

**АГЕЙКИНА Т. А.**

**ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ФОРМЫ МОДЕЛИ АНТРОПОГЕННОГО  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ**

**Аннотация:** В статье затрагивается проблема антропогенного загрязнения атмосферного воздуха. Дана общая характеристика антропогенного загрязнения воздуха Республики Мордовия. Обоснована необходимость построения системы одновременных уравнений для описания структурных связей показателей антропогенного воздействия на воздушный бассейн. В результате исследования построена структурная форма модели антропогенного загрязнения атмосферного воздуха Республики Мордовия.

**Ключевые слова:** антропогенное загрязнение, выбросы загрязняющих атмосферу веществ, система одновременных уравнений, структурная форма, приведенная форма, регрессия, косвенный метод наименьших квадратов

**AGEIKINA T. A.**

**CREATION OF THE STRUCTURAL FORM OF MODEL OF ANTHROPOGENOUS  
POLLUTION OF THE AIR POOL IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA**

**Abstract:** The article is devoted to the problem of anthropogenous pollution of atmospheric air. The general characteristic of anthropogenous air pollution of the Republic of Mordovia is given. Need of creation of system of the simultaneous equations for the description of structural communications of indicators of anthropogenous impact on the air pool is proved. As a result of research the structural form of model of anthropogenous pollution of atmospheric air of the Republic of Mordovia is constructed.

**Keywords:** anthropogenous pollution, emissions of air pollutants, system of the simultaneous equations, structural form, reduced form, regression, indirect method of the smallest squares

В настоящее время из всех форм загрязнения окружающей среды именно загрязненность атмосферы вредными выбросами является наиболее опасной. Обычно, говоря о загрязнении, имеют в виду именно антропогенное загрязнение и оценивают его, сравнивая мощности естественных и антропогенных источников загрязнения.

Загрязнение окружающей среды промышленными выбросами оказывает вредное воздействие на людей, животных, растения, почву, здания, сооружения и на другие техногенные объекты, снижает прозрачность атмосферы, повышает влажность воздуха, увеличивает число дней с туманами [2]. Данная ситуация является корнем глобальной экологической проблемы, которая не обошла стороной и Республику Мордовия. Для оценки

масштабов и нахождения путей решения данной проблемы необходима соответствующая статистическая информация.

Республика Мордовия расположена в индустриальной зоне европейской части России, на стыке таких высокоразвитых районов, как Центральный, Поволжский, Центрально-черноземный. В этой связи качество воздушной среды в регионе зависит не только от выбросов местных источников, но и от фонового уровня загрязнения атмосферы региона [5].

Техногенное загрязнение воздушной среды на территории региона во многом обусловлено деятельностью предприятий промышленности и энергетики, а также работой транспортных средств (таблица 1).

Таблица 1 – Выбросы наиболее распространенных вредных веществ, отходящих от стационарных промышленных источников загрязнения в Республике Мордовия, тыс. тонн

Год	2007	2008	2009	2010	2011	Темп роста (снижения) 2011 г. к 2007 г., %
Всего	32	44	33	34	34	106,3
в том числе:						
твердые вещества	4	4	3	4	3	75,0
газообразные и жидкие вещества из них:						
окислы азота	5	6	6	8	6	120,0
окислы углерода	5	5	5	6	6	120,0
углеводороды (без летучих органических соединений)	16	27	17	14	16	100,0
летучие органические соединения	1	1	1	2	2	200,0
диоксид серы	1	1	1	-	1	-

Анализ динамики выбросов загрязняющих веществ в атмосферу показал, что в 2011 году количество вредных веществ по сравнению с 2007 годом увеличилось на 6,3% и составило 34 тыс. тонн. Из всех видов загрязнения воздуха, поступающих в Мордовию извне, наиболее ощутима пыль, углеводороды, окислы азота и углерода.

Выбрасываемые в атмосферу вредные вещества улавливаются и обезвреживаются с помощью специальных очистных установок. Так, в 2011 году было обезврежено 99% уловленных выбросов.

Для описания структурных связей социально-экономических показателей в эконометрических исследованиях часто бывает недостаточно использования одного регрессионного уравнения. В таких случаях строят систему одновременных

(взаимосвязанных) эконометрических уравнений [6]. В ней одни и те же зависимые переменные в одних уравнениях входят в левую часть, а в других – в правую часть системы.

Перед построением структурной формы модели антропогенного загрязнения атмосферы в Республике Мордовия введем следующие обозначения:

$Y_1$  – выбросы загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников, тыс. тонн;

$Y_2$  – выбросы загрязняющих атмосферу веществ от автомобильного транспорта, тыс. тонн;

$X_1$  – индекс промышленного производства, %;

$X_2$  – пассажирооборот, млн. пасс.-км.

