



**Статистический анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу  
Российской Федерации**

**Харитонов А.Е.**, к.э.н., доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени  
К.А. Тимирязева, Москва, Россия

**Байгужина К.Э.**, бакалавр, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,  
Москва, Россия

**Аннотация.** В статье проведен статистический анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Российской Федерации за 1990-2021 гг. При анализе показателей в региональном разрезе была проведена группировка по многомерной средней и выделены три типические группы. Среди данных групп был проведен анализ, который позволил выявить взаимосвязь между ростом количества выбросов и размером площадей регионов и численности населения. В среде R был построен прогноз на следующие 5 лет при помощи модели ARIMA и метода аналитического выравнивания. Был проведен сравнительный анализ построенный моделей и определены наиболее подходящие.

**Ключевые слова:** статистический анализ, выбросы в атмосферу, статистическая группировка, среда R, прогноз, ARIMA, метод аналитического выравнивания.

**Statistic analysis of emissions of pollutants into the atmosphere of Russian  
Federation**

**Kharitonova A.E.**, Ph.D., associate professor, Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

**Bayguzhina C.E.**, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev  
Agricultural Academy, Moscow, Russia

**Annotation.** The article provides a statistical analysis of emissions of pollutants into the atmosphere of the Russian Federation for 1990-2021. When analyzing indicators in the regional context, a grouping was carried out according to a multidimensional average and three typical groups were identified. Among these groups, an analysis was carried out, which made it possible to reveal the relationship between the increase in the amount of emissions and the size of the areas of the regions and the population. In the R environment, a forecast for the next 5 years was built using the ARIMA model and the analytical alignment method. A comparative analysis of the constructed models was carried out and the most suitable ones were identified.

**Key words:** statistical analysis, atmospheric emissions, statistical grouping, R environment, forecast, ARIMA, analytical alignment method.

**Введение** Одной из мировых глобальных проблем, которая появилась еще в конце XIX века, однако до сих пор остается актуальной, является глобальное изменение климата. В первую очередь это проявляется в росте температуры и связано с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере. Как отмечается в стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года глобальная средняя приземной температуры воздуха на 1,1 градуса Цельсия в 2020 год превысила доиндустриальный уровень 1850 - 1900 годов<sup>1</sup>.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 99% жителей планеты дышат воздухом, который загрязнен сверх установленных допустимых норм качества и несет угрозу их здоровью<sup>2</sup>. Несмотря на то, что мониторинг качества воздуха ведется более чем в 6000 городах, находящихся в 117 странах, однако в их воздухе остается повышенным содержание мелких твердых частиц и диоксида азота. Ежегодно из-за загрязненного атмосферного воздуха в мире погибают около 7 млн человек, большинство – в результате ишемической

---

<sup>1</sup>Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года распоряжение правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г, № 3052-р

<sup>2</sup> Миллиарды людей по-прежнему дышат нездоровым воздухом: новые данные ВОЗ [электронный ресурс] – Режим доступа. –URL: <https://www.who.int/ru/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>

болезни сердца и инсульта. Данная проблема особенно актуальна для стран с низким или средним уровнем дохода. Хотя Российская Федерация отнесена к странам с уровнем дохода выше среднего, однако проблема выбросов для нашей страны также актуальна.

В России в 2020 г. наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха проводились в 253 городах Российской Федерации. Из них регулярные наблюдения за содержанием в атмосферном воздухе 57 загрязняющих веществ, в том числе 11 тяжелых металлов, выполнялись в 221 городе на 612 станциях<sup>3</sup>. При этом 34 города были подвержены высокому и очень высокому загрязнению воздуха, что на 6 городов меньше, чем в 2019 г. Однако 9 млн. человек до сих пор проживает в неблагоприятных экологических условиях (в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха – индекс загрязнения атмосферного воздуха более 7).

В результате целью исследования является анализ загрязнения атмосферного воздуха Российской Федерации по регионам, в динамике и прогнозирование выбросов основных загрязняющих веществ.

### **Материалы, методы и условия проведения исследований**

Анализ данных по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу РФ был проведен на основе данных Росстата за 2000-2021 гг.

Для анализа данных в региональном разрезе был применен метод статистической группировки. Статистическая группировка – это разбиение статистической совокупности по какому-то существенному признаку<sup>4</sup>. В данной работе использовалась группировка по многомерной средней по показателям, характеризующим загрязнение атмосферного воздуха.

