

УДК 332.1
JEL R11

Д.С. Зиязов

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН,
Новосибирск, Россия

Загрязнение воздуха и его влияние на внутригородскую мобильность населения в Красноярске

Аннотация. Работа посвящена анализу влияния загрязнения атмосферного воздуха на внутригородскую мобильность жителей современного мегаполиса, на примере города Красноярска с использованием ежедневных данных об уровне загрязнения воздуха. Главной задачей исследования является оценка экономических потерь различных индустрий города в связи с повышенным загрязнением воздуха. Рабочая гипотеза предполагает, что повышение уровня загрязнения воздуха ведет к снижению экономической активности горожан. Путем моделирования линейной регрессии было установлено, что повышение среднесуточного уровня загрязнения на 1 ПДК может приводить к снижению посещаемости торговых и развлекательных площадок на 4.2%. Также, в дни с повышенным уровнем загрязнения горожане менее склонны посещать парки и остановки общественного транспорта, тогда как пребывание в жилых помещениях напротив увеличивается.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, мобильность населения, Красноярск, анализ данных.

D.S. Ziyazov

Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS,
Novosibirsk, Russia

Air pollution and its impact on intracity mobility in Krasnoyarsk

Abstract. This paper analyses the impact of air pollution on intra-urban mobility of residents in a modern metropolis, using the example of Krasnoyarsk city, using daily data on air pollution levels. The main objective of the study is to estimate economic losses of various industries in the

city due to increased air pollution. The working hypothesis assumes that an increase in air pollution leads to a decrease in economic activity of city residents. By means of linear regression modelling, it was found that an increase in the average daily pollution level by 1 MPC can lead to a 4.2% decrease in attendance at shopping and entertainment venues. Also, on days with higher levels of pollution, citizens are less likely to visit parks and public transport stops, while, on the contrary, staying in residential areas increases.

Keywords: air pollution, population mobility, Krasnoyarsk, data analysis.

Введение. В настоящее время проблема загрязнения атмосферного воздуха вызывает повышенный интерес академического сообщества: предпринимаются различные попытки оценить масштаб проблемы, выявить факторы, определяющие уровень загрязнения, разработать стратегии снижения выбросов от стационарных и передвижных источников. При этом, в силу ограниченности данных официальной статистики большинство непосредственно экономических работ по данной тематике оперируют региональными или же федеральными данными, также в основном используются годовые временные интервалы. Однако, по мнению автора работы, наибольший интерес в рамках данной проблематики представляют непосредственно локальные процессы. Так, в рамках данного исследования будет предпринята попытка анализа эколого-экономических связей на уровне одного города – Красноярска, с использованием ежедневных данных об уровне загрязнения воздуха.

В качестве основной задачи исследования определим следующее: оценить экономические потери различных индустрий города в связи с повышенным загрязнением воздуха. Рабочая гипотеза: повышение уровня загрязнения воздуха при прочих равных условиях способствуют снижению экономической активности горожан и, как следствие, ведут к потенциально невосполняемым потерям экономики города. Для того чтобы проверить обозначенную гипотезу построим модели линейной регрессии временных рядов, связывающие индекс мобильности горожан, по разным категориям мест посещения, с уровнем загрязнения воздуха, рассчитанным на основании данных оперативного мониторинга.

Данные. В качестве зависимой переменной будем использовать данные GoogleMobilityIndex, которые представляют собой серию ежедневных отчетов о местоположении пользователей различных сервисов компании Google, собранных с помощью мобильных устройств [DB.Nomics]. Отчеты содержат агрегированную информацию о том, как перемещение людей и использование общественных мест изменились в ответ на пандемию COVID-19 и другие события. База данных содержит в себе информацию об изменении уровня посещаемости различных мест, таких как рабочие места, парки, аптеки и др. по сравнению с базисным уровнем до пандемии. Таким образом, серию данных показатель можно использовать для отражения внутригородской мобильности населения городов. Однако, стоит оговориться, что GoogleMobilityIndex является оценочным показателем и не на сто процентов отражает реальную ситуацию.