Все данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результативные и факторные переменные антропогенного загрязнения воздушного бассейна Республики Мордовия

Год	$Y_1$	$Y_2$	$X_1$	$X_2$
1995	36,0	66,3	76,9	690,0
1996	37,0	68,4	84,5	561,0
1997	37,0	68,4	105,4	603,0
1998	30,1	55,7	100,7	644,0
1999	40,7	75,3	112,5	648,0
2000	52,6	97,3	118,1	581,0
2001	50,0	92,5	109,0	629,0
2002	48,0	88,8	109,6	685,0
2003	42,4	78,4	122,1	702,0
2004	42,7	79,0	113,3	751,0
2005	37,2	68,8	106,8	559,0
2006	39,7	73,4	111,3	568,0
2007	31,9	59,0	114,7	686,0
2008	44,4	82,1	114,8	662,0
2009	32,8	80,7	124,1	642,0
2010	34,1	63,3	100,5	769,0
2011	34,1	63,1	100,5	743,0

Структурная форма системы одновременных уравнений в нашем случае имеет вид:

(1)

Использование обычного метода наименьших квадратов (МНК) для оценивания структурных коэффициентов модели дает смещенные и несостоятельные оценки. Поэтому обычно для определения структурных коэффициентов модели структурная форма модели преобразуется в приведенную форму модели. Параметры структурной формы модели по

приведенным коэффициентам можно определить не всегда. Для этого необходимо, чтобы модель была идентифицируемой.

Проверим необходимое условие идентифицируемости каждого уравнения системы (1) в отдельности. Обозначим число эндогенных переменных в уравнении через  $K$ , а число экзогенных (предопределенных), которые содержатся в системе, но не содержатся в данном уравнении, - через  $G$ . В первом уравнении  $K=2$  ( $Y_1, Y_2$ ),  $G=1$  ( $X_2$ ). Выполняется условие  $G+1 = K$ , следовательно, данное уравнение идентифицируемо. Во втором уравнении  $K=2$  ( $Y_2, Y_1$ ),  $G=1$  ( $X_1$ ). Выполняется условие  $G+1 = K$ , следовательно, данное уравнение также идентифицируемо. Так как оба уравнения идентифицируемы, то система (1) является идентифицируемой, и для оценки ее параметров необходимо применить косвенный метод наименьших квадратов (КМНК) [1].

На начальном этапе проведения КМНК строится приведенная форма модели и определяются численные значения параметров каждого ее уравнения обычным МНК.

Приведенная форма модели антропогенного загрязнения атмосферы региона выглядит следующим образом:

(2)

В результате применения обычного метода наименьших квадратов получены следующие значения коэффициентов приведенной формы модели:  $\beta_{11}=0,28$ ,  $\beta_{12}=0,02$ ,  $\beta_{21}=0,56$ ,  $\beta_{22}=0,02$ . В итоге имеем:

(3)

Завершающим этапом проведения КМНК является переход от приведенной формы модели к структурной посредством алгебраических преобразований. Таким образом, мы представили коэффициенты структурной формы модели (1) в виде следующих формул:

$$\beta_{11} = \frac{\beta_{11}^*}{1 - \beta_{11}^* - \beta_{21}^* \beta_{12}^*} \quad (4)$$

$$\beta_{12} = \frac{\beta_{12}^*}{1 - \beta_{11}^* - \beta_{21}^* \beta_{12}^*} \quad (5)$$

$$\beta_{21} = \frac{\beta_{21}^*}{1 - \beta_{11}^* - \beta_{21}^* \beta_{12}^*} \quad (6)$$

$$\beta_{22} = \frac{\beta_{22}^*}{1 - \beta_{11}^* - \beta_{21}^* \beta_{12}^*} \quad (7)$$

В итоге построена следующая структурная форма модели антропогенного загрязнения воздушного бассейна Республики Мордовия:

(8)

Теснота связи между изучаемыми зависимостями была оценена по величине коэффициента множественной корреляции. Для первого уравнения построенной системы  $R=0,875$ , для второго -  $R=0,881$ , то есть связь между факторами можно считать высокой. Коэффициент детерминации  $D_1$  равен 86,5 %, то есть изменение величины загрязняющих атмосферу выбросов стационарными источниками в Республике Мордовия на 86,5 % вызвано влиянием отобранных и включенных в модель факторов. Коэффициент детерминации  $D_2$  равен 87,1 %, то есть изменение величины загрязняющих атмосферу выбросов автомобильным транспортом в Республике Мордовия на 87,1 % вызвано влиянием отобранных и включенных в модель факторов.

Перейдем к интерпретации уравнений структурной модели антропогенного загрязнения атмосферы Республики Мордовия.

При увеличении количества выбросов в атмосферу от автомобильного транспорта на 1 тыс. тонн, число загрязняющих выбросов от стационарных источников в среднем по совокупности увеличится на 1,357 тыс. тонн. При увеличении темпов роста промышленного производства на 1 %, число загрязняющих выбросов от стационарных источников в среднем по совокупности увеличится на 0,485 тыс. тонн.

