

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ВАЛОВЫМ ВЫБРОСАМ

**В. М. МИСЮЧЕНКО<sup>1)</sup>, А. В. ПИНЧУК<sup>1)</sup>, И. А. РОВЕНСКАЯ<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова,  
Белорусский государственный университет,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Представлен расчетный метод оценки качества атмосферного воздуха по валовым выбросам отдельных загрязнителей, позволяющий оценить качество воздуха без проведения инструментальных замеров. Проанализирована эффективность внедрения воздухоохраных мероприятий на примере одного из промышленных центров Республики Беларусь г. Борисова. Рассмотрена динамика выбросов загрязняющих веществ в целом по промышленному городу и приведены результаты статистических данных по затратам на мероприятие по охране атмосферного воздуха. Установлено, что увеличение капитальных и текущих затрат не влияет на количество выбрасываемых в атмосферный воздух веществ.

**Ключевые слова:** загрязняющие вещества; концентрация, качество атмосферного воздуха; промышленность; валовые выбросы; статистические данные; затраты; эффективность.

## SOME APPROACHES TO ASSESSING THE QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR IN AN INDUSTRIAL CITY USING THE CALCULATION OF THE POLLUTANTS CONCENTRATION BY GROSS EMISSIONS

**V. M. MISIUCHENKA<sup>a</sup>, A. V. PINCHUK<sup>a</sup>, I. A. ROVENSAYA<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,  
23/1 Dañhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus  
Corresponding author: V. M. Misiuchenka (vi925@mail.ru)

### Образец цитирования:

Мисюченко ВМ, Пинчук АВ, Ровенская ИА. Некоторые подходы к оценке качества атмосферного воздуха промышленного города с применением расчета концентрации загрязняющих веществ по валовым выбросам. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2020;4:98–105.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-4-98-105>

### For citation:

Misiuchenka VM, Pinchuk AV, Rovenskaya IA. Some approaches to assessing the quality of atmospheric air in an industrial city using the calculation of the pollutants concentration by gross emissions. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2020;4:98–105. Russian.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-4-98-105>

### Авторы:

**Виктория Мечеславовна Мисюченко** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; доцент кафедры экологического мониторинга и менеджмента.  
**Анастасия Владимировна Пинчук** – магистрант кафедры экологического мониторинга и менеджмента.  
**Ирина Александровна Ровенская** – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

### Authors:

**Viktoriya M. Misiuchenka**, PhD (agriculture), docent; associate professor at the department of environmental monitoring and management.  
[vi925@mail.ru](mailto:vi925@mail.ru)  
**Anastasya V. Pinchuk**, master's degree student at the department of environmental monitoring and management.  
[fotourist@mail.ru](mailto:fotourist@mail.ru)  
**Irina A. Rovenskaya**, PhD (biology), docent; associate professor at the department of environmental monitoring and management.  
[rovenskayaia@rambler.ru](mailto:rovenskayaia@rambler.ru)

The article proposes a method for assessing the quality of atmospheric air based on the gross emissions of individual pollutants. The method allows to assess the air quality without carrying out instrumental measurements. The effectiveness of the introduction of air protection measures is also analyzed on the example of an industrial center of the Republic of Belarus. The general dynamics of pollutant emissions for the industrial city are examined and the results of statistical data on the costs of measures for the atmospheric air protection are presented. It has been established that an increase in capital and operating costs does not affect the amount of substances emitted into the atmospheric air.

**Keywords:** pollutants; concentration; air quality; industry; gross emissions; statistics; costs; efficiency.

## Введение

В соответствии с Концепцией Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г., охрана атмосферного воздуха ставится одной из приоритетных задач [1]. Одним из реализуемых мероприятий в данном направлении является модернизация газоочистного оборудования с целью повышения эффективности очистки и снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

При внедрении природоохранных мероприятий вначале рассчитывается их экологическая и экономическая эффективность, которая дает возможность критически отнестись к проектам природоохранных решений, не позволяет повторять ошибки и постоянно совершенствовать природопользование.

Механизмом оценки экономической эффективности природоохранных мероприятий базируется на сопоставлении затрат и выгод (результатов) или эффектов. При оценке эффективности природоохранных мероприятий в зарубежных странах наиболее часто используется метод дисконтирования затрат, который подразумевает приведение будущих стоимостей к сегодняшним. В научной практике по-прежнему наиболее известным методом является эколого-экономическая оценка эффективности капитальных вложений в природоохранные мероприятия на основании годового предотвращенного ущерба.

