

М.А. Моцаков

МОНИТОРИНГ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В РЕГИОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

M.A. Motsakov

MONITORING OF CHEMICAL PROCESSES IN THE UPPER LAYER OF THE UNDERLYING SURFACE AND THE SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE IN THE REGION OF ST. PETERSBURG

Рассмотрены географические и климатические особенности региона Санкт-Петербурга, влияющие на степень загрязнения атмосферного воздуха. Данные Северо-Западного территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также измерения, проводимые автоматизированной системой контроля и управления качеством воздуха города Санкт-Петербурга, дают возможность проанализировать тренды качества воздуха в свойствах окружающей среды. Анализ данных наблюдений показывает, что качество воздуха в последние годы оставалось в основном на постоянном уровне. С 2006 г. появился отрицательный тренд концентрации CO.

Рекомендовано при проведении анализа загрязнения атмосферного воздуха города Санкт-Петербурга первоочередное внимание уделять таким примесям, как бензапирен, диоксид азота и взвешенные вещества.

Ключевые слова: мониторинг, химические процессы, приземный слой атмосферы, Санкт-Петербург.

We consider the geographical and climatic features of the region of St. Petersburg, affecting the degree of air pollution.

Data Northwest Territorial Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, as well as measurements made in the automated control system and air quality control of the city of St. Petersburg provide an opportunity to examine trends in air quality in the properties of the environment. Analysis of observational data shows that air quality in recent years remained basically constant. Since 2006, there was a negative trend of the concentration of CO. It is recommended to analyze the air pollution of the city of St. Petersburg to give priority to such impurities as benzo(a)pyrene, nitrogen dioxide and particulate matter.

Key words: monitoring, chemical processes, surface layer of the atmosphere, St. Petersburg.

Введение

В последние десятилетия в мире отмечается тенденция увеличения выбросов химически активных газов в атмосферу, особенно в крупных промышленных зонах и мегаполисах, что напрямую связано с ростом населения городов и урбанизацией территорий. Более чем 81 % населения России живет в городских

и промышленных районах с высоким содержанием газовых загрязнителей в воздухе. Антропогенные загрязнения, представленные главным образом выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, отличаются многообразием видов и многочисленностью источников. Причем, важным становится не только химический состав выбрасываемых в приземный слой атмосферы газов, но и их способность к химической трансформации и подверженность к трансграничному переносу в соседние, незагрязненные районы [Андруз и др., 1999].

Выброс крупных промышленных газовых загрязнителей с урбанизированных территорий может влиять не только на качество воздуха в данном регионе, но и на локальные метеорологические условия, выработку новых выбросов, повлиять на режим естественных природных выбросов с поверхности Земли, а также может привести к изменению пространственного и временного распространения примесей в атмосфере данного региона. Обратный эффект влияния химического состава атмосферного воздуха на локальные метеорологические условия в свою очередь связан с выработкой и потреблением энергии (отопление или охлаждение помещений) в городах, а значит, с увеличением новых выбросов в подстилающую поверхность атмосферы Земли. Например, увеличение температуры в городах может повлечь за собой дальнейшее активное использование систем кондиционирования, а также личного автотранспорта, что приводит к увеличению токсичных выбросов в атмосферу.

Мегаполисы и крупные промышленные зоны оказывают значительное влияние на качество воздуха, особенно на городском и региональном уровне и в пространственном масштабе 10–100 км не только из-за высокой концентрации урбанистических выбросов в тропосферу, но из-за особенностей рельефа этой поверхности. Атмосферная циркуляция создается самим городом (городской остров тепла) и напрямую влияет на распределение урбанистических химических загрязнителей [Фелленберг, 1997].