В качестве основной факторной переменной, отражающей качество городского воздуха, будем использовать среднесуточные концентрации PM_{2.5}, рассчитанные на основании оперативных данных сети мониторинга в Красноярске [КНЦ СО РАН]. В качестве контрольных переменных добавим в модели данные о погодных условиях, бинарные переменные для дней недели и переменную, отражающую развитие пандемии COVID 19 [Guidotti&Ardia, 2020]. Модельный период составляет 972 дня с 04.06.2020 по 14.10.2022, однако в разных моделях будет задействовано различное количество периодов в силу доступности данных. Перечень всех переменных представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Переменные и описательная статистика

Переменная	Описание	min	median	max
Grocery.Pharmacy	Отклонение от базового уровня посещения продуктовых магазинов и аптек, %	-62.0	-6.0	39.0
Parks	Отклонение от базового уровня посещения парков, %	-56.0	5.0	108.0
Residential	Отклонение от базового уровня посещения жилых помещений, %	-18.0	1.0	23.0
Retail.Recreation	Отклонение от базового уровня посещения торговых и развлекательных площадок, %	-75.0	-14.0	20.0
Transit.Stations	Отклонение от базового уровня посещения остановок общественного транспорта, %	-56.0	-2.0	24.0
Workplaces	Отклонение от базового уровня посещения рабочих мест, %	-87.0	-18.0	105.0
PM2.5	Среднесуточная концентрация PM2.5, мгм/м ³	0.3	7.5	100.7
Temperature	Среднесуточная температура воздуха, °С	-33.8	7.5	27.7
Wind	Среднесуточная скорость ветра, км/час	0.05	1.5	34.4
Humidity	Среднесуточная влажность воздуха, (%)	24.0	67.5	93.0
Covid19	Суточный прирост заболеваемости COVID-19 в Красноярском крае, ед.	-102.0	259.0	8192.0
Wday	Фиктивная переменная для дней недели	-	-	-

Источник: составлено автором.

Методы исследования. Для оценки влияния уровня загрязнения воздуха на внутригородскую мобильность населения воспользуемся моделью линейной регрессии временных рядов. Для начала проверим наши переменные на стационарность с помощью теста Дики-Филлера: выяснилось, что большинство временных рядов являются стационарными, исключения составили лишь переменные для температуры воздуха, прироста зараженных COVID-19 и посещаемости парков. Следовательно, преобразуем эти ряды в первые разности. Таким образом, наша модель будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}
 Mobility_t = & \alpha + \beta_1 PM2.5_{t-1} + \beta_2 d(Temperature)_t + \beta_3 Wind_t + \beta_4 Humidity_t + \\
 & + \beta_5 d(Covid19)_t + \beta_6 Wday_t + \varepsilon_t,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где, $Mobility_t$ – одна из зависимых переменных, $\beta_1 PM2.5_{t-1}$ – первый лаг переменной загрязнения воздуха, $d(Temperature)_t$ – первая разность температуры воздуха, $d(Covid19)_t$ – первая разность прироста заболеваемости COVID-19.

Для оценки коэффициентов будем использовать обычный метод наименьших квадратов. Для тестирования статистических гипотез будем использовать устойчивые к гетероскедастичности стандартные ошибки. Также добавим в модель первый лаг переменной, отражающей уровень загрязнения воздуха, с целью избежать потенциальной проблемы двусторонней причинно-следственной связи.

