

Антропов К.М.¹, Вараксин А.Н.¹, Гурвич В.Б.², Вепринцев В.В.², Ярушин С.В.²

Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Сухой Лог взвешенными аэрозольными частицами методом Land Use Regression

1 - ФГБУН Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, 2 - ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, г. Екатеринбург

Antropov K.M., Varaksin A.N., Gurvich V.B., Vepintsev V.V., Yarushin S.V.

Assessing suspended particulate aerosol matter air pollution in Sukhoy Log city using Land Use Regression model

Резюме

Проведено исследование загрязнения атмосферного воздуха города Сухой Лог взвешенными аэрозольными частицами методом Land Use Regression. Проведен статистический анализ взаимосвязей измеренного уровня загрязнения с ГИС переменными, описывающими город, создана статистическая модель загрязнения атмосферного воздуха и построена карта загрязнения.

Ключевые слова: статистические модели загрязнения атмосферного воздуха, модель Land use regression, взвешенные аэрозольные частицы, ГИС

Summary

Land Use Regression modeling has been successfully used for predicting particulate matter concentration in Sukhoy Log city, Russia. Statistical analysis of the correlation between the obtained measurement data and created GIS variables has been carried out; statistical model of the atmospheric pollution and the pollution map have been created.

Keywords: statistical air pollution models, Land Use Regression model, particulate aerosol matter, GIS

Введение

Два года назад вышли гигиенические нормативы, регламентирующие содержание взвешенных частиц PM10 и PM2,5 в атмосферном воздухе (Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»). Появление этого гигиенического норматива чрезвычайно важно, т.к. многочисленными эколого-эпидемиологическими исследованиями доказано, что на популяционном уровне воздействие даже относительно низких концентраций тонких фракций атмосферной пыли связано с существенным риском большого числа неблагоприятных эффектов – от умеренного проходящего раздражения и повышения сопротивления дыхательных путей до повышения смертности от сердечно-сосудистых и респираторных хронических заболеваний, рака легких [3].

Большое значение приобретают методы моделирования, которые позволяют давать оценку уровню загрязнения атмосферного воздуха больших территорий на основании ограниченного количества натурных исследований.

Цель настоящей работы состояла в оценке уровней загрязнения атмосферного воздуха г. Сухой Лог взвешенными частицами PM10 и PM2,5 в атмосферном воздухе с использованием модели Land Use Regression (LUR). Для этого решались следующие задачи: измерение концентраций взвешенных частиц PM10 и PM2,5 в атмосферном воздухе; определение показателей ряда переменных, характеризующих точки проведения измерений; оценка значимости каждой переменной для уровня загрязнения взвешенными частицами; построение LUR-модели.

Материалы и методы

Метод LUR заключается в построении статистических моделей, основанных на экспериментальных данных о загрязнении и данных государственных информационных систем (ГИС). Созданная модель применяется для расчета уровней загрязнения территории исследуемого города и построения карты загрязнения. Первоначально измеряются уровни загрязнения атмосферного воздуха в ограниченном числе мест. Далее для каждого места измерения вычисляется ряд географических переменных, которые, как предполагают, могут быть связаны

с загрязнением. Используются географические переменные, описывающие местоположение точек измерения, тип землепользования, плотность застройки, показатели интенсивности автомобильного движения и др. Затем проводится регрессионный анализ для определения взаимосвязей измеренных концентраций и полученных географических переменных. В результате получается регрессионное уравнение, которое может быть использовано для оценки концентраций загрязняющих веществ в любой точке города. Более подробное описание метода приведено в статьях [1, 4]. Метод LUR успешно применяется для моделирования среднегодового значения концентраций NO₂, NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀ и летучей органики [2, 5].

Измерения концентраций взвешенных аэрозольных частиц на территории г. Сухой Лог были проведены в летний сезон 2011 г. (с 17.07.2011 по 23.07.2011). Для измерений использовался анализатор аэрозолей Dust Trak 8530, позволяющий производить измерения одновременно в стандартах PM₁₀, PM₄, PM_{2.5}, PM₁.

