборатория Горного университета. Передвижная лаборатория предназначена для отбора проб, проведения измерений и обработки данных экипажем как в автономном режиме, так и для доставки образцов проб и данных на место дальнейшей стационарной обработки. Передвижная экологическая лаборатория на базе автомобиля Mercedes-Benz Vario оборудована: газоаналитической стойкой, современными газоанализаторами, метеорологическим комплексом, комплектом воздухозаборных устройств, блоком сбора и обработки информации, автономным электропитанием, системой жизнеобеспечения.

Газоаналитическая стойка предназначена для установки газоанализаторов, пробоотборного устройства, метеокомплекса, системы сбора и обработки информации и обеспечивает устойчивое гашение колебаний при движении экологического поста.

Газоанализаторы работают в автоматическом режиме и позволяют определять концентрации следующих загрязняющих веществ в атмосферном воздухе: оксида азота, диоксида серы, оксида углерода, метана и суммарных углеводородов, частиц взвешенных веществ с диаметром 10 мкм и менее, аммиака, сероводорода. Работа газоаналитического оборудования контролируется системой сбора данных и управления (ССДУ) которая обеспечивает решение следующих задач:

- автоматическое управление аналитическим (измерительным) оборудованием;
- получение результатов измерений с газоанализаторов;
- автоматическое выполнение процедур диагностики измерительного оборудования и процедур самодиагностики системы;
- ведение баз данных результатов измерений;
- ведение журналов (баз данных) результатов диагностики и самодиагностики.

Метеорологический комплекс позволяет измерять скорость и направление ветра, температуру, давление и влажность воздуха.

Комплект воздухозаборных устройств служит для отбора, обогрева до необходимой температуры и подачи исследуемой пробы к газоанализаторам и пробоотборному устройству.

Количество точек контроля определялось в зависимости от уровня загрязнения атмосферного воздуха, однородности выбросов, площади исследуемой территории, рельефа местности.

Для получения достоверных данных о концентрациях вредных веществ порядок объезда маршрутных постов должен быть одинаковым, но каждый месяц изменялся таким образом, чтобы обеспечить пробоотбор воздуха в каждой точке в разное время суток.

Осредненные за двадцатиминутный период результаты проводимых измерений выводятся на экран персонального компьютера в табличном виде. Пример полученных данных мониторинга загрязнения воздуха в точке 1 представлен в таблице.

Пример представления результатов замеров в передвижной лаборатории

Интервал	CO		NO		NO_2		NH_3		SO_2		H_2S	
ч:мин	мг/м^3	Доли ПДК	мг/м^3	Доли ПДК	мг/м^3	Доли ПДК	мг/м^3	Доли ПДК	мг/м^3	Доли ПДК	мг/м^3	Доли ПДК
12:00	1.193	0.4	0.015	0.2	0.051	1.3	0.020	0.5	0.009	0.2	0.003	0.4
12:20	1.103	0.4	0.024	0.4	0.064	1.6	0.017	0.4	0.012	0.2	0.002	0.3
12:40	0.838	0.3	0.015	0.2	0.040	1.0	0.015	0.4	0.011	0.2	0.002	0.3
13:00	0.588	0.2	0.006	0.1	0.034	0.8	0.015	0.4	0.008	0.2	0.004	0.5
13:20	0.595	0.2	0.009	0.1	0.038	1.0	0.013	0.3	0.006	0.1	0.003	0.3

Следует отметить, что при проведении всех замеров превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) наблюдалось только для NO_2.

Пример линейного распределения концентраций NO_2 представлен на рис.2.

Результаты проведенных исследований оказались следующими:

- превышений ПДК по CO на протяжении всех замеров в целом не наблюдалось, имеется тенденция к снижению концентрации;
- при анализе содержания SO_2 в атмосферном воздухе наблюдались локальные максимумы концентраций без превышения установленных норм;
- концентрация NH_3 в атмосферном воздухе понижалась с течением времени, превышения ПДК не зафиксировано, локальных минимумов или максимумов концентрации не наблюдалось;

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.738

• показания по H_2S были стабильны и находились в пределах значений среднесуточной ПДК;

• значения концентраций NO_2 неоднократно превышали ПДК среднесуточные за весь период наблюдений, причем диапазон превышений достиг 1-3,7 раз.

Обсуждение. Контроль содержания загрязняющих веществ только в точках отбора на маршрутных постах не позволяет выявить экологическую ситуацию в целом, в связи с этим при оценке состояния атмосферного воздуха в мегаполисах наибольший интерес представляет площадное распределение концентраций поллютантов.