1. Географические и климатические особенности региона Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург является самым северным из городов мира с населением свыше миллиона человек. Город расположен в северо-западной части России, в пределах Приневской низменности, на прилегающем к устью реки Невы побережье Невской губы Финского залива и на многочисленных (47) островах Невской дельты (рис. 1). По данным переписи, на 1 января 2009 г. население Санкт-Петербурга составило 4 581 900, однако эта цифра учитывает только законных жителей. Площадь собственно городской территории составляет 605,8 км² (с пригородами 1,4 тыс. м²). (Регионы России. Основные социально-экономические показатели). Высота города над уровнем моря: для центральных районов – 1–5 м, периферийных районов (север) – 5–30 м, периферийных районов (юг и юго-запад) – 5–22 м. Самое высокое место в черте города – район Красного Села (70–110 м) с Ореховой горой (176 м).

Общая площадь лесопарковой зоны Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в которой запрещено строительство, составляет 142 тыс. га. Из них 126 тыс. га расположено в области в непосредственной близости от северной столицы, остальная часть – в черте города [Охрана окружающей среды..., 1991].

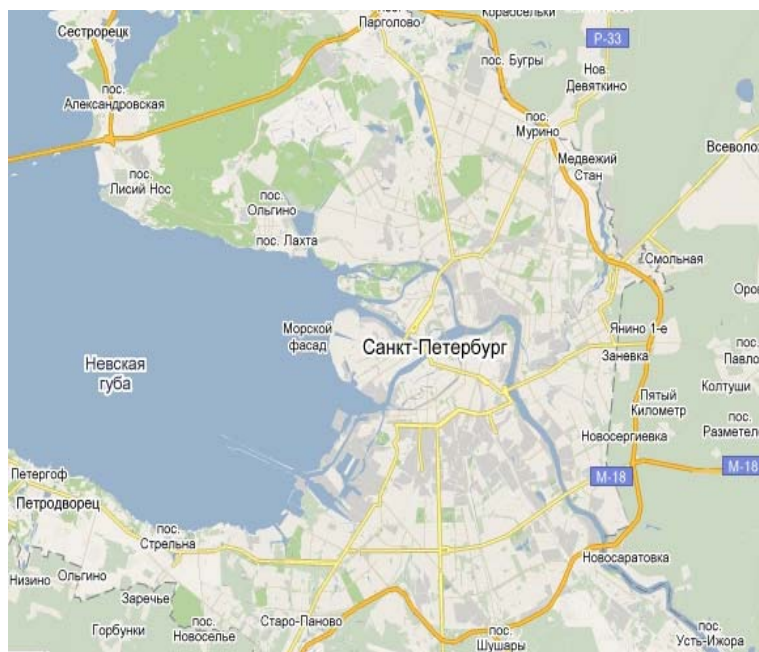


Рис. 1. Географическая карта Санкт-Петербурга

Степень загрязнения атмосферного воздуха зависит от количества выбросов вредных веществ и их химического состава, от высоты, на которой осуществляются выбросы, и от климатических условий, определяющих перенос, рассеивание и превращение выбрасываемых веществ. На формирование климата Санкт-Петербурга большое влияние оказывает основная водная артерия – река Нева – и Финский залив. В Санкт-Петербурге преобладает влажный, близкий к морскому климат, с умеренно теплым летом и довольно продолжительной умеренно холодной зимой. В зимнее время черты морского климата преобладают над континентальным. Согласно розе ветров для Санкт-Петербурга, город заметно чаще продувается ветрами западных и юго-западных направлений. Вследствие этого над западными и юго-западными районами города чаще, чем над северными и восточными, появляется более чистый загородный воздух. Осенью и зимой, когда сильно развита циклоническая деятельность, средняя скорость ветра составляет 4 м/с. В течение года роль ветра в формировании термического режима меняется. Низкие и экстремально низкие значения температур наблюдаются при восточных и северо-восточных направлениях ветра. Средняя температура воздуха в летний период года составляет 18 °С, в зимние