Авторами проведен анализ затрат на мероприятия в области охраны атмосферного воздуха и данных наблюдений за концентрациями загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по постам метеорологических наблюдений, а также результатов по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух на примере одного из промышленных центров Республики Беларусь – г. Борисова. В настоящее время в нем действуют более 40 промышленных предприятий различных отраслей: машиностроения и металлообработки, приборостроения, химической, деревообрабатывающей, фармацевтической, предприятия по производству хрустальной и эмалированной посуды, пластмассовых изделий, спичек, мебели и т. д.

## Материалы и методы исследования

Основной вклад в содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в г. Борисове вносят выбросы предприятий химической отрасли, относящиеся к производству пластмассовых изделий, клеев, эфиров, скрипидара, канифоли, растворителей, красок, лаков, эфиров, охладителей, стеклоомывателей и антисептиков. Выбросы предприятий этого профиля представлены диоксидом серы, оксидом углерода, сажей, диоксидом азота, твердыми частицами, бензином, керосином, уксусной кислотой, ксилолом, бенз(а)пиреном, бутилацетатом, формальдегидом, углеводородами предельными C12-C19, фторидами, аммиаком, спиртами, азотной кислотой, бутанолом, фенолом, хлорбензолами.

Загрязняющие вещества от предприятий машиностроения и металлообработки включают сернистый ангидрид, угарный газ, оксиды азота, сернистую кислоту, ацетон, бутанол, бензин, аммиак, метан, уксусную кислоту, этилен, ксилол, окись цинка, формальдегид, хромовый ангидрид и др.

В процессе деревообработки основным выбрасываемым загрязняющим веществом является древесная пыль. Производство древесноволокнистых плит и мебели характеризуется выбросами сажи, оксида азота, оксида углерода. Помимо прочего могут выбрасываться пары растворителей и разбавителей, формальдегид, аммиак. При производстве резиносодержащей продукции в атмосферу выбрасываются свинец, оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, бутадиен, бензол, винилбензол (стирол), трихлорэтилен, фенол, формальдегид, акрил, нитрил, твердые частицы.

Нами проанализированы данные по валовым выбросам загрязняющих веществ от промышленных предприятий города на основании многолетних данных государственной статистической отчетности. В соответствии с объемами выбрасываемых загрязнителей, распределение загрязняющих веществ по классам опасности представлено на рис. 1. Основную часть загрязняющих веществ (71 %) составляют вещества 4-го класса опасности, 28 % – вещества 3-го класса, 1 % – 2-го и 0,2 % – 1-го класса опасности.

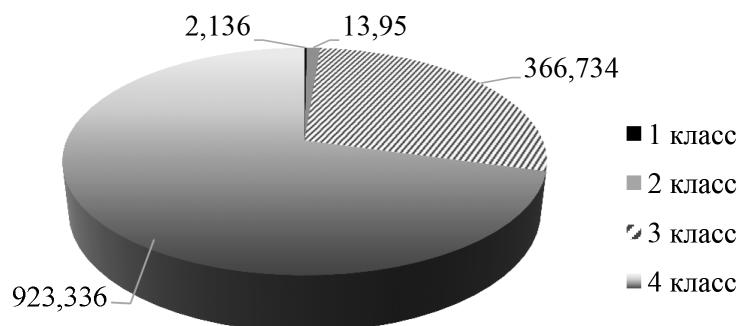


Рис. 1. Распределение загрязняющих веществ по классам опасности, т/год

Fig. 1. Distribution of pollutants by hazard classes, t/year

Перечень веществ, выбрасываемых промышленными предприятиями города, достаточно велик и включает в себя специфические и неспецифические вещества.

К специфическим относят вредные газообразные и парообразные вещества, выбрасываемые в атмосферу в сравнительно небольших количествах. К ним относятся аммиак, бенз(а)пирен, галогены (хлор) и их соединения, диоксины и др. Эти соединения обычно обнаруживаются в атмосферном воздухе вблизи промышленных предприятий, которые применяют или производят их в технологических процессах, либо они образуются при производстве других химических соединений. В работе рассматриваются такие из них, как аммиак, бенз/а/пирен, хром, метан, углеводороды ароматические – производные бензола, углеводороды предельные алифатического ряда  $C_1-C_{10}$  (алканы), формальдегид, этанол.