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i}}{n}, \text{ где}$$

n – число показателей для расчета многомерной средней;

σ – среднеквадратическое отклонение;

---

<sup>3</sup> О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году, Государственный доклад, – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2021. – 864 с.

<sup>4</sup> Зинченко А.П. Статистика. Учебник для студентов вузов, Москва, 2013. – 368 с.

$\bar{x}_i$  – среднее значение признака.

Для анализа рядов динамики были использованы методы аналитического выравнивания и авторегрессионные модели со скользящими средними в остатках (ARIMA).

Цель методов аналитического выравнивания – определить аналитическую или графическую зависимости. На практике по имеющемуся временному ряду задают вид и находят параметры функции, а затем анализируют поведение отклонений от тенденции. Выравнивание по прямой линии проводится при равенстве цепных абсолютных приростов, при наличии тенденции из возрастания – по гиперболе, при равенстве коэффициентов роста – по гиперболе или показательной кривой<sup>5</sup> и т.д..

ARIMA – модель авторегрессии и скользящего среднего, которая применяется для прогнозирования временных рядов. Одним из наиболее сложных этапов построения модели ARIMA является определение ее порядка<sup>6</sup>. При этом применение функций языка программирования R позволяют автоматически подбирать параметры модели.

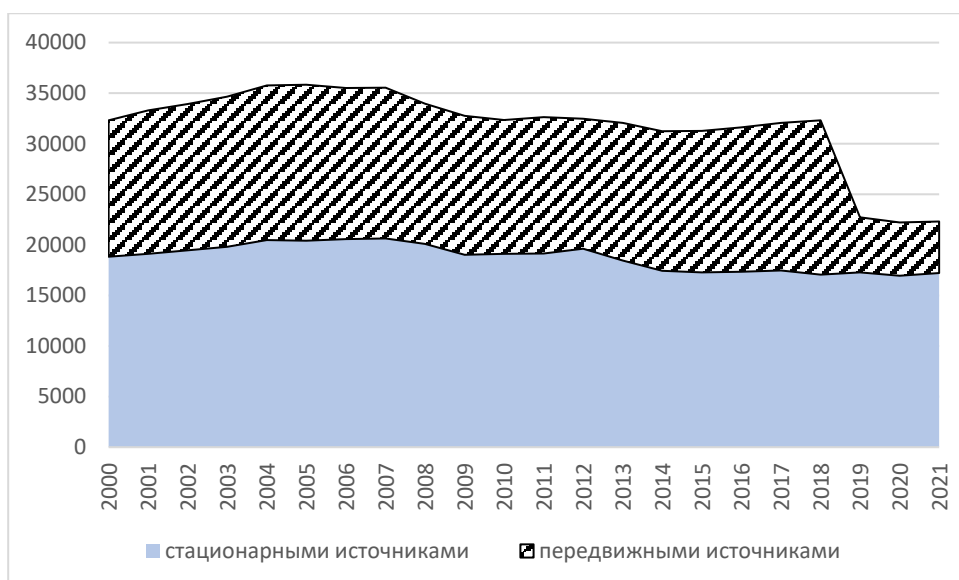
Исходной информацией для проведения анализа послужили данные официального статистического наблюдения, Федеральной службой государственной статистики (Росстат), включая сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели», «Российский статистический ежегодник» и «Охрана окружающей среды».

**Результаты исследования** Рассматривая динамику выбросов загрязняющих веществ, отходящих от стационарных и передвижных источников можно отметить, что с 2019 года произошло резкое сокращение, что связано с пандемией (рис. 1). Однако выбросы от стационарных источников за рассматриваемый период практически не изменились.

---

<sup>5</sup> Зинченко А.П. Статистика. Учебник для студентов вузов, Москва, 2013. – 368 с.

<sup>6</sup> Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование, Саратов, 2019. – 310 с.



**Рис. 1 – Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух**

Рассматривая показатели в региональном разрезе, была применена группировка по многомерной средней. Исходными показателями были использованы выбросы наиболее распространенных загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных и передвижных источников в 2020 г. (тысяч тонн):

- твердых веществ;
- диоксида серы;
- оксиды азота;
- оксида углерода;
- углеводород, включая ЛОС.