месяцы порядка $-6,3$ °С (сайт правительства Санкт-Петербурга). Переходные сезоны характеризуются разнообразием погодных условий. Во все сезоны могут наблюдаться значительные отклонения температур воздуха от средних многолетних норм, что связано с частой сменой воздушных масс различного происхождения. Облачность имеет большие значения практически в течение всего года и особенно в осенне-зимний период. В ноябре и декабре количество облачности имеет наибольшее значение и составляет в среднем по многолетним данным 8,6 баллов общего количества облаков, из которого 7,8–8,10 баллов приходится на облака нижнего яруса. Почти в течение всего года наблюдается пасмурная погода. Относительная влажность в городе во все месяцы высокая, примерно 70–90 %. Отличительной особенностью циркуляционных процессов в Санкт-Петербурге является возникновение и эволюция мезомасштабных атмосферных вихрей (циклонов и антициклонов). Воздушные массы с различными метеорологическими характеристиками, сформировавшиеся над разными районами, образуют зону сходимости над Санкт-Петербургом. Это способствует возникновению и развитию циклонов и атмосферных фронтов. Зимой циклоническая деятельность усиливает повторяемость атмосферных фронтов. Около 80 % всех осадков, выпадающих на территорию города, фронтального происхождения, и только малая часть выпадает вне зоны фронтов в однородных воздушных массах. Однако климат города отличается от климата окрестностей более высокой температурой, более частыми туманами и осадками, наличием местных особенностей циркуляции. Превышение температуры над окрестностями обычно достигает максимума в центре и составляет порядка $1,5-4$ °С.

2. Анализ химических процессов в регионе Санкт-Петербурга

Крупные источники химических выбросов расположены в Кировском, Колпинском, Фрунзенском, Невском и Адмиралтейском районах города. В настоящее время в Санкт-Петербурге насчитывается 14 745 тыс. промышленных предприятий, 10 межрайонных тепловых электростанций, порядка 60 заводов (включая заводы легкой, тяжелой промышленности и судостроения), а также около 1,5 млн транспортных средств. Автотранспорт является основным передвижным источником загрязняющих веществ. Выбросы автомобилей составляют порядка 88,5 % антропогенных выбросов (ежегодник по качеству воздуха, 2007). Далее следуют выбросы от стационарных источников, а именно промышленных предприятий (до 11 %). На рис. 2 представлено соотношение валового объема выбросов в атмосферу от стационарных источников и выбросов от передвижных источников загрязнения за период с 1994 по 2008 г.

В результате активной деятельности промышленных предприятий и большого количества общественного и частного транспорта в атмосферу поступает более 300 веществ и соединений, среди которых основную долю составляет оксид углерода, оксид азота, диоксид углерода, диоксид серы (табл. 1).

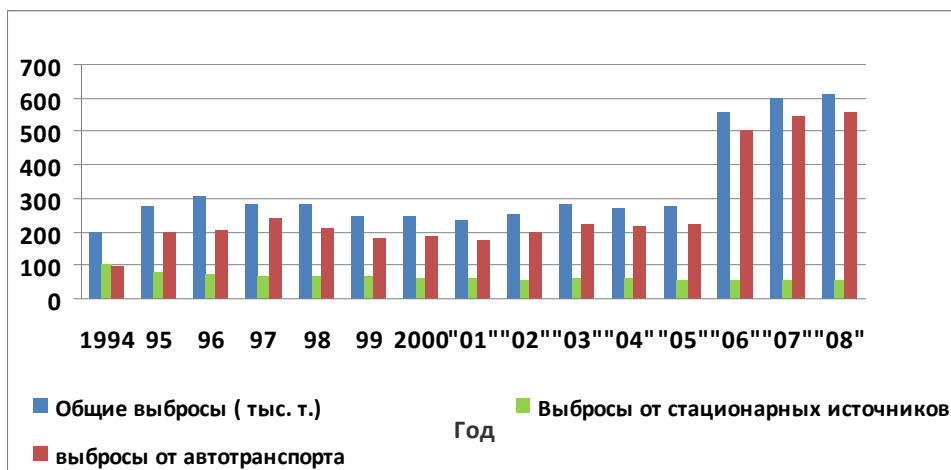


Рис. 2. Соотношение валового объема выбросов в атмосферу от стационарных источников и выбросов от передвижных источников загрязнения за период с 1994 по 2008 г.

