

### *Библиографический список*

1. Альхамова, Г.К. Продукты функционального назначения/ Г.К. Альхамова [и др.] // Молодой учёный, 2014. – №12. – С.62-65.
2. Иванова, Т.Н. Биологически активные добавки и их применение / Т.Н. Иванова. – Орёл: Орёл ГТУ, 2015. – 196с.
3. Лупова, Е.И. Использование муки бобовых культур в технологиях мясных рубленых изделий / Е.И. Лупова, И.С. Питюрина И.С. // В сб.: Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса. Матер. 70-й Межд. науч.-практич. конф. 2019. С. 63-67.
4. Теплов, В.И. Функциональные продукты питания: учеб.пособие /В.И. Теплов. – М.: А-Приор, 2010. – 240с.
5. Хорунжин, С.И. Технология функциональных мясопродуктов: учебно-метод. комплекс/ С.И. Хорунжин. – Кемерово, 2007. – 67с.
6. Юдина, С. Б. Технология продуктов функционального питания : учебное пособие / С. Б. Юдина. – СПб: Лань, 2017. – 325с.

**УДК 234.109.490.178.**

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ (В РАСЧЕТЕ НА ДУШУ НАСЕЛЕНИЯ)**

***Борисевич М.Н.***

*Витебская государственная академия ветеринарной медицины,  
г. Витебск, Белоруссия*

Keywords: pollutants, emissions, mathematical models.

Summary: The purpose of this article is to build a group of mathematical models that make it relatively easy to estimate the emissions of pollutants (in kg) by year in the Republic of Belarus per capita. ThesourcematerialforthearticlewasBelstatdata.

Загрязнение атмосферного воздуха происходит при попадании в него вредных или избыточных количеств различных веществ, включая газы (такие как диоксид углерода, монооксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, метан и хлорфторуглероды), частиц (как органического, так и неорганического происхождения), а также целого ряда биологических молекул [1-3].

Выбросы загрязняющих веществ наносят значительный вред всем живым организмам на Земле – людям, животным, продовольственным культурам, изменяя и разрушая естественную и искусственную экологическую систему [4,5]. Загрязнение может быть вызвано не только человеческой деятельностью, но и различными природными процессами [6,7].

Основными загрязнителями являются оксид углерода, двуокись углерода, диоксид серы, оксиды азота, озон, углеводороды, свинец [8,9].

Оксид углерода - бесцветный газ, не имеющий запаха, известен также под названием «угарный газ». Образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива (угля, газа, нефти) в условиях недостатка кислорода и при низкой температуре. При вдыхании угарный газ за счёт имеющейся в его молекуле двой-

ной связи образует прочные комплексные соединения с гемоглобином крови человека и тем самым блокирует поступление кислорода в кровь.

Двуокись углерода или углекислый газ — бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода. Является одним из парниковых газов.

Диоксид серы (диоксид серы, сернистый ангидрид) образуется в процессе сгорания серосодержащих ископаемых видов топлива, в основном угля, а также при переработке сернистых руд. Он, в первую очередь, участвует в формировании кислотных дождей. Общемировой выброс диоксида серы оценивается в 190 млн. тонн в год. Длительное воздействие диоксида серы на человека приводит вначале к потере вкусовых ощущений, стесненному дыханию, а затем — к воспалению или отеку лёгких, перебоям в сердечной деятельности, нарушению кровообращения и остановке дыхания.

Оксиды азота (оксид и диоксид азота) газообразные вещества: монооксид азота  $\text{NO}$  и диоксид азота  $\text{NO}_2$  объединяются одной общей формулой  $\text{NO}_x$ . При всех процессах горения образуются окислы азота, причем большей частью в виде оксида. Чем выше температура сгорания, тем интенсивнее идет образование окислов азота. Другим источником окислов азота являются предприятия, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения. Количество окислов азота, поступающих в атмосферу, составляет 65 млн. тонн в год. От общего количества выбрасываемых в атмосферу оксидов азота на транспорт приходится 55 %, на энергетику — 28 %, на промышленные предприятия — 14 %, на мелких потребителей и бытовой сектор — 3 %.

Озон газ с характерным запахом, более сильный окислитель, чем кислород. Его относят к наиболее токсичным из всех обычных загрязняющих воздух примесей. В нижнем атмосферном слое озон образуется в результате фотохимических процессов с участием диоксида азота и летучих органических соединений.

Углеводороды - химические соединения углерода и водорода. К ним относят тысячи различных загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т. д.

