

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

А. Д. Журавская

Белорусский государственный университет, г. Минск; anastasisizhur@mail.ru;

науч. рук. – М. В. Дубатовская, канд. физ.-мат. наук, доц.

Атмосферный воздух – это самый важный элемент, который обеспечивает существование природной среды и является смесью газов приземного слоя атмосферы. Он является практически незаменимым ресурсом, без которого сложно представить жизнь на Земле. Актуальность темы заключается в том, что загрязнение атмосферного воздуха является одной из самых больших проблем человечества. Для определения состояния атмосферного воздуха необходимо осуществить прогнозирование выбросов загрязняющих веществ. На основании имеющихся данных будем строить модель для прогноза динамики выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Ключевые слова: антропогенное загрязнение, прогнозирование, экспоненциальное сглаживание.

Наиболее опасной формой загрязнения окружающей среды является антропогенное загрязнение, которое оказывает вредоносное воздействие на людей, животных, природу в целом, а также на техногенные объекты. С проблемой загрязнения атмосферы связано изменение климата, истощение озонового слоя, появление кислотных дождей и ухудшение здоровья людей [1].

По данным статистики, суммарные выбросы загрязняющих веществ в 1990 году достигли 3402,8 тысяч тонн, а уже в 2018 - 1235,3 тысяч тонн, т.е. почти в 3 раза меньше. Последние 3-4 года выбросы от стационарных источников стабильны и составляют 453 тысяч тонн, а основной объем выбросов исходит от промышленности – больше 70%, а также от жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ).

Республика Беларусь ежегодно проводит мониторинг атмосферного воздуха для наблюдения за содержанием загрязняющих веществ в воздухе, снежном покрове и осадках. Результаты данного мониторинга в 2018 году показали, что самыми опасными являются выбросы твердых частиц.

Для определения состояния атмосферного воздуха необходимо осуществить прогнозирование выбросов загрязняющих веществ. Для более наглядного представления развития данного явления посмотрим на общий график динамики выбросов, представленный на рис.1.

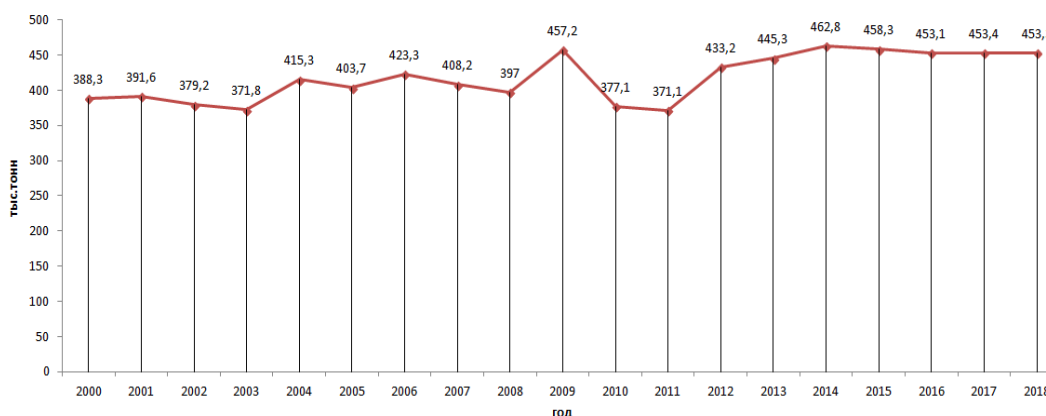


Рис.1. Динамика выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха Республики Беларусь за период 2000-2018 гг. [2]

Графическое изображение исходного ряда подтверждает наличие возрастающей тенденции. Исследуемый временной ряд не содержит сезонную составляющую S_t , так как анализируются годовые данные.

Для аналитического выравнивания временных рядов обычно используют функции линейной, параболической и экспоненциальной зависимости [3].

Таблица 1

Уравнения кривых, их значения и коэффициенты детерминации

| Вид функции | Аналитическое выражение | Коэффициент детерминации |
|-------------|--|--------------------------|
| Прямая | $\hat{y} = 4,3074t - 8235,4$ | 0,5356 |
| Парабола | $\hat{y} = 0,1295t^2 - 515,85t + 514256$ | 0,5472 |
| Экспонента | $\hat{y} = 5E - 07e^{0,0102t}$ | 0,5228 |

Примечание: собственная разработка на основе [2]

Максимальное значение R^2 соответствует параболической зависимости, а, следовательно, изменение величины выбросов загрязняющих веществ в атмосферу имеет параболическую тенденцию, что иллюстрирует рис.2.