Состав групп представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Состав выделенных групп по многомерной средней**

№ группы	Состав регионов
1	Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Калмыкия, Республика Адыгея, г. Севастополь, Республика Тыва, Республика Алтай, Республика Дагестан, Республика Северная Осетия – Алания, Орловская область, Чувашская Республика, Калининградская область, Ивановская область, Чукотский автономный округ, Калужская область, Еврейская автономная область, Карачаево-Черкесская Республика, Ульяновская область, Псковская область, Пензенская область, Республика Крым, Чеченская Республика, Республика Марий Эл, Курганская область,

	Ненецкий автономный округ, Курская область, Камчатский край, Тамбовская область, Костромская область, Республика Мордовия, Брянская область, Смоленская область, Магаданская область, Владимирская область, Ярославская область, Новгородская область, Тверская область, Астраханская область, Сахалинская область, Рязанская область, г. Москва, г. Санкт-Петербург
2	Ставропольский край, Воронежская область, Саратовская область, Республика Карелия, Кировская область, Республика Хакасия, Удмуртская Республика, Тульская область, Нижегородская область, Республика Бурятия, Тюменская область, без автономных округов, Волгоградская область, Томская область, Архангельская область, без автономного округа, Хабаровский край, Белгородская область, Омская область, Мурманская область, Ростовская область, Амурская область, Ленинградская область, Московская область
3	Архангельская область, Забайкальский край, Новосибирская область, Самарская область, Алтайский край, Пермский край, Приморский край, Республика Татарстан, Липецкая область, Оренбургская область, Краснодарский край, Вологодская область, Республика Коми, Республика Башкортостан, Республика Саха (Якутия), Челябинская область, Иркутская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Свердловская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра

Из-за отсутствия информации из анализа были удалены такие региона как Кемеровская область, Красноярский край и Тюменская область.

В результате проведения статистической группировки имеются данные по типическим группам, приведённые в Табл. 2.

В среднем в зависимости от количества выбросов от стационарных источников относительные показатели в расчете на единицу площади возрастают от группы к группе практически по всем веществам. Выбросы от стационарных источников выше по таким показателям, как оксид азота, оксид углерода и по углеводородам (включая ЛОС). Твердые вещества и диоксид серы же демонстрируют показатели выше у средней группы, чего нельзя сказать о данных в расчете на 1 человека: тут значения показателей высшей группы больше по всем показателям выбросов от стационарных источников.

Для сравнения в таблице представлены данные по выбросам от передвижных источников. Наблюдается следующая тенденция: в расчётах на единицу площади и на 1 человека средняя группа имеет самый высокий показатель.

**Характеристика типических групп**

Показатели	1	2	3	В среднем (итого)
Число регионов	42	22	20	84
в расчете на единицу площади, кг				
Твердые вещества	51,96	102,84	97,41	88,81
Диоксид серы	39,90	140,28	117,19	105,92
Оксиды азота	76,52	119,69	119,99	110,43
Оксид углерода	130,65	231,89	362,35	280,11
Углеводород, включая ЛОС	180,29	248,36	298,01	260,26
От передвижных источников	474,09	491,16	203,73	332,49
в расчете на 1 человека, кг				
Твердые	3,31	9,03	17,50	9,66
Диоксид серы	2,54	12,31	21,06	11,52
Оксиды азота	4,87	10,50	21,56	12,01
Оксид углерода	8,32	20,35	65,10	30,47
Углеводород, включая ЛОС	11,48	21,80	53,54	28,31
От передвижных источников	30,19	43,11	36,60	36,17
Средний процент уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферу веществ - стационарные источники	42,38	68,7	55,5	55,5
Средний процент использования (утилизации) загрязняющих веществ - стационарные источники	55,7	48,6	42,1	48,8
Средняя площадь, км <sup>2</sup>	78998,3	167553,8	409537,6	180891,2
Средняя численность населения, чел.	1241	1909	2279	1663
Плотность населения	15,7	11,4	5,6	9,2

По среднему проценту уловленных, обезвреженных и утилизированных загрязняющих веществ от стационарных источников значения показателей в средней группе уловленных и обезвреженных веществ выше нежели в 1 и 3 группе. В утилизации же другая картина: самый высокий показатель наблюдается у 1 группы, в то время как 3 имеет самый низкий при общих выбросах выше,

В целом следует отметить рост количества выбросов в зависимости от размеров площадей регионов и численности населения. При этом рост площадей

