В.Н. Боков, В.Н. Воробьев, И.А. Серебрицкий

УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В МЕГАПОЛИСЕ И ЕГО СВЯЗЬ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ

V.N. Bokov, V.N. Vorobyev, I.A. Serebritskyi

THE LEVEL OF AIR POLLUTION IN THE METROPOLIS AND ITS RELATION TO CLIMATIC CHANGES

В статье представлены результаты анализа данных мониторинга атмосферного воздуха по приоритетным загрязняющим веществам на территории Санкт-Петербурга и их зависимость от климатических изменений. Полученные сведения представляют интерес для расчетов сезонной изменчивости примесей и для прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха в мегаполисах.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, атмосферный воздух, внутригодовая изменчивость, климатическая изменчивость, формы циркуляции атмосферы по типизации Вангенгейма–Гирса, коэффициент корреляции.

The article presents the results of data analysis of air monitoring for the main pollutants on the territory of St. Petersburg and their dependence on climatic changes. The data obtained is used for seasonal variability of impurities calculations and to predict the level of air pollution in large cities.

Key words: pollutants, air monitoring, inter seasonal changes, climate changes, Vangengeim–Geers type of atmospheric circulation, correlation coefficient.

Содержание вредных примесей в атмосферном воздухе находится в сильной зависимости от метеорологических условий. Постоянно действующие и изменяющиеся природные факторы, — атмосферное давление, температура воздуха, скорость и направление ветра, влажность и метеорологические явления (осадки, туманы и др.) при определенных сочетаниях, синоптических условий и физического состояния атмосферы (стратификации), способны изменить концентрации вредных веществ в воздухе в десятки раз. Поэтому постоянный мониторинг неблагоприятных метеорологических условий является важной составной частью экологического мониторинга качества атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.

В числе главных факторов определяющих экологическую обстановку являются параметры ветра. Влияние ветра на уровень загрязнения в Санкт-Петербурге достаточно полно отражено в работе [1]. В данной статье представлены результаты исследований влияния на уровень загрязнения атмосферного воздуха других метеорологических явлений — туманов и дымок и повышенного атмосферного давления. В отличие от большинства метеорологических элементов туманы и дымки не измеряются приборами, а наблюдаются дежурными на метеостанциях. Это вносит определенную сложность в результаты анализа, поскольку туманы и дымки часто являются локальными явлениями и не всегда регистрируются.

Рассмотрим влияние туманов и дымок на уровень загрязнения воздуха во внутригодовой изменчивости на примере 2014 г.

В 2014 г. ежемесячное количество дней с туманами оказалось меньше нормы (рис. 1), что сократило периоды и продолжительность накопления вредных примесей и возникновения повышенного загрязнения в приземном слое атмосферного воздуха. Наибольшее количество дней с туманами наблюдалось в январе, сентябре и ноябре. Благоприятным фактором явилось отсутствие туманов в периоды с апреля по август. Конечно, в каждом конкретном случае в увеличении концентрации загрязняющих веществ играют роль не только параметры тумана и других сопутствующих метеорологических факторов (инверсий, штилей, слабого ветра), но и объемы, продолжительность, состав и концентрации самих выбросов.

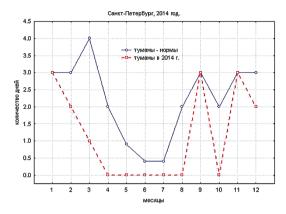


Рис. 1. Годовой ход нормы туманов и их изменчивость в 2014 г.

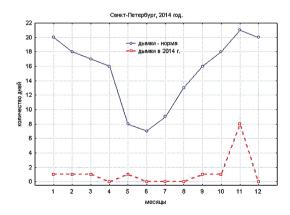


Рис. 2. Годовой ход нормы дымок и их изменчивость в 2014 г.

В 2014 г. зарегистрировано 14 дней с туманами и 14 случаев дымки. По многолетним данным туманов в среднем за год наблюдается 27, дымок 183 (с пригородами). В 2014 г. атмосферные условия не способствовали образованию дымок, и их количество оказалось существенно меньше норы. Очевидно, что в 2014 г. для экологической обстановки ситуация с меньшим числом дымок и туманов была более благоприятной.