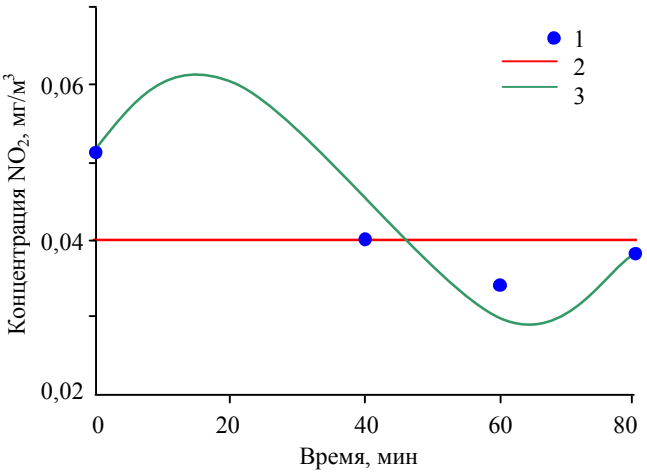


Рис.2. Линейное распределение концентрации NO_2
1 – эмпирические данные; 2 – полином 3-го порядка;
3 – среднесуточная ПДК

В настоящее время наиболее удобными и мощными ресурсами для отображения информации об уровнях площадного загрязнения атмосферного воздуха непосредственно на электронной карте мегаполиса обладают геоинформационные системы (ГИС). Моделирование процессов распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с применением возможностей геоинформационных технологий является методическим инструментом, позволяющим оценить антропогенную нагрузку, как визуально, так и количественно.

Для решения поставленной задачи была выбрана геоинформационная система MapInfo Professional – один из мировых лидеров в области представления и обработки пространственных данных. Помимо стандартных функций систем управления базами данных, MapInfo Professional позволяет собирать, хранить, отображать, редактировать и обрабатывать картографические данные, хранящиеся в базе данных, с учетом пространственных положений объектов, представляющих, например, рельеф и ситуацию местности.

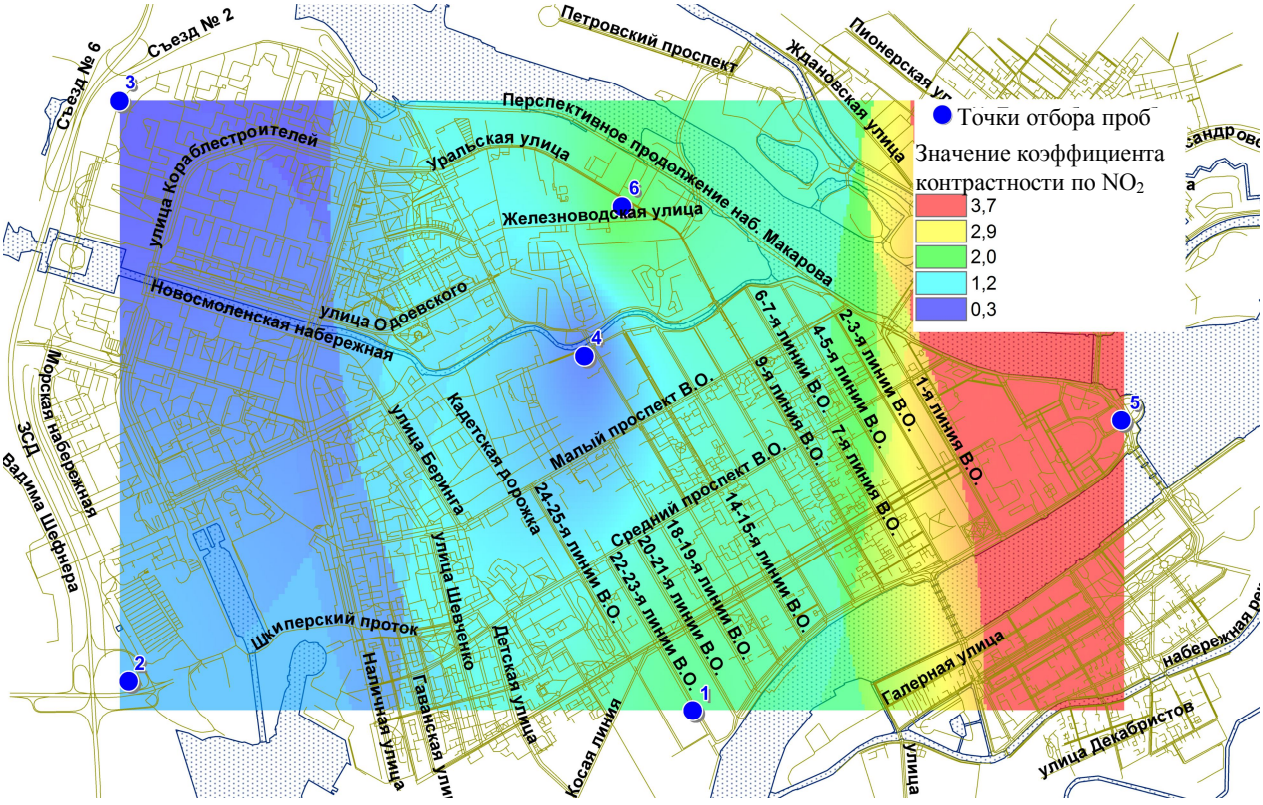


Рис.3. Итоговая карта площадного распределения NO_2 в атмосферном воздухе

Для картографического анализа пространственных данных в ГИС MapInfo используется тематическое картографирование, позволяющее строить диапазоны значений, столбчатые и круговые диаграммы, градуированные символы, плотность точек, отдельные значения, непрерывную поверхность.