Неспецифические или общепромышленные – это выбросы, производящиеся практически всеми предприятиями. Они происходят в процессе отопления, передвижения автомобильного транспорта и др. К неспецифическим веществам относятся: оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, твердые частицы суммарно. Это вещества 3–4 класса опасности, характеризующиеся большими объемами выбросов и сравнительно малой токсичностью.

Из всех проанализированных специфических загрязняющих веществ на первом месте по валовому выбросу стоит метан и углеводороды предельные алифатического ряда  $C_1-C_{10}$  (алканы) – вещества 3 класса опасности. В период 2010–2018 гг. наибольший выброс метана наблюдался в 2013 и 2014 годах и составил свыше 600 т/год, а затем его выбросы резко сократились и составили в 2015 г. 70 т в год. В это же время с выбросами предельных углеводородов наблюдалась обратная тенденция: до 2015 г. они практически не менялись и колебались около 140 т в год, затем с 2015 г. выбросы метана стали резко расти и составили в 2016 г. 580 т (рис. 2).

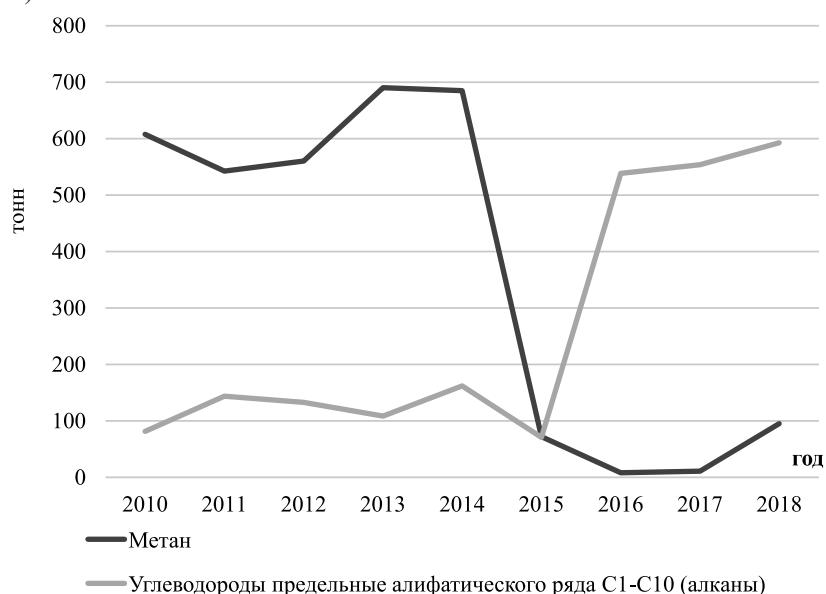


Рис. 2. Выбросы метана и углеводородов предельных алифатического ряда  $C_1-C_{10}$

Fig. 2. Emissions of methane and hydrocarbons of the limiting aliphatic series  $C_1-C_{10}$

Валовый выброс этанола и аммиака (4 класс опасности) за те же годы изменялись неравномерно. До 2014 г. были небольшие перепады вниз и вверх, после чего по всем веществам произошло уменьшение количества выбросов. К 2016 г. выбросы этанола опять возросли и вернулись практически до уровня 2014 г. и далее незначительно снижались.

Выбросы аммиака после 2015 года продолжали снижаться, а в 2018 г. вернулись до уровня 2015 г. (рис. 3).

