

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ

Агейкина Татьяна Алексеевна,
магистрант 2 года обучения экономического факультета,
Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва,
г. Саранск
e-mail: t.ageikina@mail.ru

В статье затрагивается проблема антропогенного загрязнения атмосферного воздуха. Представлена динамика вредных выбросов в атмосферу Республики Мордовия. В результате исследования построена модель антропогенного загрязнения атмосферного воздуха Республики Мордовия.

Ключевые слова: антропогенное загрязнение, выбросы загрязняющих атмосферного воздуха веществ, метод наименьших квадратов, аналитическое выравнивание, экспоненциальное сглаживание, ARIMA-модель.

В настоящее время из всех форм загрязнения окружающей среды в регионах России именно загрязненность атмосферы вредными веществами является наиболее опасной.

Атмосферный воздух является самым важным жизнеобеспечивающим компонентом природной среды и представляет собой смесь газов и аэрозолей приземного слоя атмосферы, сложившуюся в ходе эволюции Земли, деятельности человека и находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений [4]. Уровень загрязнения воздушной среды зависит, как правило, от степени урбанизированности и промышленного развития территории, а также от климатических условий, определяющих потенциал загрязнения атмосферы.

Результаты экологических исследований, как в России, так и за рубежом, однозначно свидетельствуют о том, что загрязнение приземной атмосферы – самый мощный, постоянно действующий фактор воздействия на человека, пищевую цепь и окружающую среду. Атмосферный воздух имеет неограниченную емкость и играет роль наиболее подвижного, химически агрессивного и всепроникающего агента взаимодействия вблизи поверхности компонентов биосферы, гидросферы и литосферы.

Антропогенное загрязнение атмосферы составляет лишь всего 0,5% от общего загрязнения природными явлениями (пыльные бури, извержение вулканов, лесные пожары и т. д.). Тем не менее, именно этот тип загрязнения имеет наибольшее негативное воздействие на многие живые организмы, на материальные ценности, созданные трудом, и, конечно, на самого человека. Загрязнение городов, главным образом промышленностью, транспортом, способствует развитию многих хронических заболеваний. Поэтому охрана атмосферного

воздуха и озонового слоя является наиболее приоритетной проблемой экологии, и ей уделяется пристальное внимание во всех развитых странах.

Итак, проблема охраны воздушной среды настолько важна, что нет практически в мире государства, которое бы в той или иной мере не пыталось ее решить. Однако для этого необходима соответствующая статистическая информация [5].

Осуществим прогнозирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в Республике Мордовия, для определения возможного состояния атмосферного воздуха региона в будущем. Для этого были собраны данные за 25 лет (с 1986 по 2011 гг.), которые удовлетворяют требованию объективности и сопоставимости, так как они получены по одной и той же утвержденной методике и для одной и той же территории.

С целью более наглядного представления общей картины тенденции развития выбранного явления и для проведения более глубокого анализа построим общий график динамики (рисунок 1).

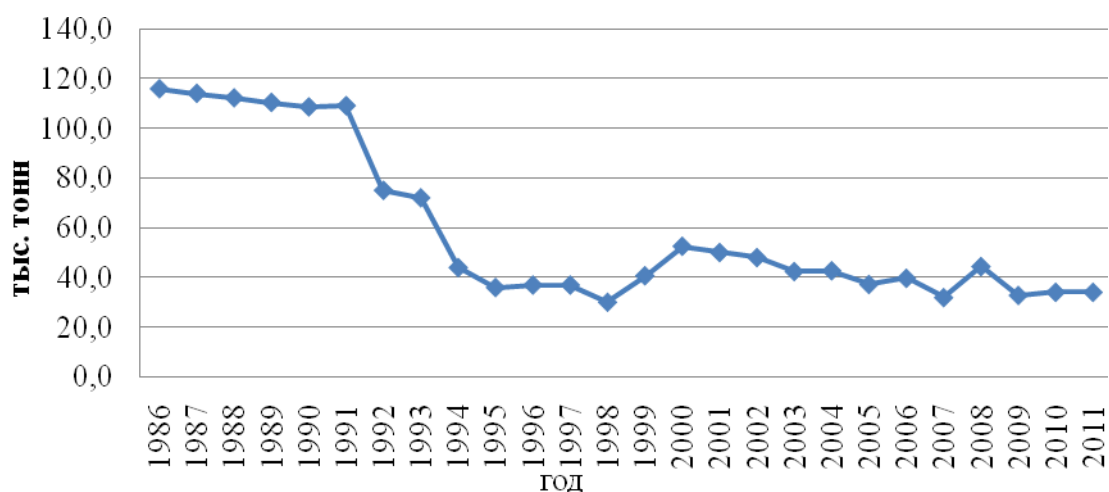


Рисунок 1 – Динамика выбросов загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха в Республике Мордовия за период 1986-2011 гг., тыс. тонн