Свинец - серебристо-серый металл, токсичный в любой известной форме. Широко используется для производства красок, боеприпасов, типографского сплава и т. п. Около 60 % мировой добычи свинца ежегодно расходуется для производства кислотных аккумуляторов. Однако основным источником (около 80 %) загрязнения атмосферы соединениями свинца являются выхлопные газы транспортных средств, в которых используется этилированный бензин.

Для Республики Беларусь обозначенная в статье проблема очень важна [10-14]. По имеющимся данным с 2011г. по 2019г. масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в целом по стране в расчете на душу населения уменьшилась с 139 до 128 кг., этот вывод следует из статистики Белстата. Ситуация по областям следующая: самое высокое количество выбросов как в 2011г., так и в 2019г. фиксируется в Витебской области, соответственно 172 и 173 кг.; самое низкое – в Минске: было 111кг (в 2011г.), стало 74 кг (в 2019г.); если, на-

пример в Гродненской, Могилевской и Гомельской областях количество выбросов с годами уменьшилось, то в Минской и Брестской – наоборот, увеличилось. Мониторинг состояния атмосферного воздуха в Республике Беларусь проводится в 18 промышленных городах, включая областные центры, а также Полоцк, Новополоцк, Оршу, Бобруйск, Мозырь, Речицу, Светлогорск, Пинск, Новогрудок, Жлобин, Лиду и Солигорск. Регулярными наблюдениями охвачены территории, на которых проживает 81,3% населения крупных и средних городов страны. Сеть мониторинга атмосферного воздуха включает 61 станцию. В Минске, Витебске и Могилеве функционируют автоматические станции, позволяющие получать информацию о содержании в воздухе приоритетных загрязняющих веществ в режиме реального времени.

Во всех городах в воздухе определяются концентрации основных загрязняющих веществ: суммарных твердых частиц, диоксида серы, оксида углерода, диоксида азота. Измеряются также концентрации приоритетных специфических загрязняющих веществ: формальдегида, аммиака, фенола, сероводорода, сероуглерода. Во всех контролируемых городах определяется содержание в воздухе свинца и кадмия, в 16 городах – бенз(а)пирена, в 9 городах – летучих органических соединений.

Имеющиеся в настоящее время статистические данные по выбросам в разных регионах республики очень обширны и многочисленны. Как правило, они представлены в виде таблиц или обозримых графических зависимостей, наглядно иллюстрирующих полученные зависимости по годам. Между тем практически открытым остается вопрос о привлечении в практику подобного рода исследований простых математических методов, обеспечивающих построение различных математических моделей, удобных в использовании и надежных в точности описания, значительно упрощающих воспроизведение статистических данных и тем самым облегчающих статистический анализ.

Цель данной статьи – построение группы математических моделей, позволяющих сравнительно просто оценить выбросы загрязняющих веществ по годам в Республике Беларусь в расчете на душу населения (в кг).

Исходным материалом для статьи послужили данные Белстата, приведенные на рисунке 1, *a-u* по годам (кривая в виде точек, помеченная маркерами-квадратиками). Годы здесь отложены по оси абсцисс в таком представлении: 1=2011г.; 2=2012г.; 3=2013г. и т.д. По оси ординат заданы выбросы загрязняющих веществ на душу населения в Республике Беларусь (в кг).

Построение моделей осуществлялось в несколько этапов.

На первом был сформирован изначальный модельный список, который планировалось включить в работу. Он был определен девятью трендовыми линиями, широко используемыми в практике моделирования: логарифмической, степенной, линейной, экспоненциальной, полиномиальной 2-ой, 3-ей, 4-ой, 5-ой и 6-ой степеней.

На втором этапе был сформирован электронный вариант исходной годовой зависимости выбросов в Республике Беларусь в расчете на душу населения (см. уже названный рисунок 1, *a-u*, кривая в виде точек с маркерами-квадратиками).

На третьем этапе для заданной исходной зависимости строились соответствующие математические модели. Построение моделей придерживалось последовательности, указанной в таблице 1. Полученные в дальнейшем по этим математически моделям кривые обозначены здесь трендовыми линиями, следуя общепринятым в методологии моделирования соглашениям; указан тип трендовой линии, ее позиция на рисунке 1, соответствующее ей уравнение и рассчитанный для каждой из них коэффициент детерминации  $R^2$ . Эти кривые приведены на рисунке 1, *a*-исплошной линией.