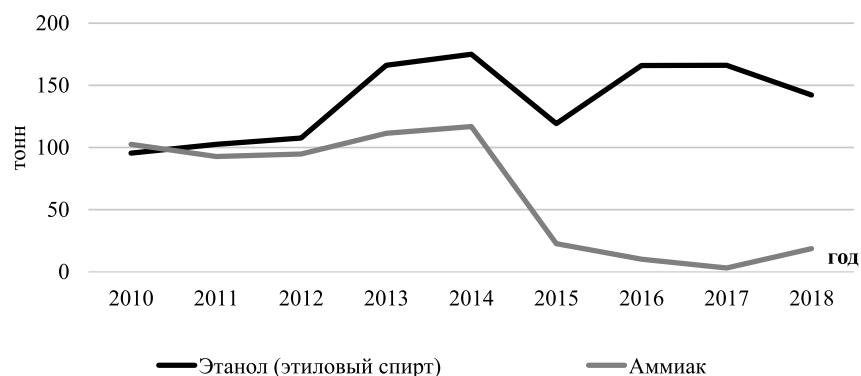


Рис. 3. Выбросы этанола и аммиака

Fig. 3. Ethanol and ammonia emissions

Схожая картина по динамике выбросов наблюдается между загрязнителями 2 класса опасности – формальдегидом, фенолом и ароматическими углеводородами – производными бензола. Сначала к 2012 г. наблюдалось небольшое увеличение выбросов, после чего выбросы стали равномерно уменьшаться до 2016 г., а к 2018 г. опять наблюдался их рост (рис. 4).

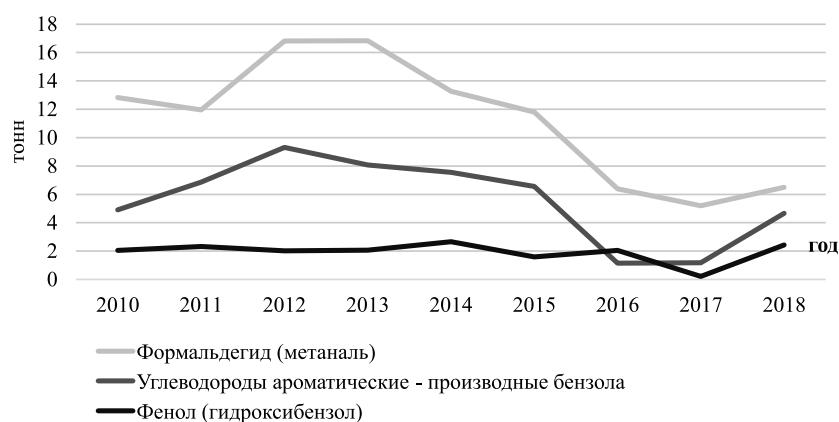


Рис. 4. Выбросы формальдегида, фенола и углеводородов ароматических производных бензола

Fig. 4. Emissions of formaldehyde, phenol and hydrocarbons of aromatic benzene derivatives

Характер выбросов веществ 1 класса опасности (хрома и бенз(а)пирена) сильно отличался. Так, выбросы хрома на протяжении всего периода наблюдений равномерно уменьшались со 150 до 10 кг в год. Выбросы же бенз(а)пирена держались примерно на одном уровне – в пределах 10 кг в год. Исключение составил 2013 г., в котором произошел резкий скачок вверх с 6 до 92 кг/год (рис. 5).

Однако наиболее значительный вклад в общее загрязнение атмосферного воздуха вносят выбросы неспецифических веществ, в первую очередь, выбросы оксида углерода. До 2017 г. выбросы этого вещества оставались в пределах 400–600 т/год, а в 2018 г. составили почти 3 тыс. т/год (рис. 6).

Именно за счет выбросов этого вещества увеличились общие выбросы в атмосферный воздух в 2018 г. (рис. 7).

Таким образом, заметно, что за анализируемый период выбросы всех загрязнителей в целом по городу возросли приблизительно в 2,5 раза. Наиболее значительный вклад в общее загрязнение атмосферного воздуха внесли выбросы углерода оксида. Именно за счет выбросов этого вещества увеличились общие выбросы в атмосферный воздух в 2018 г.