Для использования метода LUR необходимо соблюдение ряда требований по проведению измерений. Основное требование метода LUR – полученные данные должны характеризовать именно загрязнение воздуха в местах измерений. Поясним последнее утверждение. Если исследуется токсикант, концентрация которого значительно меняется со временем, то непродолжительные однократные измерения в разные промежутки времени непригодны даже для сравнения загрязненности воздуха в местах измерений, и тем более непригодны для построения карт загрязнения. В таком случае необходимы измерения на протяжении длительного периода времени, при этом измерения во всех местах должны быть проведены одновременно. Как правило, при измерении концентраций таких токсикантов это требование удовлетворяется путем проведения одновременных длительных (одна-две недели) измерений с помощью пассивных пробоотборников. В настоящем исследовании было необходимо выполнить данное требование при наличии только одного анализатора аэрозолей, измеряющего загрязнения воздуха в реальном времени.

Данная задача была решена следующим образом: в течение семидневной измерительной кампании в каждом из выбранных мест города проведено семь измерений (по одному измерению в день). После проведения измерений необходим дополнительный анализ полученных первичных данных, который обеспечивает возможность выполнения расчета на его основе средних значений концентраций взвешенных аэрозольных частиц в местах измерений. Собранный набор экспериментальных данных – семь измерений в каждой точке города с последующей обработкой позволили вычислить среднюю концентрацию взвешенных аэрозольных веществ для выбранных мест измерений – эквивалент среднесуточных концентраций.

Для измерения концентраций взвешенных аэрозольных частиц были выбраны 40 мест города. В течение семи дней подряд с 17.07.2011 по 23.07.2011 проводились

измерения каждый день по 10 минут в каждой выбранном месте. В результате получено для каждой из 40 местоположений семь краткосрочных измерений концентраций аэрозолей, всего в городе 280 измерений. Каждый новый день измерения проводились в различном порядке, чтобы для всех местоположений были выполнены измерения утром, днем, вечером и ночью.

Для Сухого Лога была собрана доступная географическая информация: картографические данные © Участника OpenStreetMap, CC-BY-SA, спутниковые снимки земной поверхности LandSat, высотные данные SRTM, с помощью которой были вычислены географические переменные, описывающие места измерений. В итоге, в данном исследовании было рассчитано более 65 различных переменных, среди которых переменные для описания влияния дорог города на загрязнение атмосферы, переменные для описания взаимосвязи загрязнения воздуха и значительных «зеленых» областей, значение высоты над уровнем моря, а также плотности промышленных территорий и карьеров в различных масштабах.

Результаты и обсуждение

Для анализа данных измерений была построена диаграмма – зависимость PM_{2.5} от времени измерения (рис. 1, точками на диаграмме обозначены значения измеренных концентраций PM_{2.5}). Среди полученных нами данных было обнаружено пять возможных выбросов. Все пять выбросов относятся к различным местам измерений, получены в четыре различных дня. Значение концентрации значительно превышает среднее значение для каждой из точек измерения. Эти точки были исключены из дальнейшего анализа.

В течение недели проведения измерительной кампании с 17 по 23 июля метеорологические условия значительно не менялись, также не было зарегистрировано других факторов, способных значительно повлиять на загрязнение воздуха (например, лесные пожары, аварийные выбросы и т.п.). В такой ситуации для характеристики каждого места загрязнения оправдано использовать простое среднее значение по семи измерениям (после исключения выбросов).

Модели LUR загрязнения атмосферного воздуха взвешенными аэрозольными частицами строились с помощью метода пошаговой регрессии вперед с включением всех переменных: $PM_{2.5} = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + \dots + b_k * X_k$. Модель LUR для описания загрязнения атмосферного воздуха взвешенными аэрозольными частицами.

$PM_{2.5} V_2 = 0,00248 + 0,927 * Road + 0,115 * Quarry_{100} + 0,047 * Industrial_{300} + 0,042 * Buildings_{100}$

Модель включает 4 переменные разных типов и масштабов: Road (интегральная переменная, описывающая влияние дорог города), Quarry₁₀₀ (Плотность карьеров, с выбранным радиусом 100м для расчета плотности), Industrial₃₀₀ (Плотность промышленных территорий, 300м), Buildings₁₀₀ (Плотность зданий, 100м). Коэффициент детерминации модели R² = 0,78.