При возникновении тумана и близкой ему по физической природе дымки происходит поглощение составляющими их каплями воды вредных примесей, выбрасываемых промышленными предприятиями и автотранспортом. Эти примеси вместе с каплями остаются в приземном слое воздуха и могут при продолжительном воздействии оказывать вредное влияние на здоровье человека. Особенно опасны, расположенные над туманом факелы выбросов, которые при слабом ветре и штилевой погоде опускаются непосредственно в приземный слой воздуха. Экологическая ситуация может еще более ухудшаться при наличии инверсий температуры. Существенное значение на уровень загрязнения оказывает место расположения пункта измерения атмосферного воздуха. Карта-схема расположения автоматических станций мониторинга атмосферного воздуха представлена на рис. 3.

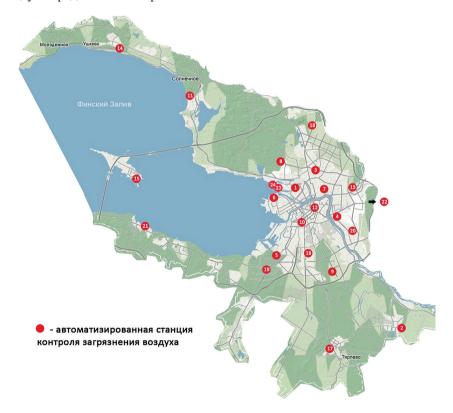


Рис. 3. Схема размещения станций АСМ атмосферного воздуха

Например, на рис. 4 и 5 приведены графики годового хода оксида азота на станциях ACM № 1, № 10 и среднемесячное количество дней с туманами. Из рисунков видно, что внутригодовая изменчивость оксида азота имеет хорошо выраженную когерентность

с туманами. В первую половину года, при отсутствии туманов, на значение концентрации оксида азота оказывают влияние и другие метеорологические элементы, такие как скорость ветра, инверсии, макромасштабная турбулентность и т.п. Наиболее ярко влияние туманов на увеличение концентрации оксида азота наблюдается во вторую половину года. Визуальный анализ показывает, что месяцы с малым числом дней с туманами сопровождаются с низким уровнем концентрации оксида азота.

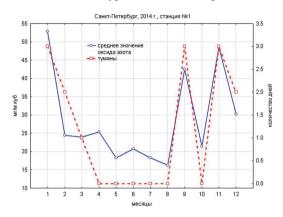


Рис. 4. Годовой ход средних значений оксида азота на станции № 1 и туманов в 2014 г.

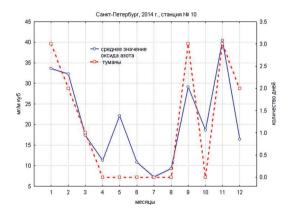


Рис. 5. Годовой ход средних значений оксида азота на станции № 10 и туманов в 2014 г.

Увеличение числа туманов приводит к резкому росту уровня концентрации оксида азота. Статистически значимый коэффициент корреляции оксида азота и тумана на станции № 1 составил r = 0.90, а на станции № 10 r = 0.56.

Ограничения объема статьи не позволяют показать результаты по другим станциям, которые по характеру изменения кривых подобны представленным. Отметить лишь то, что влияние туманов на внутригодовое изменение рассматриваемых примесей наблюдается по всей территории города.

Туманы оказывают существенное влияние и на внутригодовую изменчивость концентрации взвешенных веществ РМ10. Это наглядно видно на рис. 6 и 7, где график значений взвешенных веществ РМ10 имеет хорошо выраженную когерентность с внутригодовой изменчивостью туманов. При отсутствии туманов (в первую половину года) на значение взвешенных веществ РМ10 оказывают влияние другие метеорологические элементы. Наиболее заметно влияние туманов на концентрацию взвешенных веществ РМ10 наблюдается во вторую половину года. Увеличение числа туманов связано с увеличением дней повышенного атмосферного давления и приводит к резкому росту уровня концентрации взвешенных веществ РМ10.

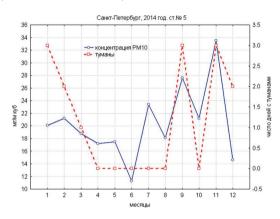


Рис. 6. Годовой ход средних значений взвешенных веществ РМ10 на станции № 5 и туманов в 2014 г.