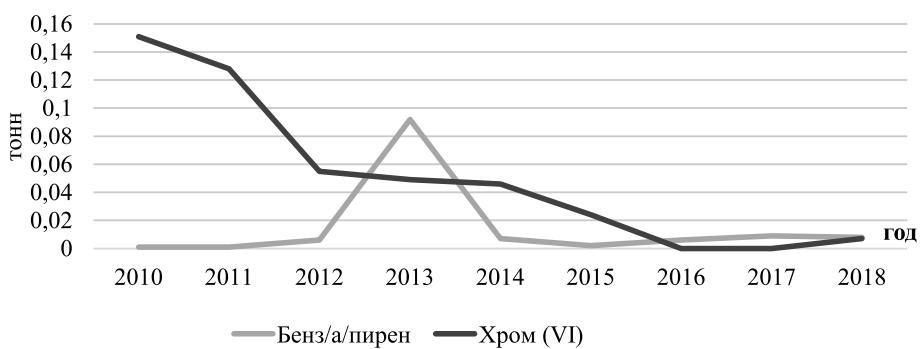


Рис. 5. Выбросы хрома и бенз(а)пирена

Fig. 5. Chromium and benzo (a) pyrene emissions

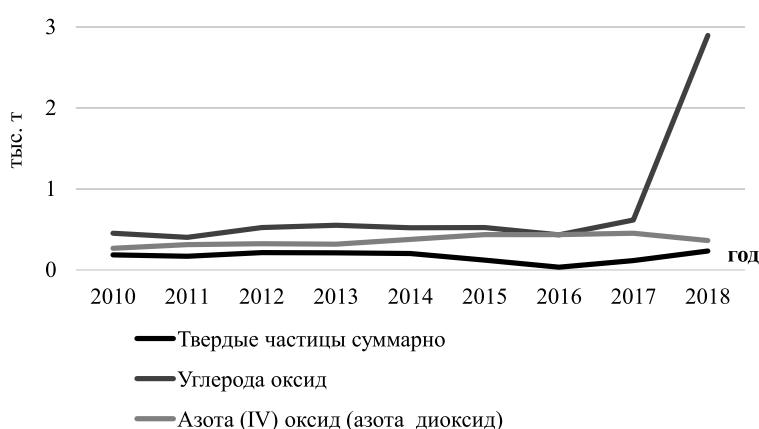


Рис. 6. Выбросы твердых частиц, углерода оксида и диоксида азота

Fig. 6. Particulate matter, carbon monoxide and nitrogen dioxide emissions

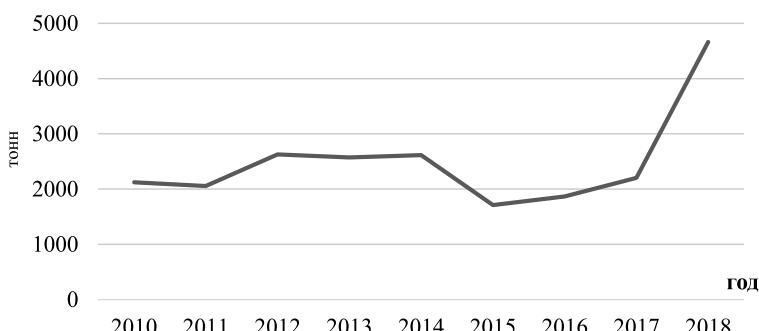


Рис. 7. Динамика выбросов специфических и неспецифических веществ в целом по г. Борисову

Fig. 7. Dynamics of emissions of specific and non-specific substances in the whole city of Borisov

Итак, по данным статистической отчетности за исследуемый период, по 46 предприятиям г. Борисова был проведен анализ текущих и капитальных затрат на мероприятия по охране атмосферного воздуха [2].

Согласно полученным данным по текущим и капитальным затратам, затраты на мероприятия по охране атмосферного воздуха с 2014 г. увеличились более чем в 10 раз (рис. 8). Увеличение затрат на охрану атмосферного воздуха не дало ощутимых результатов в виде снижения выбросов, а именно, в 2015 г. наблюдалось снижение общего валового выброса на 56 %, однако в то же время зафиксирован также спад производства. В 2016 и 2018 годах затраты находились примерно на одном уровне, а выбросы увеличились существенно. Таким образом, можно сделать вывод, что невозможно отследить четкую взаимосвязь затрат на охрану атмосферного воздуха с количеством выбрасываемых в атмосферный воздух загрязняющих веществ.