Согласно этой модели концентрации PM_{2.5} повышаются вблизи дорог города (согласно переменной

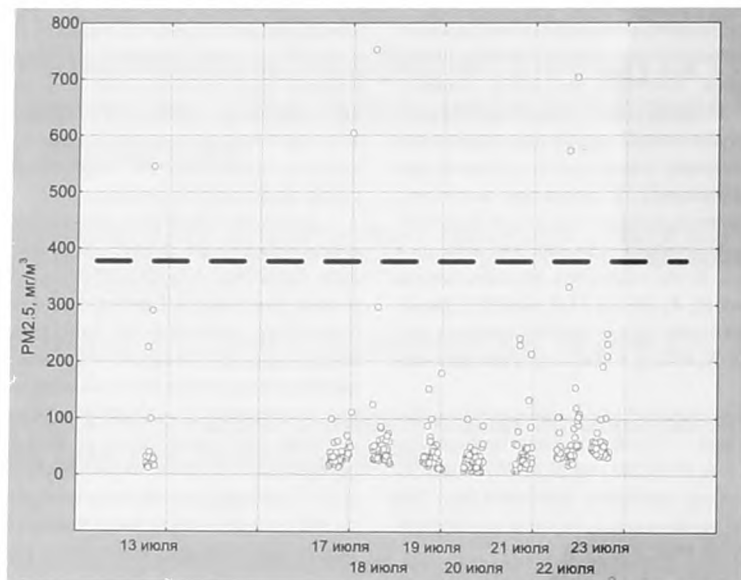


Рис. 1. Результаты изменений концентраций взвешенных аэрозольных частиц в г. Сухой Лог



Рис.2 Распределение PM2.5 в г. Сухой Лог

Road), вблизи карьеров (до 100 м, Quarry_100), промышленных территорий (Industrial_300) и в плотно застроенных районах (переменная Buildings_100). Полученная регрессионная модель использована для создания карты загрязнения атмосферного воздуха г. Сухой Лог взвешенными аэрозольными частицами (рис. 2).

Заключение

Предложенная модель LUR для описания загрязнения г. Сухой Лог взвешенными аэрозольными частицами обладает высоким качеством (коэффициент детерминации $R^2 = 0,78$) и высоким пространственным разрешением. Средняя величина индивидуальных ошибок полу-

ченной регрессионной модели PM_{2.5} составляет 8,1 мкг/м³ (генеральное среднее равно 54,0 мкг/м³, т.е. средняя ошибка составляет около 15% от среднего). Выявлено большое влияние транспортной сети города на уровень загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами. Таким образом, LUR-модель показала хорошие результаты по созданию картины загрязнения взвешенными аэрозольными частицами небольшого города. Данная модель имеет большие перспективы по применению для оценки уровня загрязнения различных территорий.

В данной работе выявлено превышение гигиенического норматива для взвешенных частиц PM_{2.5} в 6% проб, что подтверждает гигиеническую значимость проведенных исследований и мелкодисперсных частиц PM_{2.5} и PM₁₀ как веществ, загрязняющих атмосферный воздух. ■

Антропов К.М., младший научный сотрудник лаборатории математического моделирования в экологии и медицине ФГБУН Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург; Варакин А.Н., д.ф.-м.н., заведующий лабораторией математического моделирования в экологии и медицине, ФГБУН Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург; Гурвич В.Б., д.м.н., директор ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, г. Екатеринбург; Веприцев В.В., научный сотрудник ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, г. Екатеринбург; Ярушин С.В., старший научный сотрудник, руководитель лабораторией социально-гигиенического мониторинга и управления риском ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, г. Екатеринбург; Автор, ответственный за ведение переписки – Ярушин С.В., 620014, г. Екатеринбург, ул. Попова, 30, тел. (343) 371-90-89, e-mail: sergeyy@yutrc.ru

Литература:

1. Антропов К.М., Казмер Ю.И., Варакин А.Н. Описание пространственного распределения загрязнения атмосферного воздуха промышленного центра методом Land Use Regression (обзор) // Экологические системы и приборы. 2010; 1: 28-41.
2. Антропов К.М., Варакин А.Н. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Екатеринбурга диоксидом азота методом Land Use Regression // Экологические системы и приборы. 2011; 8: 47-54.
3. Кацнельсон Б.А., Привалова Л.И., Кузьмин С.В., Чибуряев В.И., Никонов Б.И., Гурвич В.Б. Оценка риска как инструмент социально-гигиенического мониторинга. Екатеринбург. 2001: 244.
4. Brauer M., Marshall J., Nethery E. Within-urban variability in ambient air pollution: Comparison of estimation methods // Atmospheric Environment. 2008; 42 (6).
5. Henderson S., Beckerman B., Jerrett M., Brauer M. Application of LUR to estimate long-term concentrations of traffic-related nitrogen oxides and fine particulate matter // Environ. Sci. Technol. – 2007; 41 (7).