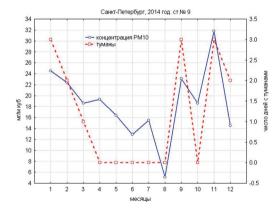


Рис. 7. Годовой ход средних значений взвешенных веществ РМ10 на станции № 9 и туманов в 2014 г.

Несколько другой характер внутригодовой изменчивости наблюдается для взвешенных веществ РМ2,5. Характерной особенностью взвешенных веществ РМ2,5 является низкая корреляция с туманами. Однако с дымками, концентрация взвешенных веществ РМ2,5 показала на тесную связь и статистически значимый коэффициент

корреляции. На станции №1 коэффициент корреляции составил r = 0,74, а на станции № 16 r = 0,81 (рис. 8, 9). Поскольку взвешенные вещества PM2,5 размером меньше частиц PM10 и частицы входящие в состав дымки также меньше, чем в тумане, то взвешенным веществам PM2,5 легче «закрепиться» в дымке.

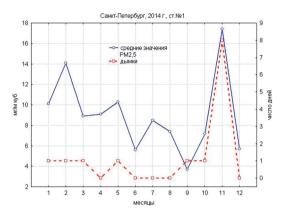


Рис. 8. Годовой ход средних значений взвешенных веществ РМ2,5 на станции № 1 дымок в 2014 г.

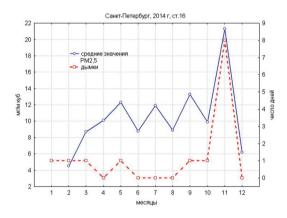


Рис. 9. Годовой ход средних значений взвешенных веществ РМ2,5 на станции № 16 и дымок в 2014 г.

Кроме того, в туманах происходит качественное изменение состава примесей. Например, растворение в каплях тумана наиболее распространенного загрязнителя воздуха — сернистого газа — приводит к образованию аэрозоля сернистой кислоты и частичному окислению его в более токсичную серную кислоту. В качестве примера на рис. 10 приведены графики годового хода диоксида серы на станциях АСМ № 9 и среднемесячное количество дней с туманами. Также как и для NO, в первую половину года на значение концентрации диоксида серы оказывают влияние и другие метеорологические элементы, такие как скорость ветра, инверсии, турбулентность и т.п. Наиболее ярко влияние туманов на увеличение концентрации диоксида серы

наблюдается во вторую половину года. Коэффициент корреляции диоксида серы и туманов станции № 9 составил r = 0.54

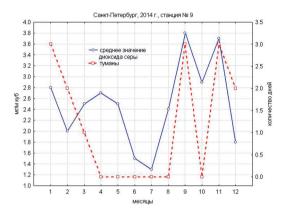


Рис. 10. Годовой ход средних значений диоксида серы на станции № 9 и туманов в 2014 г.

Самым неблагоприятным для экологического состояния воздушного бассейна над городом является установление на продолжительное время высокого атмосферного давления, особенно центральных и западных частей его очагов (антициклонов, ядер, гребней, перемычек высокого давления). Как правило, им сопутствует целый комплекс атмосферных явлений, препятствующих рассеиванию вредных примесей и свободному воздухообмену: слабый ветер, инверсии, дымки, туманы. Кроме того, в этих зонах высокого атмосферного давления в летний период формируется повышенный температурный режим, который, как катализатор, инициирует в атмосфере дополнительные химические реакции загрязняющих веществ. С повышенным атмосферным давлением обычно связан также дефицит увлажнения. Характерный антициклонический тип солнечной погоды может стать причиной возникновения фотохимического смога при достаточно большом объеме выхлопных газов автомобилей.

Анализ среднемесячных данных взвешенных веществ РМ10 показали на их существенную зависимость от числа дней с атмосферным давлением равным и выше 1015 гПа. Это хорошо видно из рис. 11, на котором представлена внутригодовая изменчивость концентрации взвешенных веществ РМ10 измеренных на станциях АСМ № 5 и № 9 в сопоставлении с атмосферным давлением равным и выше 1015 гПа. Подчеркнем, что увеличение концентрации взвешенных веществ РМ10 наблюдается в сентябре и ноябре. Это видно на графиках внутригодовой изменчивости РМ10 при сопоставлении с данными числа дней с атмосферным давлением равным и выше 1015 гПа и туманами (рис. 6, 7).