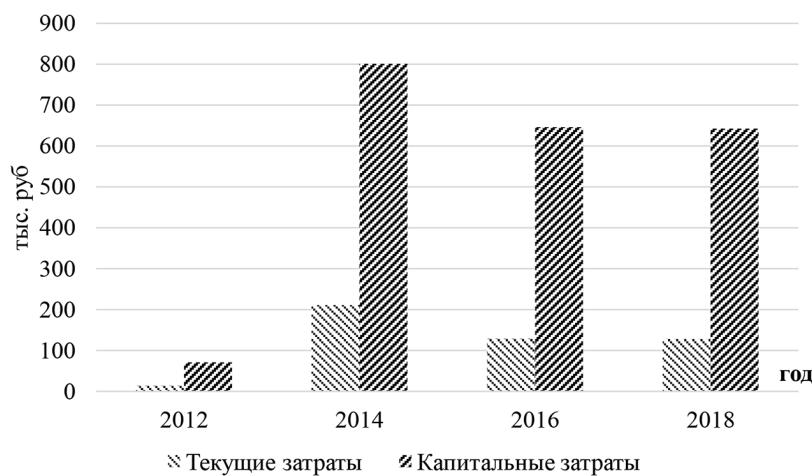


Рис. 8. Текущие и капитальные затраты на охрану атмосферного воздуха предприятий г. Борисова

Fig. 8. Current and capital costs for the protection of atmospheric air at the enterprises of the city of Borisov

С другой стороны, по валовому выбросу загрязняющих веществ очень сложно оценить качество атмосферного воздуха в том или ином населенном пункте. Как известно, при оценке данного параметра учитываются среднесуточные и максимально разовые предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ (ПДК). Средние за сутки значения сравниваются со среднесуточной ПДК, а максимальные – с максимально разовой. Для оценки состояния атмосферного воздуха используются также такие показатели, как количество дней в году, в течение которых установлены превышения среднесуточных ПДК и повторяемость (доля) проб с концентрациями выше максимально разовых ПДК, экологические нормы и правила Республики Беларусь ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование [3]. При обеспечении экологической безопасности населенных пунктов с населением свыше 20 тыс. чел. (а также иных населенных пунктов, в которых осуществляется мониторинг качества атмосферного воздуха) должны соблюдаться значения индекса качества атмосферного воздуха. Для рассматриваемого нами города индекс качества атмосферного воздуха по учитываемым загрязнителям находится в пределах 0–1, что означает «очень хороший».

Однако данные метеорологических пунктов не дают полной картины, так как в г. Борисове наблюдения за концентрациями загрязняющих веществ осуществляются только на двух пунктах мониторинга и только по четырем параметрам, довольно отрывочно с разной периодичностью. Один пункт наблюдений находится в промышленной зоне возле дороги. Неподалеку размещаются крупные предприятия ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий», ОАО «Борисовский завод медицинских препаратов», УП «ФреБор», ОАО «Борисовский завод «Автогидроусилитель». Второй пункт наблюдения размещен в спальном районе. Рядом нет промышленных предприятий. Неподалеку находится сквер, больничный комплекс, жилые дома.

### Результаты исследования и их обсуждение

В исследовании для оценки качества атмосферного воздуха расчетным путем определяли концентрации основных загрязнителей и проводили их сравнение со значениями предельно-допустимых концентраций этих веществ (ПДК), а также с имеющимися данными мониторинга атмосферного воздуха, полученными Государственным учреждением «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Республики Беларусь» (далее Гидромет).

Перерасчет валового выброса (т/год) в концентрации веществ в атмосферном воздухе ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) проводили следующим образом:

1. Рассчитывали объем воздуха, в который в течение суток поступают загрязняющие вещества. При этом высота, на которой происходит распределение загрязняющих веществ, принималась равной 30 м, что соответствует половине средней высоты трубы муниципальной котельной. Площадь города определяли по справочнику. При этом мы находим условный объем воздуха, не учитывая рельеф, наличие промышленных и спальных районов и т. д.

Далее учитывали нестационарность атмосферного воздуха. При этом принимали, что средняя скорость движения воздуха составляет 5 м/с – среднее значение между штилем и ветром. Зная средний диаметр города, мы получили время, за которое воздушная масса проходит из одного конца города в другой, а затем

определили кратность смены воздуха в населенном пункте за 1 сутки. Умножив объем воздуха на число его смен, мы получили тот объем воздуха, в который в течение суток поступали загрязняющие вещества.

2. Зная фоновые концентрации загрязняющих веществ в воздухе и суточный объем воздуха, получили, массу загрязняющих веществ, которые уже находятся в воздухе. Определили массу загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с учетом фоновых концентраций, делая допуск, что предприятия распределены равномерно по всему городу и они работают 24 ч в сутки 365 дней в году с одинаковой мощностью, независимо от времени года и режима труда.