Данный временной ряд можно разделить на 3 периода:

1) с 1986 по 1991 гг. Период «перестройки», когда успех ускорения социально – экономического развития страны связывался с более активным использованием достижений науки и техники, расширением прав предприятий, укреплением порядка и дисциплины на производстве. На протяжении этого периода в атмосферу выбрасывалось в среднем 112,5 тыс. тонн загрязняющих веществ в год;

2) с 1991 по 1998 гг. Это связано с нестабильной экономической ситуацией, происходившей в данный период как в Республике Мордовия, так и в стране в целом. Произошел спад производства в основных предприятиях (стационарных источниках загрязнения), вырабатывающих выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

3) с 1998 по 2011 гг. Наблюдается тенденция стабильных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в среднем на уровне 41,4 тыс. тонн в год. Этому способствовало возобновление производства в стационарных источниках загрязнения, появление новых предприятий, а также применение на источниках загрязнения новых технологий очистительных сооружений.

Графическое изображение исходного ряда (рисунок 1) подтверждает наличие тенденции. Исследуемый временной ряд не содержит сезонную составляющую St , так как анализируются не месячные данные, а годовые.

Для прогнозирования в работе используем следующие модели:

- прогнозирование на основе кривых роста;
- экспоненциальное сглаживание;
- ARIMA – модель.

Для аналитического выравнивания временных рядов наиболее часто используют функции линейной, параболической и экспоненциальной зависимости [6].

С помощью табличного процессора «Microsoft Excel» были получены уравнения кривых. Выбор наилучшей кривой роста проводился путем перебора основных форм тренда и расчета по каждому уравнению коэффициента детерминации R^2 (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Виды трендовых моделей

Вид функции	Аналитическое выражение	Коэффициент детерминации
Прямая	$\hat{y} = 110,8 - 3,609t$	0,704
Парабола	$\hat{y} = 142,1 - 10,32t + 0,248t^2$	0,846
Экспонента	$\hat{y} = 113e^{-0,05t}$	0,695

Максимальное значение R^2 характерно для параболы. Следовательно, изменение величины выбросов в атмосферу имеет параболическую тенденцию.

Наглядно это можно увидеть на рисунке 2.

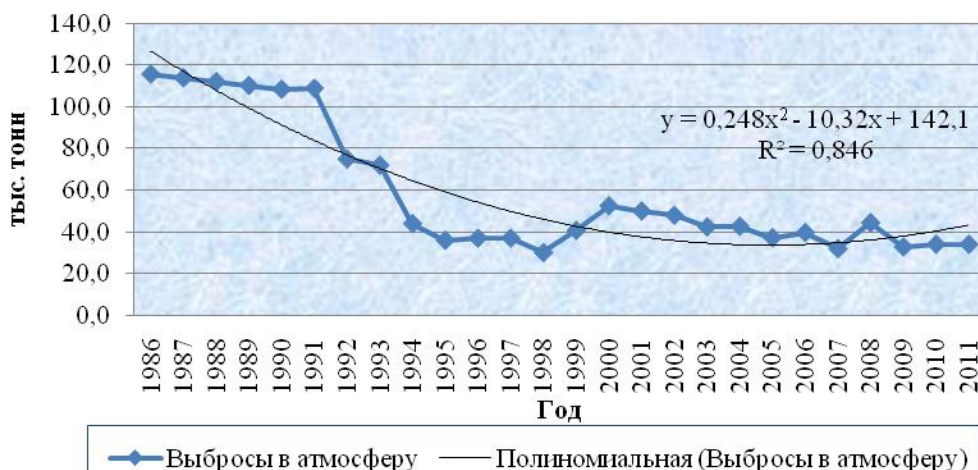


Рисунок 1 – Сглаживание ряда выбросов загрязняющих веществ в атмосферу РМ с помощью параболического тренда, тыс. тонн

Сущность метода экспоненциального сглаживания заключается в том, что исследуемый временной ряд сглаживается с помощью полинома второй степени так, чтобы веса подчинялись экспоненциальному закону, по которому более ранним наблюдениям придается меньший вес, чем более поздним [2]. Поскольку анализируемый временной ряд не содержит сезонные колебания, то его можно представить квадратичной моделью экспоненциального сглаживания:

$$Y_t = a_0 + a_1 t + \frac{1}{2} a_2 t^2 + E_t, \quad (1)$$

где за a_0, a_1, a_2 берутся оценки параболического тренда:

$$\hat{Y}_t = 142,1 - 10,32t + 0,248t^2 + E_t \quad (2)$$

При построении прогнозов с помощью метода экспоненциального сглаживания одной из основных проблем является выбор оптимального параметра сглаживания α . Если он близок к единице, то при прогнозе учитывается в основном влияние лишь последних наблюдений; если он близок к нулю, то веса, по которым взвешиваются уровни временного ряда, убывают медленно и при прогнозе учитываются все прошлые наблюдения. В наших расчетах использовалась величина параметра сглаживания $\alpha=0,429$, которая была получена с помощью критерия минимума средней квадратической ошибки.