Это как раз тот случай, когда на уровень концентрации примеси PM10 оказали влияние два метеорологических явления: а) число дней с атмосферным давлением равным и выше $1015 \, \text{г}\Pi \text{a}$; б) число дней с туманами.

Исследование влияния внутригодовой изменчивости метеорологических параметров на величину уровня загрязняющих веществ важно не только с научной точки зрения, ни и с практической. Учет прогноза внутригодовой изменчивости

метеорологических параметров позволяет принять ряд управленческих решений для проведения мероприятий способствующих уменьшению уровня загрязнения в городе.

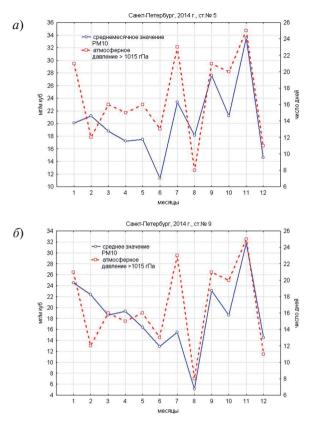


Рис. 11. Годовой ход средних значений взвешенных веществ РМ10 на станциях № 5 (a) и № 9 (δ) и числа дней с атмосферным давлением равным и выше 1015 гПа

Межгодовая изменчивость уровня загрязнения воздуха определяется климатическими изменениями. В качестве характеристик изменения климата применялся один из основных климатообразующих параметров — формы циркуляции атмосферы по типизации Вангенгейма—Гирса [2], которые хорошо обобщают и отражают состояние климата.

В целях исследования климата на уровень загрязнения в мегаполисе использовались лишь три формы циркуляции атмосферы, характерные для первого естественного синоптического района. При этом западная форма циркуляции обеспечивает в районе Санкт-Петербурга увеличение циклонической деятельности, выпадение осадков, усиление ветра увеличение температуры в зимний период и более прохладный воздух летом. Меридиональные формы циркуляции C и E обеспечивает в районе Санкт-Петербурга увеличение антициклонической деятельности, уменьшение осадков, ослабление ветра до штилей, увеличение температуры в летний период (жара и засуха) и сильные холода зимой.

Содержание примесей в атмосферном воздухе зависит от многих параметров. Поэтому явное влияние одного какого-либо метеорологического параметра не всегда можно четко выделить. Тем не менее, общее влияние метеорологических параметров, выражаемые через формы циркуляции атмосферы, отчетливо проявляются в годовых значениях атмосферных примесей. Это хорошо видно из ниже приведенных рисунков.

Так на рис. 12 отражена межгодовая изменчивость западной формы циркуляции и концентрации диоксида серы. Из рисунка видно, что годовые значения западной формы циркуляции и среднегодовые концентрации диоксида серы находятся в противофазе. Это означает, что увеличение числа дней западной формы циркуляции приводит к уменьшению концентрации диоксида серы за счет усиления ветра и осадков. Соответственно, уменьшение числа дней западной формы циркуляции приводит к увеличению концентрации диоксида серы. Коэффициент корреляции r числа дней западной формы циркуляции и концентрации диоксида серы составляет r = -0.60. Подобное влияние западной формы циркуляции оказывается и на другие атмосферные примеси.

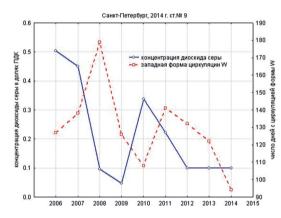


Рис. 12. Межгодовая изменчивость западной формы циркуляции и концентраций диоксида серы

Так на рис. 13 отражена межгодовая изменчивость западной формы циркуляции и концентрации взвешенных частиц PM10. Из рисунка видно, что значения западной формы циркуляции и концентрации взвешенных частиц PM10 также как и для диоксида серы, находятся в противофазе. Это связано с тем, что увеличение числа дней западной формы циркуляции приводит к увеличению осадков усилению ветра, что соответственно приводит к выносу взвешенных частиц PM10 из города. Коэффициент корреляции числа дней западной формы циркуляции и концентрации взвешенных частиц PM10 составляет r = -0.81.