Таблица 1 - Наименование трендовых линий, участвующих в исследовании, расположение линий на рис.1 и соответствующие этим линиям математическое уравнение и коэффициент детерминации

| № п.п. | Название трендовой линии          | Соответствующая линия сплошная кривая на рисунке | Уравнение трендовой линии и ее коэффициент детерминации  |
|--------|-----------------------------------|--|--|
| 1      | <u>логарифмическая</u>            | Рис.1,а  | $y = -7,3903 * \ln(x) + 146,73$<br>$R^2 = 0,5574$  |
| 2      | степенная                         | Рис.1,б  | $y = 146,96 * x^{-0,0542}$<br>$R^2 = 0,5652$   |
| 3      | линейная                          | Рис.1,в  | $y = -2,2333 * x + 147,39$<br>$R^2 = 0,7379$   |
| 4      | <u>полиномиальная 2-й степени</u> | Рис.1,г  | $y = -0,1017 * x^2 - 1,216 * x + 145,52$<br>$R^2 = 0,7458$   |
| 5      | <u>экспоненциальная</u>           | Рис.1,д  | $y = 147,66 * \exp(-0,0164 * x)$<br>$R^2 = 0,7475$   |
| 6      | <u>полиномиальная 3-й степени</u> | Рис.1,е  | $y = 0,2071 * x^3 - 3,2078 * x^2 + 11,871 * x + 131,86$<br>$R^2 = 0,8965$  |
| 7      | <u>полиномиальная 4-й степени</u> | Рис.1,ж  | $y = -0,0769 * x^4 + 1,7455 * x^3 - 13,483 * x^2 + 37,695 * x + 113$<br>$R^2 = 0,9823$                                 |
| 8      | <u>полиномиальная 5-й степени</u> | Рис.1,з  | $y = -0,0038 * x^5 + 0,0192 * x^4 + 0,8631 * x^3 - 9,8607 * x^2 + 31,299 * x + 116,67$<br>$R^2 = 0,9831$               |
| 9      | <u>полиномиальная 6-й степени</u> | Рис.1,и  | $y = -0,0041 * x^6 - 0,1261 * x^5 + 1,4489 * x^4 - 7,3502 * x^3 + 4,172 * x^2 - 1,6229 * x + 132,56$<br>$R^2 = 0,9855$ |