Таблица 2

Основные вещества и соединения, поступающие в атмосферу из различных источников

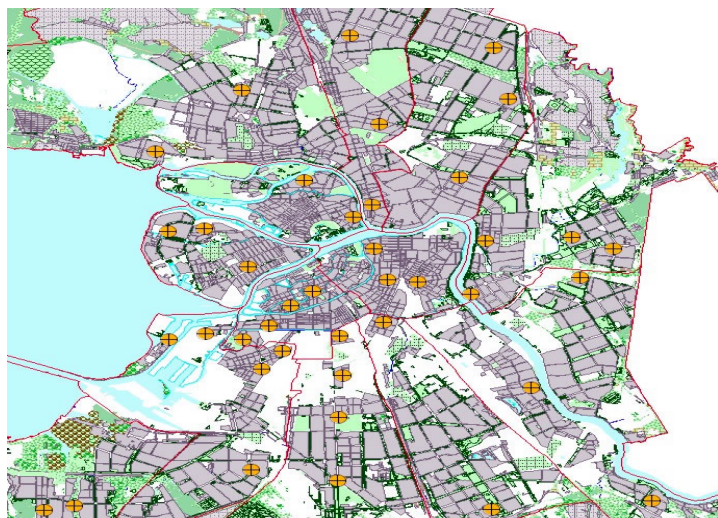
| Источник | Загрязнитель |
|--|---|
| Автомобильный транспорт | Оксид углерода, оксид азота, ЛОС, диоксид серы, твердые вещества |
| Машиностроение | Пыль различного химического состава, диоксид серы, оксид углерода и азота, соединения фтора, сероводород, масляные и сварочные аэрозоли, ацетон, углеводороды |
| Строительное производство и производство строительных материалов | Оксид и диоксид углерода и азота, формальдегид, сажа, соединения свинца, асбест, цемент, нитроцеллюлозные и полиэфирные масла |
| Теплоэнергетика | Диоксид серы, оксид и диоксид углерода, оксид азота, серный ангидрид, ртуть, свинец, ванадий, хлор, мышьяк |
| Перерабатывающие предприятия | Бензопирен, сажа, полиароматические углеводороды, хлор, полиэтилен |

Уровень загрязнения от различных источников оценивается в городе по данным:

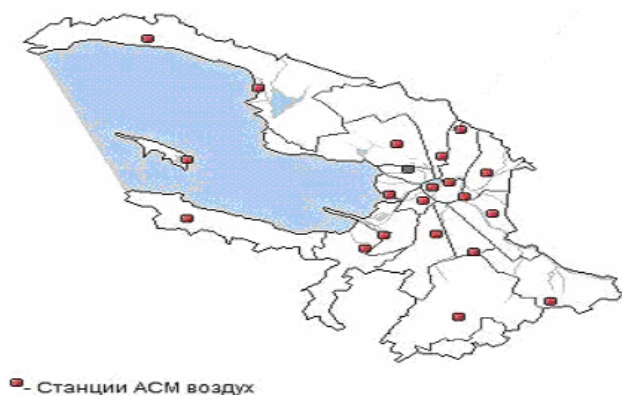
- Северо-Западного территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – 14 станций;
- автоматизированной системы контроля и управления качеством воздуха (17 стационарных станций, 2 метеорологические станции, 2 передвижные лаборатории мониторинга загрязнения);
- Роспотребнадзора (Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека) – 47 станций.