В итоге была построена следующая прогнозная модель:

$$y_{t+l}^* = 33,855 - 1,573l - \frac{1}{2} 0,095l^2 \quad (3)$$

Рассмотрим возможность применения для прогнозирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферу проинтегрированной модели авторегрессии и скользящего среднего (ARIMA-модели), исходя из того, что в исследуемом временном ряду присутствует тренд и отсутствуют сезонные колебания. Повышение точности прогноза временных рядов связывают с формированием класса моделей, объединяющих в себе авторегрессию, скользящую среднюю и тренд. Объединение в одну модель дает возможность более широкого практического применения и позволяет единым образом формировать единый прогноз на основе данной модели.

В неявном виде ARIMA-модель порядка (p, d, q) имеет вид:

$$\phi_p(B) \cdot (1-B)^d y_t = \Psi_q(B) E_t, \quad (4)$$

где p – порядок авторегрессии;

q – порядок скользящего среднего;

d – порядок конечных разностей;

B – оператор сдвига: $B y_t = y_{t-1} \dots B^p y_t = y_{t-p}$; $B E_t = E_{t-1} \dots B^p E_t = E_{t-p}$.

В результате расчетов подобрана ARIMA-модель порядка $(1,2,0)$ с оценкой параметра авторегрессии $a_1 = -0,7026$.

В явном виде данная модель имеет вид:

$$y_t = 1,2974 y_{t-1} + 0,4052 y_{t-2} - 0,7026 y_{t-3} + e_t \quad (5)$$

Для того чтобы применить ту или иную модель для прогнозирования, необходимо проверить следующие гипотезы:

а) правильно ли подобрано уравнение тренда;

б) независимы ли отклонения от тренда;

в) подчиняются ли отклонения от тренда закону нормального распределения.

И только при подтверждении этих трех гипотез, считается, что выбранная модель адекватно описывает анализируемый временной ряд, и ее можно применять для прогнозирования.

Первая гипотеза подразумевает проверку того, что отклонения от тренда носят случайный характер, то есть их изменения не связаны с изменением времени. Проверим эту гипотезу с помощью критерия «восходящих» и «нисходящих» серий. Для того, чтобы гипотеза о случайности компонентов не была отвергнута, должны выполняться следующие неравенства при 5%-м уровне значимости:

$$\begin{cases} v(n) > \left[\frac{1}{3}(2n-1) - 1,96 \sqrt{\frac{(16n-29)}{90}} \right] \\ k_{max}(n) \leq k_0(n) \end{cases} \quad (6)$$

Вторая гипотеза предполагает выявление зависимости между последовательными уровнями ряда остатков. Если они не обладают свойством независимости, значит, коррелируют между собой – это говорит о наличии автокорреляции в остатках. Наиболее распространенным приемом обнаружения автокорреляции является метод, предложенный Дарбиным и Уотсоном. Критерий Дарбина-Уотсона связан с гипотезой о существовании автокорреляции первого порядка, то есть автокорреляции между соседними остаточными членами. Значение этого критерия определяется по формуле:

$$d = \frac{\sum(e_t - e_{t-1})^2}{\sum e_t^2} \quad (7)$$

Полученное значение d сравнивается с табличными d_1 и d_2 – соответственно нижняя и верхняя границы критерия d .

Третья гипотеза предполагает проверку соответствия отклонений закону нормального распределения. Проводить ее можно с помощью исследования показателей асимметрии и эксцесса. При нормальном распределении эти показатели должны быть равны нулю. Но так как отклонения от тренда представляют собой лишь выборку из некоторой генеральной совокупности, то определяются только выборочные характеристики асимметрии и эксцесса и их ошибки. Гипотеза принимается, если одновременно выполняются следующие неравенства:

$$\begin{cases} |A| < 1,5 * \delta_A \\ |E + 6/(n+1)| < 1,5 * \delta_E \end{cases} \quad (8)$$

На практике, для выбора наилучшей модели прогнозирования применяется средняя ошибка аппроксимации:

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_t - \tilde{y}_t}{y_t} \right| \times 100\%, \quad (9)$$

где y_t - фактические значения ряда, \tilde{y}_t - выровненные значения ряда, n – длина ряда.