3. Зная суточный объем воздуха, определили концентрацию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города с учетом выбросов предприятий и фоновых загрязнений воздуха.

В исследовании приводятся результаты расчета концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по трем загрязняющим веществам и дается их сравнение с полученными данными от Гидромета с предельно допустимыми концентрациями этих веществ в воздухе.

Согласно данным Гидромета, концентрация оксида углерода в воздухе г. Борисове с 2012 по 2014 год возрастила, а с 2016 г. в спальном районе города незначительно снизилась, но в промышленном – стала опять расти. По данным расчета, до 2016 г. концентрация этого загрязнителя практически не менялась, однако в 2018 г. наблюдалось увеличение концентрации данного вещества. При этом расчетные значения были очень близки инструментальным данным пункта наблюдений в промышленной зоне г. Борисова. В этих случаях они превышали нормативные значения качества воздуха по оксиду углерода с 2013 по 2018 гг. (рис. 9).

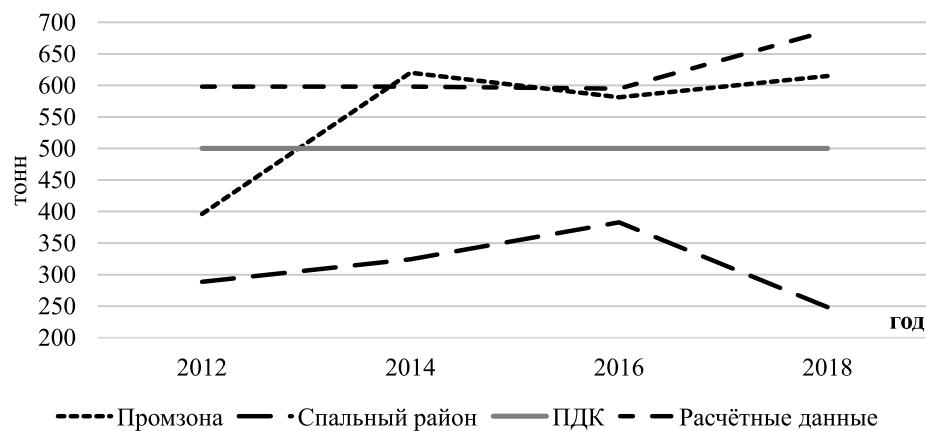


Рис. 9. Сравнительный анализ данных качества атмосферного воздуха по оксиду углерода

Fig. 9. Comparative Analysis of Air Quality Data for carbon monoxide

Анализом содержания фенола в атмосферном воздухе установлено, что превышения предельно-допустимых концентраций не было обнаружено ни по данным замеров, ни согласно расчетам. При этом характер всех кривых очень схож (рис. 10) – наблюдается плавное снижение концентрации фенола до минимума в 2016 г., однако к 2018 г. насыщенность этого вещества в воздухе увеличивается. Расхождения расчетных значений и данных инструментальных замеров составили около 22–50 %.

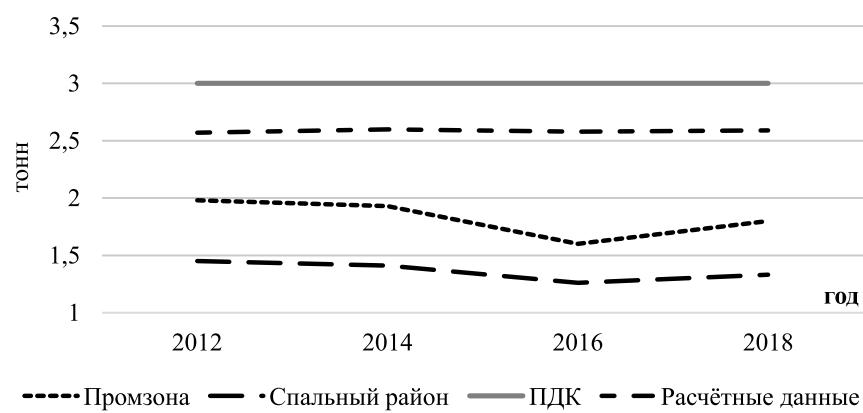


Рис. 10. Сравнительный анализ данных качества атмосферного воздуха по фенолу

Fig. 10. Comparative Analysis of Air Quality Data for Phenol

Иные результаты дало сопоставление концентраций диоксида азота в воздухе (рис. 11). Расчетные значения концентрации диоксида азота превышали предельно допустимые во весь период наблюдений, при этом с 2012 по 2016 гг. наблюдался рост значений, а к 2018 г. – небольшое снижение. Данные мониторинга атмосферного воздуха показывают значения замеров значительно ниже нормативных, а динамика по годам обратная расчетной – сначала снижение концентраций, а к 2018 г. резкое увеличение. Подобные различия расчетных и инструментальных данных можно объяснить активным протеканием химических реакций с диоксидом азота, попадающих в атмосферу и приводящих к снижению их концентрации в воздухе.