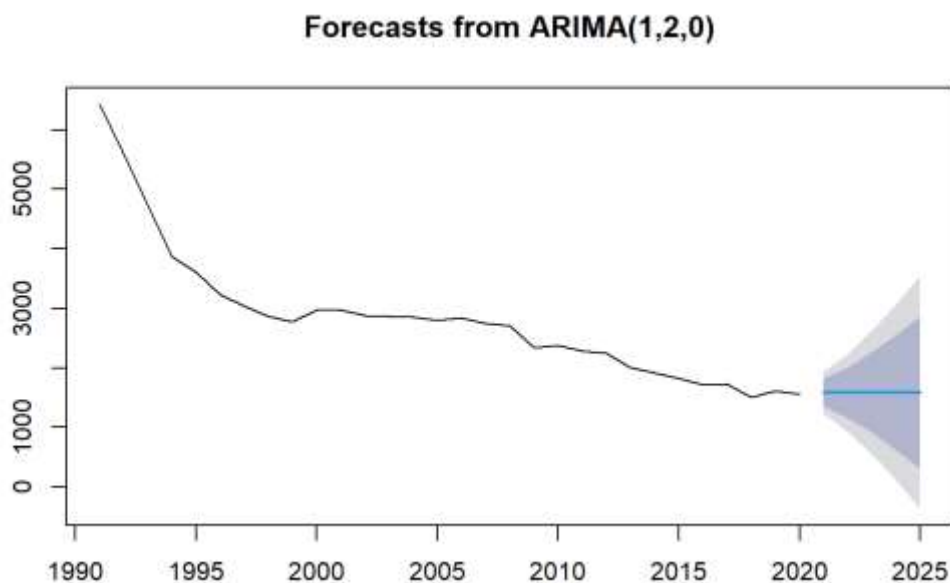
оказывает первоочередное значение, так как плотность населения снижается от группы к группе.

По данным таблицы видно, что в среднем выше показатели выбросов от оксида углерода, углеводородов и передвижных источников.

#### *Прогнозирование при помощи ARIMA.*

Для прогнозирования по данной модели была использована функция `auto.arima` пакета `forecast` языка программирования R. `Auto.arima` – функция, которая самостоятельно определяет наиболее подходящие коэффициенты  $p$ ,  $d$ ,  $q$  для уравнения прогноза. Предварительно была проведена проверка рядов динамики на наличие структурных сдвигов по критерию Чоу. В результате для прогнозирования были отобраны ряды динамики без структурных изменений.

По модели ARIMA к данным за 1990-2021 гг. по выбросам твердых веществ в атмосферный воздух прогнозируется незначительный рост показателя, однако предельная ошибка прогноза достаточно велика (см. рис. 2)

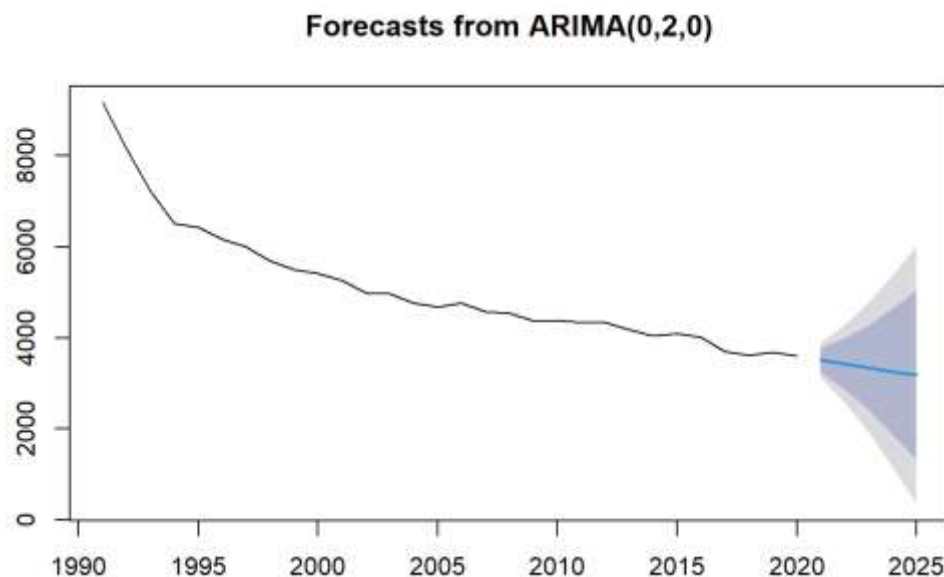


***Рис. 2 – Построение модели по выбросам твердых веществ, тыс. тонн***

Для выбросов в атмосферу диоксида серы прогнозируется снижение показателя (см. рис. 3.), однако ошибка прогноза также оказалась достаточно высокой.