На рис. 3 показано размещение постов отбора проб атмосферного воздуха Роспотребнадзором (а) и автоматизированных систем мониторинга (б). Для оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха, наряду с отношением сред-

них за год концентраций примесей к их среднесуточным ПДК, также используются величины СИ, НП (%) и ИЗА [Охрана окружающей среды..., 1991]. ПДК – предельная допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе – концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущее поколение, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни. Величины ПДК приводятся в $\text{мг}/\text{м}^3$. Особенностью нормирования качества атмосферного воздуха является зависимость воздействия загрязняющих веществ, присутствующих в воздухе, не только от



a



б

Рис. 2.2. Размещение постов отбора проб атмосферного воздуха Роспотребнадзором (*a*), автоматизированных систем мониторинга (*б*)

значения их концентраций, но и от продолжительности временного интервала, в течение которого человек дышит данным воздухом. Поэтому используются такие нормативы, как ПДК_{МР} – предельно допустимая максимальная разовая концентрация химического вещества в воздухе населенных мест, так и ПДК_{СС} – предельно допустимая среднесуточная концентрация химического вещества в воздухе населенных мест. Класс опасности – показатель, характеризующий степень опасности для человека веществ, загрязняющих атмосферный воздух. Вещества делятся на следующие классы опасности [Охрана окружающей среды..., 2008]:

- 1-й класс – чрезвычайно опасные;
- 2-й класс – высоко опасные;
- 3-й класс – опасные;
- 4-й класс – умеренно опасные.

СИ – стандартный индекс – наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДК; она определяется из данных наблюдений на посту за одной примесью или на всех постах района за всеми примесями за месяц или за год.

НП – наибольшая повторяемость (%) превышения ПДК по данным наблюдений на одном посту (за одной примесью) или на всех постах района (за всеми примесями) за месяц или за год.

ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей, представляющий собой сумму концентраций выбранных загрязняющих веществ в долях ПДК.

В зависимости от значения ИЗА уровень загрязнения воздуха определяется следующим образом (табл. 2).

Оценка качества атмосферного воздуха базируется на основных приоритетных для Санкт-Петербурга загрязняющих веществ, а именно взвешенные вещества, диоксид азота, оксид углерода, фенол, формальдегид, аммиак, бенз(а)пирен, диоксид серы, озон, этилбензол, хлористый водород, бензол, сероводород [Охрана окружающей среды..., 2009].

Таблица 2

Показатели оценки степени загрязнения атмосферы и их соотношение между собой

| Градация | Загрязнение атмосферы | ИЗА | СИ |
|----------|-----------------------|------|------|
| I | Низкое | 0–4 | 0–1 |
| II | Повышенное | 5–6 | 2–4 |
| III | Высокое | 7–13 | 5–10 |
| IV | Очень высокое | 14 | 10 |

Повторяемость превышения ПДК (НП) в Калининском районе составила 18 %. В годовом ходе взвешенных веществ значения среднемесячных концентраций, НП и СИ были наибольшими в весенний период – март–май. В апреле загрязнение воздуха взвешенными веществами в районе классифицировалось как очень высокое (НП – 56,9 %), в мае – как высокое (НП – 44,4 %, СИ – 5,6). В эти месяцы к выбросам от стационарных источников добавляется пыль с под-

стилающей поверхности, чему способствуют метеорологические условия (резкое повышение температуры атмосферного воздуха, уменьшение влажности и средней скорости ветра. В годовом ходе в целом по городу загрязненность воздуха взвешенными веществами также была наибольшей в весенние месяцы. Загрязненность воздуха в других административных районах, где проводились наблюдения за этой примесью, характеризуется как повышенная: значения СИ колебались от 1 до 4.