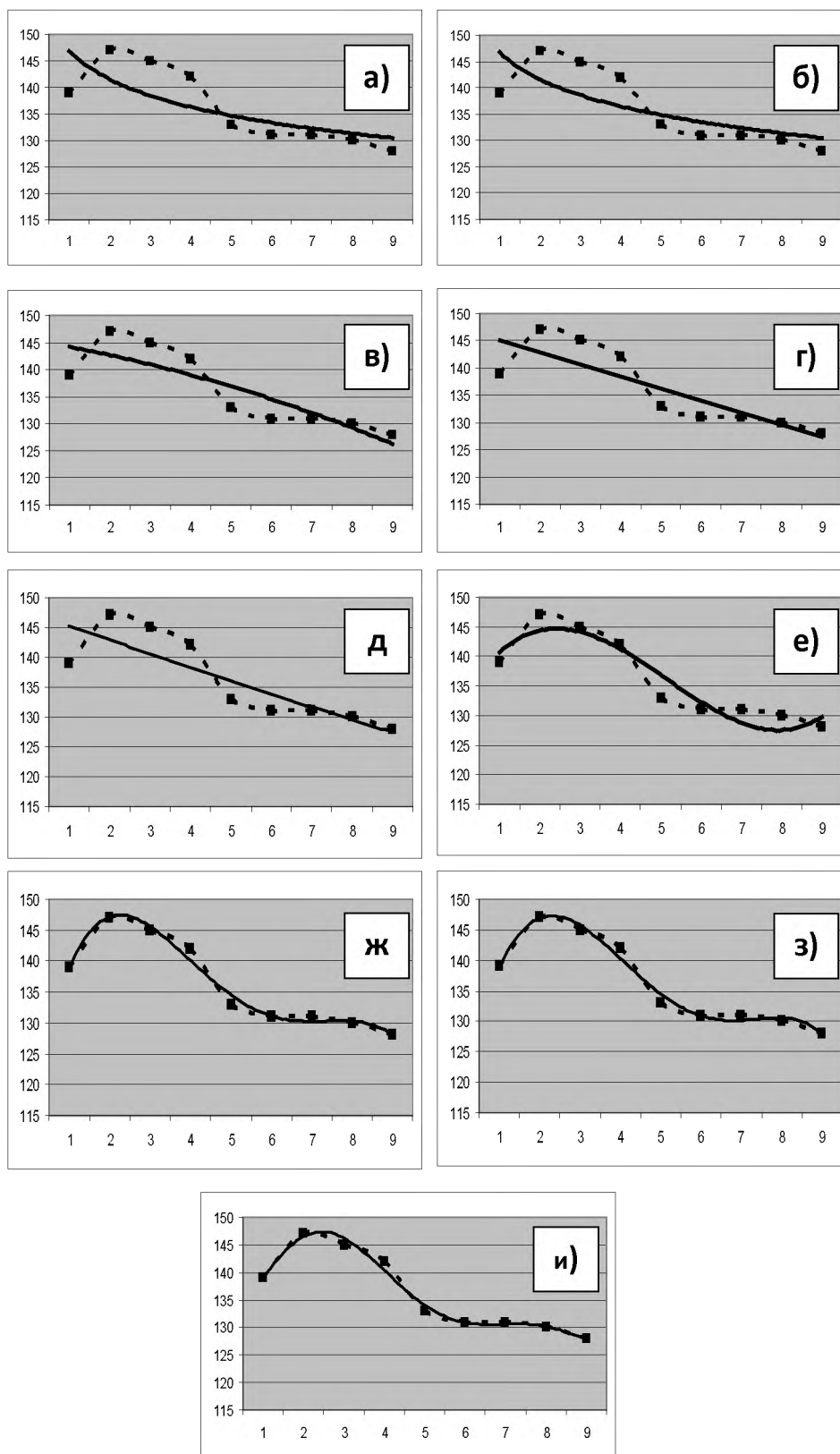


Рисунок 1 - Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в Республике Беларусь (в расчете на душу населения, кг) – кривые в виде точек с маркерами-квадратиками – данные Белстата; сплошные кривые – трендовые линии, соответствующие приведенным в таблице 1: 1 – 2011г.; 2 – 2012г.; 3 – 2013г.; 4 – 2014г.; 5 – 2015г.; 6 – 2017г.; 7 – 2017г.; 8 – 2018г.; 9 – 2019г.

Коэффициент детерминации  $R^2$  является неотъемлемой частью подобного рода исследований, поскольку служит критерием близости двух типов сравниваемых данных, фигурирующих в нашем эксперименте, одних, полученных путем расчета по математической модели и других, принадлежащих официальной статистике Белстата. Согласно теории моделирования в общем случае этот коэффициент может принимать любые значения, принадлежащие интервалу  $0 \leq R^2 \leq 1$ . Очевидно, что в описании статистических данных при  $R^2 = 0$  надежность математической модели равна нулю, а ошибка в их воспроизведении достигает максимальных 100%. Это означает, что модель не может быть рекомендована к использованию на практике. В противоположном случае, когда  $R^2 = 1$ , можно утверждать обратное – модель точно описывает статистические зависимости и может быть предложена к практическому использованию с целью их воспроизведения – при этом ошибка воспроизведения тождественно равна нулю. Промежуточные значения коэффициента детерминации, находящиеся между нулем и единицей, свидетельствуют о других частных ситуациях, однако в любом случае следует помнить, что чем ближе значение коэффициента детерминации к 1, тем точнее математическая модель описывает исходные данные. И наоборот, чем дальше значение  $R^2$  от единицы, тем ошибочнее данные, представленные по модельным формулам.

Напомним, в таблице 1 и на рисунке 1 сравниваемые кривые – модельные и Белстата - приведены в строгой последовательности – от минимального значения коэффициента детерминации до максимального. Так, для логарифмической модели, размещаемой на первом месте в таблице 1 и на рисунке 1, *a*, коэффициент детерминации равен 0,5564, для степенной –  $R^2=0,5652$ , для линейной -  $R^2=0,7379$ , для полиномиальной второй степени -  $R^2=0,7458$ , для экспоненциальной -  $R^2=0,7475$ , для полиномиальной третьей степени -  $R^2=0,8965$ , для полиномиальной четвертой степени -  $R^2=0,9823$ , для полиномиальной пятой -  $R^2=0,9831$ , для полиномиальной шестой степени -  $R^2=0,9855$ . Подчеркнем, на последнем месте (девятая позиция в таблице 1 и на рисунке 1, *u*) располагается полиномиальная трендовая линия 6-ой степени. Соответствующее ей уравнение приведено в таблице 1. Коэффициент детерминации для нее максимальный, хотя и не равен в точности единице, однако очень близок к ней. Поэтому с большой долей уверенности можно утверждать, что эту трендовую линию можно рекомендовать для воспроизведения статистических данных с погрешностью  $(1 - R^2) = 0,0145$  долей от единицы, или с ошибкой в 1,45%. Важно отметить также, что с этой целью допустимо использовать на практике и другие математические модели таблицы 1 и рисунка 1 (с погрешностями не выше 2%), размещаемые на восьмой, седьмой и шестой позициях таблицы 1 и рисунка 1. Насколько близки между собой сравниваемые кривые (рассчитанные по формулам и данным Белстата), можно видеть на соответствующих рисунках 1, *e-u*.