В результате было принято решение применить метод аналитического выравнивания, т.к. на графиках прослеживается линейная зависимость.



**Рис. 3 – Построение модели по выбросам диоксида серы, тыс, тонн**

*Прогнозирование при помощи метода аналитического выравнивания.*

В среде программирования R по каждому из показателей строится модель линейной регрессии при помощи функции `lm()`, а используя функцию `predict()`, формируется прогноз на ближайшие годы.

В результате все построенные модели оказались статистически значимыми в целом по критерию Фишера, а также значимы все параметры по критерию t-Стьюдента.

Для выбросов твердых веществ наблюдается сильная тенденция к снижению, в результате прогнозные значения очень низкие, поэтому данная модель не подходит для прогнозирования показателя.

Для выбросов в атмосферу диоксида серы прогнозируется снижение показателя, при этом ошибки прогнозирования ниже, чем при прогнозировании методом ARIMA.

По итогу был проведен сравнительный анализ моделей прогнозирования и было выявлено следующее:

- Для выбросов твердых веществ лучшие показатели дала модель

ARIMA;

- Для выбросов диоксида серы – метод аналитического выравнивания.

В целом, при анализе выбросов в атмосферу твердых веществ и диоксида серы наблюдается тенденция к снижению показателей, что говорит о благоприятной тенденции. Однако по выбросам в атмосферу других загрязняющих веществ ситуация не столь оптимистическая. Из-за наличия структурных изменений выявить тенденцию достаточно сложно, однако общая картина говорит об увеличении выбросов в перспективе.

**Заключение** Загрязнение окружающей природной среды является одним из приоритетных направлений стран мира. В России ведется также активная работа по сокращению объемов выбросов вредных веществ. Так, внедрен федеральный проект «Чистый воздух» нацпроекта «Экология», рассчитанный до 2024 года. Его основной целью является снижение уровня выбросов от промышленности, в том числе уменьшение не менее чем на 20% совокупного объема загрязнения воздуха в 12 наиболее проблемных населенных пунктах: Братске, Красноярске, Липецке, Магнитогорске, Медногорске, Нижнем Тагиле, Новокузнецке, Норильске, Омске, Челябинске, Череповце и Чите. Это позволит обеспечить улучшение качества жизни более чем 4 млн человек<sup>7</sup>.

Таким образом, в работе проанализированы региональные различия в выбросах загрязняющих в атмосферу веществ, а также проведен анализ динамики выбросов с прогнозированием показателей на перспективу.

### **Библиографический список:**

1. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года распоряжение правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г, № 3052-р

2. Миллиарды людей по-прежнему дышат нездоровым воздухом: новые данные ВОЗ [электронный ресурс] – Режим доступа. –URL:

---

<sup>7</sup> Национальный проект «Экология» [электронный ресурс] – Режим доступа. –URL: <https://muob.ru/aktualno/news/novosti-poseleniy/939729.html>

<https://www.who.int/ru/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>

3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. – 864 с.

4. Зинченко А.П. Статистика. Учебник для студентов вузов, Москва, 2013. – 368 с.

5. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование, Саратов, 2019. – 310 с.

6. Национальный проект «Экология» [электронный ресурс] – Режим доступа. –URL: <https://muob.ru/aktualno/news/novosti-poseleniy/939729.html>

#### **References:**

1. Strategy of Socio-Economic Development of the Russian Federation with Low Greenhouse Gas Emissions until 2050 Decree of the Government of the Russian Federation dated October 29, 2021, № 3052-r

2. Billions of people are still breathing unhealthy air: new WHO data [electronic resource] - Access mode. –URL: <https://www.who.int/ru/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>

3. On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2020. State report. – Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2021. – 864 p.

4. Zinchenko A.P. Statistics. Textbook for university students, Moscow, 2013. – 368 p.

5. Afanasyev V.N. Time series analysis and forecasting, Saratov, 2019. – 310 p.

6. National project «Ecology» [electronic resource] – Access mode. –URL: <https://muob.ru/aktualno/news/novosti-poseleniy/939729.html>

**Для цитирования:** Харитонова А.Е., Байгужина К.Э., Статистический анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Российской Федерации / Российский экономический интернет-журнал. – 2022. – № 3. URL: © Харитонова А.Е., Байгужина К.Э., Российский экономический интернет-журнал 2022, № 3.