Среднегодовая концентрация оксида углерода составляет 0,4 ПДК. Несмотря на низкие значения среднегодовых концентраций оксида углерода, максимальные разовые концентрации практически на всех постах, где проводились наблюдения за этой примесью, превышали ПДК. Это позволяет характеризовать загрязнение воздуха оксидом углерода как повышенное. Максимальная из разовых концентраций (4,4 ПДК) была зафиксирована в апреле в Петроградском районе и в январе в Калининском районе. В годовом ходе в целом по городу наибольшие среднемесячные концентрации наблюдались в сентябре (0,7 ПДК) и октябре (0,6 ПДК).

Средняя за год концентрация диоксида азота в целом по городу составила 1,9 ПДК, повторяемость превышения ПДК – 30,7 %. Загрязнение воздуха в целом по городу оценивается как очень высокое (значение СИ – 19,4). Воздух во всех районах города, где проводились наблюдения за этой примесью, достаточно сильно загрязнен: разброс среднегодовых концентраций составил от 1,5 ПДК до 2,7 ПДК, повторяемость превышения ПДК (НП) – от 21 до 49,6 %. Самым загрязненным районом города является Центральный, все значения показателей, характеризующие загрязненность воздуха диоксидом азота, были выше, чем в других районах. Так, среднегодовые концентрации диоксида азота составляют 2,7 и 2,5 ПДК, соответственно повторяемость превышения ПДК – 49,6 и 44,6 %. Максимальные разовые концентрации диоксида азота в Центральном районе составили 12,6 ПДК (июль) и 19,4 ПДК (январь) соответственно (последняя была самой высокой как для района, так и для города). Высокие значения разовых концентраций позволяют квалифицировать загрязнение воздуха в этом районе как очень высокое. В годовом ходе в целом по городу наибольшее загрязнение воздуха диоксидом азота наблюдалось в весенний и летний периоды (апрель–июль), когда среднемесячные концентрации были выше, чем в остальные месяцы и составили 2–2,5 ПДК (рис. 4).

В годовом ходе такое распределение загрязнения воздуха диоксидом азота связано с увеличением количества автотранспорта. Соответственно зоны с максимально превышенным ПДК наблюдаются в непосредственной близости к автомагистралям. Среднегодовая концентрация оксида азота составила 0,6 ПДК, максимальная из разовых концентраций наблюдалась в районе Васильевского острова – 0,8 ПДК.

Средняя за год концентрация озона в целом по городу составила 0,6 ПДК. На всех станциях, где проводились наблюдения за содержанием озона в воздухе, анализ внутригодовой динамики, как в целом по городу, так и на отдельных

станциях, свидетельствует о том, что наибольшее загрязнение воздуха озоном отмечалось в весенне-летний период (апрель–июль). Среднемесячные концентрации в целом по городу в эти месяцы изменялись от 0,027 до 0,031 мг/м³, что выше, чем в другие месяцы, в 1,5–2 раза.

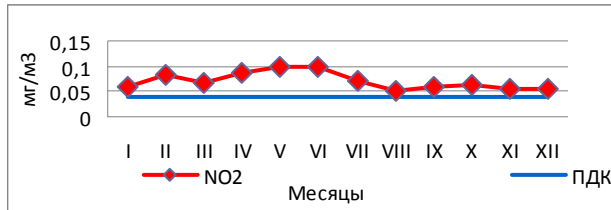


Рис. 4. Годовой ход среднемесячных концентраций диоксида азота

Можно предположить, что причина увеличения содержания озона в воздухе в весенне-летний период та же, что и для увеличения содержания диоксида азота: рост выбросов от автотранспорта в связи с его увеличением и интенсивная солнечная радиация. Анализ результатов наблюдений за содержанием озона в воздухе показал, что воздух города был более всего загрязнен в Московском районе.

Результаты наблюдений свидетельствуют о значительном загрязнении воздуха города бенз(а)пиреном. На всех постах, где проводились наблюдения за содержанием бенз(а)пирена в воздухе, среднегодовые концентрации составили более 2 ПДК. Средняя за год концентрация в целом по городу превысила рекомендуемый стандарт ВОЗ (Всемирная Организация Здравоохранения) – критерий в 3 раза, наибольшая среднемесячная концентрация (6,4 ПДК, январь) была зафиксирована во Фрунзенском районе. Основным источником загрязнения воздуха города этой примесью является автотранспорт.