Подведем итог проделанной работе.

Первое - предложенные в статье математические модели не отличаются громоздкостью или заметной сложностью и по этой причине могут быть реко-

мендованы к использованию на практике (в пределах соответствующих им погрешностей воспроизведения исходных статистических данных).

Второе - построение моделей может быть значительно упрощено при привлечении к работе персонального компьютера – с этой целью нужно обратиться к известной компьютерной программе создания электронных таблиц и в несколько простых кликов можно достичь желаемого результата.

Третье – процедуру построения моделей, следуя логике данной статьи, можно повторить и для любых других данных статистики, которые уже получены исследователями, или которые еще будут найдены ими в будущем.

Четвертое – любые математические модели (хорошие они или плохие) позволяют без труда воспроизвести исходные данные в рамках отпущенных им погрешностей, и тем самым упростить статистические исследования, придавая им строгую математическую основу.

### *Библиографический список*

1. Александров В. Ю., Кузубова Е. П., Яблокова Е. П. Экологические проблемы автомобильного транспорта. - Новосибирск, 1995. - 133 с.
2. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан Л.Х. Озонный щит Земли и его изменения. СПб, 1992. - 63 с.
3. Архиреева С. И., Онушкевич А. А. Защита атмосферы от выбросов мартеповского производства. - М.: Металлургия, 1992. - 95 с.
4. Баландин Р. К., Бондарев Л. Г. Природа и цивилизация. - М.: Мысль, 1988. - 391 с.
5. Банников А. Г. и др. Основы экологии и охрана окружающей среды. 3-е изд. М.: Колос, 1996. - 486 с.
6. Безуглая Э.Ю. Чем дышит промышленный город. Л., 1991. - 26 с.
7. Белов С.В. "Безопасность жизнедеятельности" М.: Высшая школа, 1999 г. - 269 с.
8. Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы. М., 1986. 98 с.
9. Горелин Д. О., Конопелько Л. А. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. - М.: Изд-во стандартов, 1992. - 432 с.
10. Галай, Е. И. Пространственно-временные изменения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Беларуси от стационарных источников [Электронный ресурс] / Е. И. Галай // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии: материалы V Международн. научной конф. (к 80-летию геогр. фак. и каф. геогр. экологии БГУ), 14-17 октября 2014 г., Минск / редкол.: А.Н. Витченко (науч. ред.) [и др.]. — Минск: Изд. Центр БГУ, 2014г.—236с.
11. Антипова, О. С. Промышленное загрязнение атмосферного воздуха города Минска [Электронный ресурс] / О. С. Антипова // Сборник работ 69-й научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета 14-17 мая 2012 г., Минск. — Ч. I. — Минск, 2013. — С.58-61. — Режим доступа: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/96066/1/58-61.pdf>. — Дата доступа: 29.06.2015.
12. Казакевич, Л.А. Рациональное использование земельных ресурсов сельскохозяйственными организациями / Л.А. Казакевич, Д.В. Виноградов // В сб.: Формирование организационно-экономических условий эффективного функционирования АПК сборник научных статей X Межд. науч.-практич. конф. Минск, 2018. С. 435-438.
13. Щур, А.В. Экологические последствия развития интенсивного земледелия в Республике Беларусь / А.В. Щур, В.П. Валько, Д.В. Виноградов // Проблемы региональной экологии. 2016. № 3. С. 36-40.
14. Щур, А.В. Радиоэкологическая эффективность биологически активных препаратов в условиях Беларуси / А.В. Щур, Д.В. Виноградов, В.П. Валько, О.В. Валько, Г.Н. Фадькин, Г.Д. Гогмачадзе //АгроЭкоИнфо. 2015. № 5 (21). С. 6.