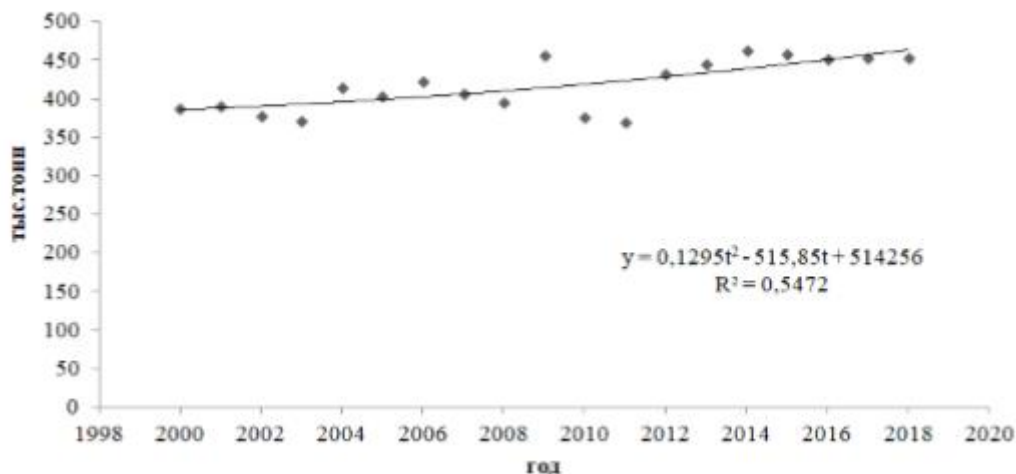


Рис.2. Сглаживание ряда выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с помощью параболического тренда, тысяч тонн

Прогнозирование динамики выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду методом экспоненциального сглаживания

На основании уже имеющихся данных построим модель для прогноза динамики выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду методом экспоненциального сглаживания. Согласно этому методу расчет значений исследуемого показателя производится по формуле:

$$\hat{Y}_{t+1} = k \times Y_t + (1-k) \times \hat{Y}_t, \quad (1)$$

где t – период, который предшествует прогнозному, $t+1$ – прогнозный период, k – коэффициент сглаживания, Y_t – фактическое значение исследуемого показателя, измеряемое в тыс.тонн, \hat{Y}_t – экспоненциально взвешенная средняя для периода, предшествующего прогнозному.

При прогнозировании методом экспоненциального сглаживания возникает затруднение при выборе значения параметра сглаживания k . Он задается нами вручную и находится в диапазоне от 0 до 1. Чем больше значение k , тем больше влияние последних периодов на прогноз. Для сравнения возьмем значения k , равные 0,8 и 0,1 и посмотрим их влияние на прогноз. Прогнозные значения для k мы нашли по формуле (1).

Для каждой модели определим ошибку, отняв в каждом периоде из фактических значений прогноз на этот период. Затем рассчитаем среднеквадратическое отклонение ошибки модели к прогнозной модели путем расчета для каждого периода отношения квадрата ошибки модели к квадрату прогноза на этот период. А для того, чтобы рассчитать точность прогноза, необходимо от единицы вычесть среднее значение по рассматриваемым периодам среднеквадратических отклонений.

| Год, t | Yt | коэффициент сглаживания k=0,8 | | | | коэффициент сглаживания k=0,1 | | | |
|--------|-------|-------------------------------|---|---|----------------------------|-------------------------------|---|---|----------------------------|
| | | Прогноз Yt (k=0,8) | Ошибка модели | среднеквадратично е отклонение ошибки модели к прогнозной модели | коэффициент сглаживания | Прогноз Yt (k=0,1) | Ошибка модели | среднеквадратично е отклонение ошибки модели к прогнозной модели | коэффициент сглаживания |
| 2000 | 388,3 | 388,3 | 0 | 0 | 0,8 | 388,3 | 0 | 0 | 0,1 |
| 2001 | 391,6 | 388,3 | 3,3 | 7,222501-05 | 0,8 | 388,3 | 3,3 | 7,222501-05 | 0,1 |
| 2002 | 379,2 | 390,94 | -11,74 | 0,000901812 | 0,8 | 388,3 | -9,63 | 0,000788777 | 0,1 |
| 2003 | 371,8 | 382,548 | -10,748 | 0,000652729 | 0,8 | 387,687 | -15,887 | 0,001679273 | 0,1 |
| 2004 | 415,3 | 373,7496 | 41,5504 | 0,01235936 | 0,8 | 386,0983 | 29,2017 | 0,005720322 | 0,1 |
| 2005 | 403,7 | 406,98982 | -3,28982 | 6,534361-05 | 0,8 | 389,01847 | 14,68153 | 0,001424302 | 0,1 |
| 2006 | 423,3 | 404,357984 | 18,942016 | 0,002194423 | 0,8 | 390,486623 | 32,813377 | 0,007081379 | 0,1 |
| 2007 | 408,2 | 419,5115968 | -11,3115968 | 0,000727043 | 0,8 | 393,7679807 | 14,4320393 | 0,001343905 | 0,1 |
| 2008 | 397 | 410,4623194 | -13,46231936 | 0,001075705 | 0,8 | 395,2111646 | 1,78883537 | 2,648721-05 | 0,1 |
| 2009 | 457,2 | 399,6924639 | 57,50753611 | 0,020701299 | 0,8 | 395,3900482 | 61,80995183 | 0,024437882 | 0,1 |
| 2010 | 377,1 | 445,6984028 | -68,59840277 | 0,023689005 | 0,8 | 401,5710434 | -24,47104330 | 0,003713472 | 0,1 |
| 2011 | 371,1 | 390,8196986 | -19,71969855 | 0,002545937 | 0,8 | 399,123939 | -28,02393902 | 0,004929953 | 0,1 |
| 2012 | 432,2 | 375,0439397 | 58,15606029 | 0,024045048 | 0,8 | 396,3215431 | 36,87845489 | 0,008058648 | 0,1 |
| 2013 | 445,3 | 421,5687879 | 23,73121206 | 0,003168859 | 0,8 | 400,0063906 | 45,2900094 | 0,012819644 | 0,1 |
| 2014 | 462,8 | 440,5517570 | 22,24624241 | 0,002549855 | 0,8 | 404,5384515 | 58,26154846 | 0,020741704 | 0,1 |
| 2015 | 458,3 | 458,3507515 | -0,050751518 | 1,226031-08 | 0,8 | 410,4646264 | 47,83518361 | 0,013644977 | 0,1 |
| 2016 | 453,1 | 458,3101503 | -5,210150304 | 0,000129235 | 0,8 | 415,1581457 | 37,94185425 | 0,008352375 | 0,1 |
| 2017 | 452,4 | 454,1420301 | -1,742030081 | 2,609861-06 | 0,8 | 418,9523312 | 34,44768883 | 0,006760881 | 0,1 |
| 2018 | 453,3 | 453,5484006 | -0,248400612 | 2,999091-07 | 0,8 | 422,3970981 | 30,90290194 | 0,0053525 | 0,1 |
| 2019 | | 453,3496812 | ср. значение ср. квадратического отклонения | 0,004993719 | | 425,4873883 | ср. значение ср. квадратического отклонения | 0,006701158 | |
| | | | точность | 99,5% | | | точность | 99,3% | |