При увеличении количества выбросов в атмосферу от стационарных источников на 1 тыс. тонн, число загрязняющих выбросов от автомобильного транспорта в среднем по совокупности увеличится на 2,029 тыс. тонн. При увеличении пассажирооборота на 1 млн. пасс.-км, число загрязняющих выбросов от автомобильного транспорта в среднем по совокупности увеличится на 0,026 тыс. тонн.

По критерию Фишера следует, что уравнения регрессии надежны ( $F_\phi > F_t$ ). Значения критерия Дарбина-Уотсона, служащего для определения наличия автокорреляции в ряду остатков, равны 1,39 и 1,44 соответственно, что больше критического значения 1,38 для данного количества степеней свободы. Проверка остатков модели на соответствие закону нормального распределения показала, что они могут считаться нормально распределенными.

Исходные и рассчитанные с помощью структурной модели значения представлены на рисунке 1.

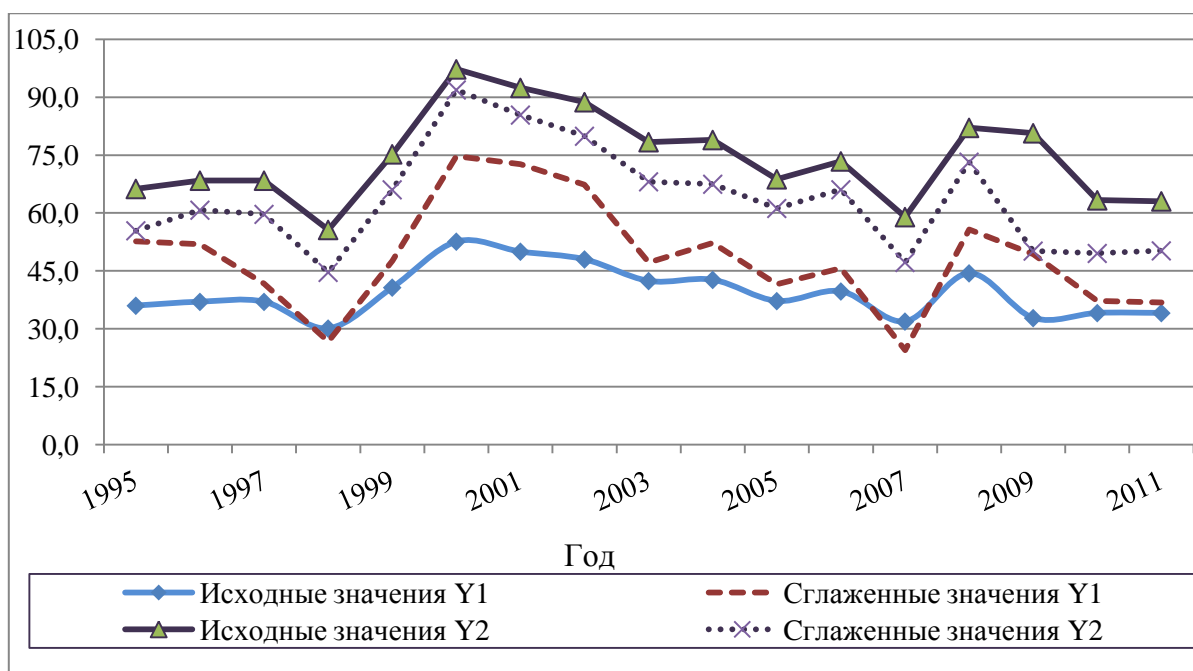


Рисунок 1 – Сглаживание ряда выбросов загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников и автомобильного транспорта в Республике Мордовия с помощью структурной модели, тыс. тонн

Таким образом, в результате исследования построена структурная форма модели антропогенного загрязнения воздушного бассейна Республики Мордовия, описывающая изменение и взаимосвязь показателей загрязнения атмосферы в регионе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян С.А. Методы эконометрики. – М., 2010. – 512 с.
2. Блам И.Ю. Счастье, качество питьевой воды и воздух, которым мы дышим // Вопросы статистики. – 2012. - №9. – С. 45-51.
3. Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования. - М., 2007. – 501 с.
4. Восьмирко Е.О. Статистика окружающей среды: краткая история и перспективы развития на будущее // Вопросы статистики. – 2013. - №6. – С. 3-7.
5. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2011 году - [Электронный ресурс].– Режим доступа: [www.minzdrav.e-mordovia.ru/news/view/8626](http://www.minzdrav.e-mordovia.ru/news/view/8626).
6. Елисеева И.И. Эконометрика. – М., 2007. – 576 с.
7. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации - [Электронный ресурс].– Режим доступа: [www.gks.ru](http://www.gks.ru).
8. Сажин Ю. В., Сарайкин Ю. В., Басова В. А., Катунь А. В. Многомерные статистические методы анализа экономических процессов. – Саранск, 2008. – 288 с.