Все полученные результаты по каждой модели прогнозирования, а именно: проверка на независимость, случайность, нормальность остатков, а также средняя относительная ошибка аппроксимации представлены в нижеприведенной таблице 2.

ARIMA–модель является наилучшей моделью прогноза, так как ей соответствует наименьшая средняя ошибка аппроксимации. Кроме того, отклонения фактических уровней от выровненных значений носят случайный характер, то есть изменения этих отклонений не связаны с изменением времени ряда динамики; последовательные значения ряда остатков обладают свойством независимости, то есть не коррелируют между собой, и соответствуют закону нормального распределения.

Т а б л и ц а 2

Оценка качества анализируемых моделей

Модель прогноза	Проверка случайной компоненты на			Средняя ошибка аппроксимации, %
	независимость	случайность	нормальность	
Параболический тренд	-	+	+	16,15
Квадратичная модель экспоненциального сглаживания	+	+	-	14,94
ARIMA-модель порядка (1, 2, 0)	+	+	+	11,89

Формула для прогнозирования по этой модели выглядит следующим образом:

$$y_{t+l}^* = 1,2974y_{t-1+l} + 0,4052y_{t-2+l} - 0,7026y_{t-3+l} + e_t \quad (10)$$

Вероятные границы предсказанного значения y_{t+l}^* можно получить с помощью следующего интервала:

$$y_{t+l}^* \pm t_{\alpha} \sigma_{e_t}^2, \quad (11)$$

где $\sigma_{e_t}^2$ - оценка дисперсии случайной величины.

Результаты прогноза выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Республики Мордовия на 2011-2014 гг. на основе ARIMA-модели оформим в виде таблицы 3.

Т а б л и ц а 3

Прогноз выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в РМ на 2012-2015 гг. на основе ARIMA-модели, тыс. тонн

Годы	Прогноз	Нижняя граница прогноза	Верхняя граница прогноза
2012	26,28	24,91	27,65
2013	24,84	23,46	26,20
2014	18,95	17,58	20,31
2015	16,18	14,81	17,54

Графически изобразим исходные данные и данные, рассчитанные по ARIMA–модели с учетом прогнозных оценок (рисунок 3).



Рисунок 1 – Прогноз выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в РМ на 2012-2015 гг. на основе ARIMA-модели, тыс. тонн

С вероятностью 95% можно предположить, что величина выбросов загрязняющих веществ в атмосферу РМ будет постепенно снижаться и к 2015 году, согласно точечному прогнозу, достигнет 16,18 тыс. тонн.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Адам А. М. УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ НА УРОВНЕ СУБЪЕКТА ФЕДЕРАЦИИ / А. М. Адам. – М. ТИССО, 2008. – 148 с.
2. Айвазян С. А. Методы эконометрики / С. А. Айвазян. – М. ИНФРА-М, 2010. – 506 с.
3. Блам И. Ю. Счастье, качество питьевой воды и воздух, которым мы дышим / И. Ю. Блам // Вопросы статистики. – 2012. – №9. – С. 45-51.
4. Бобылев С. Н. Экономика природопользования: Учебник. / С. Н. Бобылев, А. Ш. Ходжаев – М.: ИНФРА-М, 2007. – 501 с.
5. Восьмирко Е. О. Статистика окружающей среды: краткая история и перспективы развития на будущее / Е. О. Восьмирко // Вопросы статистики. – 2013. – №6. – С. 3 – 7.
6. Елисеева И. И. Эконометрика // Под ред. И. И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
7. Сажин Ю. В. Многомерные статистические методы анализа экономических процессов: учебник / Ю. В. Сажин, Ю. В. Сарайкин, В. А. Басова, А. В. Катынь. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 288 с.
8. Мордовия: Стат. ежегодник / Мордовиястат. – Саранск, 2012. – 472 с.
9. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.mnr.gov.ru/.
10. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.gks.ru.

ECONOMETRIC MODELING AND FORECASTING OF AIR POLLUTION IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA

Ageikina Tatyana Alekseevna,
undergraduate of the second year, Department of Economics,
Ogarev Mordovia State University,
Saransk
e-mail: t.ageikina@mail.ru

The article is devoted to the problem of anthropogenous pollution of atmospheric air. The dynamics of harmful atmospheric emissions of the Republic of Mordovia is given. As a result of research the model of anthropogenous pollution of atmospheric air of the Republic of Mordovia is constructed.

Keywords: anthropogenous pollution, emissions of air pollutants, method of the smallest squares, analytical smoothing, exponential smoothing, ARIMA model.