Средняя концентрация аммиака за год составила 2,7 ПДК. Значение СИ по городу достигало 6,7, что позволяет характеризовать загрязнение как «высокое». По сравнению с предыдущим годом отмечается переход из категории «очень высокая» в категорию «высокая».

Средняя за год концентрация фенола в целом по городу составила 0,7 ПДК. Уровень загрязнения воздуха в целом по городу и на отдельных постах оценивается как повышенный: значения СИ изменялись от 1,2 до 2,5. Наибольшая разовая концентрация (2,5 ПДК) была зафиксирована в сентябре в Петроградском районе и в октябре в Калининском районе.

Загрязненность воздуха хлористым водородом в целом по городу классифицируется как «высокая»: значение СИ равно 2,9. Средняя концентрация за год составила 0,9 ПДК, в Центральном районе – до 6,2 ПДК

Средняя за год концентрация формальдегида составила 1,7 ПДК. Практически на всех постах, где определялось содержание формальдегида в воздухе, среднегодовые концентрации превысили санитарную норму, их значения колебались от 3,3 до 2,7 раза. В годовом ходе в целом по городу наибольшие значения среднемесячных концентраций, НП и СИ отмечались в летние месяцы

(июнь–август), что связано с особенностями температурного режима, а также ростом эксплуатации транспортных средств. В целом по городу уровень загрязнения воздуха формальдегидом классифицируется как повышенный (СИ – 2,6).

Заключение

Проанализировав состояние качества воздуха в Санкт-Петербурге, можно сделать вывод, что уровень загрязнения воздуха очень высокий, он определяется величиной СИ (19,4) для диоксида азота, а также значением ИЗА (15,5). Основной вклад в загрязнение воздуха города вносят бенз(а)пирен (ИЗА – 4,9), аммиак (ИЗА – 2,5), диоксид азота (ИЗА – 2,4), формальдегид (ИЗА – 2,0) и взвешенные вещества (ИЗА – 1,2). Очень высокое загрязнение воздуха диоксидом азота.

Данные Северо-Западного территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также измерения, проводимые автоматизированной системой контроля и управления качеством воздуха г. Санкт-Петербурга, дает возможность проанализировать тренды качества воздуха в свойствах окружающей среды. Анализ данных наблюдения за качеством воздуха показывает, что качество воздуха в последние годы оставалось в основном на постоянном уровне. В течение последних 10 лет уровень загрязнения воздуха был наибольшим в 1998 г. для таких веществ, как оксид углерода и диоксид азота, и в 2002, и в 2003 гг. для бенз(а)пирена и взвешенных частиц соответственно. После полных измерений в 2008 г. качество воздуха оставалось почти на том же уровне (относительно 2007 и 2006 гг.). С 2006 г. появился отрицательный тренд концентрации СО. Концентрации данного опасного газа упала в 1,5 раза и продолжает падать.

Таким образом, при проведении анализа загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга первоочередное внимание должно быть уделено таким примесям, как бенз(а)пирен (первый класс опасности), диоксид азота (второй класс опасности) и взвешенные вещества (третий класс опасности).

Литература

1. Андруз Дж., Бримблекумб П., Джикелз Т., Лисе П. Введение в химию окружающей среды / Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – 489 с.
2. Охрана окружающей среды / Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1991. – 457 с.
3. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2007 году / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб.: Сезам, 2008, с. 236–265.
4. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2008 году / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб.: Сезам, 2009, с. 305–347.
5. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию / Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 587 с.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. в рамках реализации мероприятия 1.3.2 (государственный контракт № П1693 от 21 сентября 2009 г.) по направлению «Геохимия».