Рис.3. Прогнозирование методом экспоненциального сглаживания

Таким образом, рассчитав точность прогноза для моделей с коэффициентами сглаживания, равными 0,8 и 0,1 можно заметить, что точность модели с $k=0,8$ составляет 99,5% и она выше, чем в модели с $k=0,1$, для которой точность составляет 99,3%. Эту же ситуацию можно увидеть на рис.4.

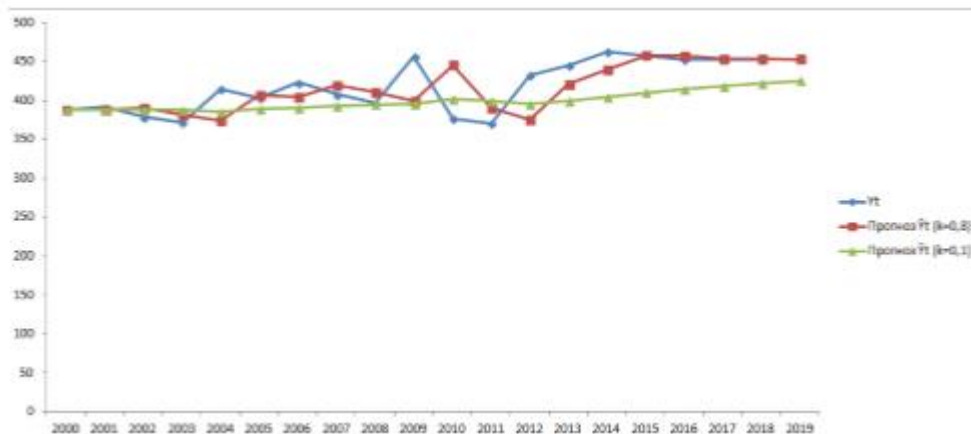


Рис.4. График экспоненциального сглаживания

Следовательно, для данного ряда из двух коэффициентов оптимальным для прогноза будет использование коэффициента сглаживания равным 0,8.

Согласно прогнозу методом экспоненциального сглаживания, количество выбросов в 2019 году составит 453,35 тысяч тонн. Так как на сайте Национального статистического комитета Республики Беларусь [4] за 2019 год данных по выбросам пока нет, сделать прогноз на 2020 год довольно проблематично. Однако нам и не стоит полагаться на прогнозные данные на 2020 год, так как в связи с пандемией COVID-19 воздействие антропогенных выбросов на окружающую среду снижается. Предполагаемые выбросы сократятся на 4-7% по сравнению с 2019 годом в зави-

симости от продолжительности изоляции и степени восстановления экономики. К сожалению, вероятнее всего эти сокращения будут временными.

Библиографические ссылки

1. *Васильева Е. Э.* Экономика природопользования: курс лекций. Мн.: Издательский центр БГУ, 2012. 191 с.
2. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный Статистический Комитет Республики Беларусь. Минск, 2019. Режим доступа: <http://belstat.gov.by>. Дата доступа: 07.05.2020.
3. *Елисеева И. И.* Эконометрика. М.: Финансы и статистика, 2007. С. 576.
4. Мониторинг атмосферного воздуха. Режим доступа: <http://www.nsmos.by/uploads/archive/Sborniki/4%20AIR%20Monitoring%202018.pdf>. Дата доступа: 01.05.2020.