Таблица 2 – Оценка коэффициентов регрессии

	Grocery. Pharmacy	d(Parks)	Workplaces	Residential	Transit. Stations	Retail. Recreation
Intercept	-5.58 ** (1.88)	-6.92 (6.12)	-1.52 (2.59)	-13.50*** (1.48)	5.34 * (2.16)	-17.15*** (1.70)
lag(PM2.5)	-0.06 (0.04)	-0.12* (0.05)	0.04 (0.04)	0.10*** (0.02)	-0.18*** (0.04)	-0.12*** (0.03)
d(Temperature)	0.29*** (0.09)	2.58*** (0.21)	-0.11 (0.15)	-0.18*** (0.05)	0.58*** (0.10)	0.35*** (0.09)
Wind	0.56* (0.25)	-1.35 (0.88)	0.60* (0.27)	0.49 (0.27)	-0.21 (0.27)	0.02 (0.13)
Humidity	0.00 (0.02)	-0.14 (0.08)	-0.16*** (0.04)	0.09*** (0.01)	-0.08** (0.03)	-0.01 (0.02)
Wday2	-3.74*** (0.95)	27.39*** (2.81)	-14.98*** (1.59)	7.67*** (0.69)	1.17 (1.23)	7.08*** (1.03)
Wday3	-0.29 (0.98)	18.54*** (2.51)	-14.38*** (1.27)	6.82*** (0.68)	1.21 (1.18)	8.57*** (1.06)
Wday4	-1.55 (1.00)	21.14*** (2.41)	-12.86*** (1.23)	7.23*** (0.68)	-1.46 (1.12)	6.25*** (1.03)
Wday5	-2.14* (1.01)	18.75*** (2.56)	-13.18*** (1.14)	6.80*** (0.65)	-0.67 (1.11)	8.04*** (1.02)
Wday6	0.29 (1.05)	19.73*** (2.49)	-13.30*** (1.34)	6.26*** (0.70)	4.96*** (1.26)	6.90*** (1.10)
Wday7	-1.74 (1.05)	32.69*** (2.58)	-8.81*** (1.64)	2.18** (0.69)	4.23*** (1.25)	3.75** (1.19)
d(Covid19)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00*** (0.00)	-0.00*** (0.00)	-0.00*** (0.00)
N	812	838	861	785	808	855
R ²	0.06	0.31	0.14	0.37	0.17	0.15

Примечание: *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; в скобках представлены устойчивые к геттероскедастичности стандартные ошибки; все модели проверены на наличие мультиколлинеарности; лаг добавлен в связи с потенциальной проблемой двусторонней причинности.

Источник: составлено автором.

Результаты. Оценки коэффициентов регрессии приведены в таблице 2. В целом, на основании коэффициента детерминации можно сделать вывод о не высоком качестве моделей. Однако, интересующая нас связь между мобильностью населения и уровнем загрязнения воздуха оказалась статистически значимой в некоторых моделях. Так, можно заключить, что повышенные уровни загрязнения ведут к снижению посещаемости парков, остановок общественного транспорта, торговых и развлекательных площадок. При этом, посещаемость жилых помещений напротив увеличивается – при неблагоприятных условиях на улице люди стремятся оставаться дома. Отсутствие влияния загрязнения воздуха на посещаемость рабочих мест, продуктовых магазинов и аптек вполне удачно вписывается в базовые представления о поведении людей – загрязнение воздуха не влияет на обязательные и рутинные мероприятия.

Заключение. В качестве основных выводов исследования можно сформулировать следующее:

1) в дни, когда наблюдаются повышенные уровни загрязнения воздуха Красноярцы менее склонны проводить время на улице – в парках, а также посещать торговые и развлекательные площадки, при этом, пребывание в жилых помещениях напротив возрастает;

2) повышение среднесуточного уровня загрязнения на 1 ПДК (35 мгм/м³ для РМ_{2.5}) может приводить к снижению посещаемости и как следствие потребления в торговых и развлекательных площадках на 4.2%. Вероятно, что данные потери восполняются лишь частично, в любом случае более конкретная оценка экономических потерь планируется при дальнейшем развитии исследования.

Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект 5.6.3.2. (0260-2021-0005) «Движущие силы и механизмы развития кооперационных и интеграционных процессов в экономике Сибири».

ЛИТЕРАТУРА

КНЦ СО РАН. Система Мониторинга Воздуха города Красноярска. Электронный ресурс). URL: <https://air.krasn.ru/data.html> (дата обращения 01.02.2023).

DB.Nomics. Google Global Mobility Report, percent change from baseline. Электронный ресурс. URL: <https://db.nomics.world/Google/GMR> (дата обращения 01.02.2023).

Guidotti, E., Ardia, D., (2020), COVID-19 Data Hub, Journal of Open Source Software 5(51):2376, doi: 10.21105/joss.02376.

Сведения об авторах:

Зиязов Даниил Салаватович, младший научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Россия.

Ziyazov Daniil S., junior researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.