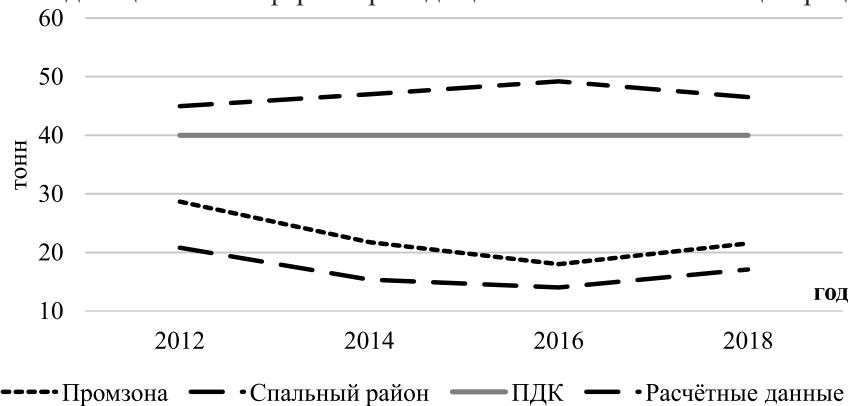


Рис. 11. Сравнительный анализ данных качества атмосферного воздуха по диоксиду азота

Fig. 11. Comparative Analysis of Air Quality Data for Nitrogen Dioxide

## Заключение

В ходе сопоставления результатов расчетов с результатами замеров и предельно-допустимыми концентрациями загрязняющих веществ в воздухе мы пришли к выводу, что различия между расчетными значениями и полученными в ходе инструментальных замеров допустимы и могут быть связаны с тем, что расчет концентраций произведен нами для всего города. Кроме того, в ходе расчета не учитывалась сезонность и процессы рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

Приведенный нами метод расчетов может применяться для определения концентрации тех загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, для которых инструментальные замеры невозможны, или не целесообразны. Однако следует учитывать, что полученные расчетные данные будут несколько завышены. При этом авторы утверждают, что если расчетные значения оказались ниже предельно-допустимых концентраций этого вещества в атмосферном воздухе, то норматив качества воздуха соблюден. В итоге следует отметить, что ежегодные увеличения капитальных и текущих затрат на природоохранные мероприятия не влияют на количество выбрасываемых в атмосферный воздух веществ.

## Библиографические ссылки

1. Концепция Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года: разработана Министерством экономики Республики Беларусь. Минск: [б. и.]; 2018.
2. Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-ос (затраты) «Отчет о текущих затратах на охрану окружающей среды» и указаний по ее заполнению: Постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь от 23 мая 2018 г. № 27 // ЭТАЛОН-ONLINE [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. Минск: [б. и.]; 2018.
3. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности, утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 20.12.2018 № 9-Т.

## References

1. Kontseptsii Natsionalnoy strategii ustoychivogo razvitsiya Respubliki Belarus na period do 2035 goda. Razrabotka Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus [The concept of the National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus for the period up to 2035: developed by the Ministry of Economy of the Republic of Belarus]. Minsk: [publisher unknown]; 2018. Russian.
2. On the approval of the state statistical reporting form 1-os (costs) «Report on the current costs of environmental protection» and instructions for filling it out: Resolution of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus of May 23, 2018 No. 27. ETALON-ONLINE [Electronic resource]. National Center for Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk: [publisher unknown]; 2018. Russian.
3. EkoNiP 17.01.06-001-2017 Okhrana okrughajushchey sredy i prirodopolosovanie [Environmental norms and rules 17.01.06-001-2017 Environmental protection and nature management]. Environmental safety requirements, approved by the decree of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus dated 20.12.2018 No. 9-T. Russian.