Для интерпретации мониторинговой информации в ГИС MapInfo наиболее применимы два метода интерполяции – TIN и IDW. При использовании метода интерполяции IDW происходит взвешивание точек таким образом, что влияние известного значения точки затухает с увеличением расстояния до неизвестной точки, значение которой надо определить. Распространенный алгоритм TIN создает поверхность, состоящую из треугольников, формируемых ближайшими точками. Для этого вокруг точек сбора данных проводятся окружности, и их пересечения соединяются в сеть компактных треугольников, примыкающих друг к другу без пересечений и разрывов.

При построении итоговых тематических карт более приемлемым оказался метод интерполяции IDW.

Пример итоговой карты приведен на рис.3, где показано изменение содержания NO_2 в атмосферном воздухе в долях ПДК.

Заключение. Анализ полученных результатов позволяет предложить пути решения проблемы загрязнения атмосферного воздуха на конкретных территориях мегаполиса, где наблюдаются превышения экологических нормативов. К таким мерам можно отнести:

• проведение работ по оптимизации организации движения автотранспорта в мегаполисах, совершенствование строительства дорог;

• оснащение мегаполисов общественным транспортом, соответствующим нормам экологического стандарта Евро-3, т.е. с применением топлива с улучшенными экологическими характеристиками,

• совершенствование системы государственного контроля за охраной атмосферного воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антропов К.М.* Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Екатеринбурга диоксидом азота методом Land Use Regression / К.М.Антропов, А.Н.Вараксин // Экологические системы и приборы. 2011. № 8. С. 47-54.

2. *Голубничий А.А.* Анализ корреляционных связей основных загрязнителей атмосферного воздуха города Абакан за 2003-2013 гг. / А.А.Голубничий, В.Р.Сайфуллин, А.В.Шимкив // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 1. С. 38.

3. *Ильин Ф.Е.* Экология атмосферного воздуха Санкт-Петербурга // Научная дискуссия: вопросы математики, физики, химии, биологии. 2016. № 4 (32). С. 133-137.

4. Качество атмосферного воздуха в центре г. Казани / Ю.П.Переведенцев, Ю.Г.Хабутдинов, Н.В.Исмагилов, А.А.Николаев // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2014. № 6-1. С. 122-130.

5. *Киселев А.В.* Применение результатов расчета загрязнения атмосферного воздуха для социально-гигиенического мониторинга / А.В.Киселев, Я.В.Григорьева // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 4. С. 306-309.

6. Экологический анализ содержания загрязняющих веществ в воздушном бассейне промышленного города (на примере оксидов азота в г. Стерлитамак Республики Башкортостан) / Л.Р.Асфандиярова, А.А.Панченко, Г.В.Юнусова, Е.А.Ямлиханова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. № 12. С. 182-188.

7. Analysis of pollution characteristics of NO, NO_2 and O_3 at urban area of Langfang, Hebei / C.-B.Song, R.-P.Li, J.-J.He, L.Wu, H.-J.Mao // Zhongguo Huanjing Kexue. China Environmental Science. 2016. Vol. 36(10). P. 2903-2912.

8. *Aznarte J.L.* Probabilistic forecasting for extreme NO_2 pollution episodes // Environmental Pollution. 2017. Vol. 229. P. 321-328.

9. *Gotoh T.* Relation between heat islands and NO_2 pollution in some Japanese cities // Atmospheric Environment. Part B, Urban Atmosphere. 1993. Vol. 27(1). P. 121-128.

10. *Mead R.W.* Rise of the automobiles: The costs of increased NO_2 pollution in China's changing urban environment / R.W.Mead, V.Brajer // Journal of Contemporary China. 2006. Vol. 15(47). P. 349-367.

11. Ranking current and prospective NO_2 pollution mitigation strategies: An environmental and economic modelling investigation in Oxford Street, London / A.P.R.Jeanjean, J.Gallagher, P.S.Monks, R.J.Leigh // Environmental Pollution. 2017. Vol. 225. P. 587-597.

12. Scaling relationship for NO_2 pollution and urban population size: A satellite perspective / L.N.Lamsal, R.V.Martin, D.D.Parrish, N.A.Krotkov // Environmental Science and Technology. 2013. Vol. 47(14). P. 7855-7861.

13. Spatial associations between socioeconomic groups and NO_2 air pollution exposure within three large Canadian cities / L.Pinault, D.Crouse, M.Jerrett, M.Brauer, M.Tjepkema // Environmental Research. 2016. Vol. 147. P. 373-382.

Авторы: **М.А.Пашкевич,** *д-р техн. наук*, *профессор*, *mpash@spmi.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*), **Т.А.Петрова,** *канд. техн. наук*, *доцент*, *petrova9@yandex.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*).

Статья принята к публикации 26.06.2017.