Другие две меридиональные формы циркуляции способствуют росту концентраций. На рис. 14 отражена межгодовая изменчивость меридиональной формы циркуляции C и концентрации диоксида серы. Графики показывают синхронность межгодовой изменчивости обоих процессов. Это означает, что увеличение числа дней меридиональной формы циркуляции приводит к увеличению концентрации диоксида

серы за счет увеличения повторяемости штилевых явлений, слабого ветра и отсутствия осадков. Соответственно, уменьшение числа дней меридиональной формы циркуляции приводит к уменьшению концентрации диоксида серы. Коэффициент корреляции числа дней меридиональной формы циркуляции C и концентрации диоксида серы составляет r=0.77.

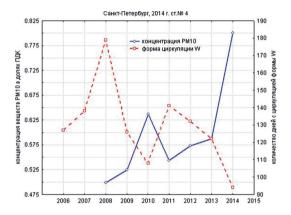


Рис. 13. Межгодовая изменчивость западной формы циркуляции и концентраций взвешенных частиц РМ10

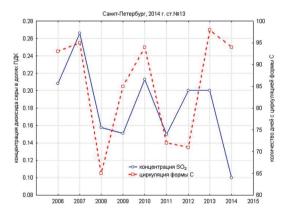
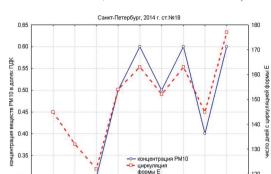


Рис. 14. Межгодовая изменчивость меридиональной формы циркуляции C и концентраций диоксида серы

На рис. 15 отражена межгодовая изменчивость меридиональной формы циркуляции E и концентрации взвешенных частиц PM10. Из рисунка видно, что для значений меридиональной формы циркуляции и концентрации взвешенных частиц PM10 наблюдается ярко выраженная когерентность. Очевидно, что увеличение числа дней с меридиональной формой циркуляции E приводит к увеличению концентрации взвешенных частиц PM10 за счет увеличения повторяемости штилевых явлений, слабого ветра и отсутствия осадков. Соответственно, уменьшение числа дней с меридиональной формой циркуляции E приводит к уменьшению концентрации взвешенных частиц

120

110



PM10. Коэффициент корреляции числа дней меридиональной формы циркуляции Eи концентрации взвешенных частиц PM10 составляет r = 0.95.

Рис. 15. Межгодовая изменчивость меридиональной формы циркуляции Eи концентраций взвешенных частиц РМ10

2011

0.30

В соответствии с ФЗ «Об охране окружающей среды» анализ полученной экологической информации ее оценка и прогноз изменения состояния окружающей среды необходимо проводить с учетом воздействия природных и антропогенных факторов. Поэтому в целях своевременного выявления изменений состояния окружающей среды, кроме данных ежедневного мониторинга используются данные об изменении климата.

Анализ межгодовой изменчивости форм циркуляции Вангенгейма-Гирса и приоритетных атмосферных примесей показал на их достаточно тесную связь. Это позволяет применить формы циркуляции Вангенгейма-Гирса в качестве параметра климатических изменений и в общем виде прогнозировать на ближайшие годы уровень загрязнения в мегаполисе.

Представленные на рис. 12—15 связи между климатическими параметрами и концентрацией атмосферных примесей необходимо учитывать при составлении прогноза уровней концентраций атмосферных примесей на территории Санкт-Петербурга.

Прогностические значения уровней концентраций будут обоснованнее, если имеется возможность учитывать развитие городской структуры, промышленности, энерго-топливных комплексов и транспорта в пределах территории и окрестностей Санкт-Петербурга.

Литература

- Боков В.Н. Воробьев В.Н., Сарвирова Е.В. Влияние изменчивости ветра на внутригодовое распределение 1. атмосферных примесей в Санкт-Петербурге. // Учёные записки РГГМУ, 2006, № 3, с. 95–103.
- 2. *Гирс А.А., Кондратович К.В.* Методы долгосрочных прогнозов погоды. — Л.: Гидрометеоиздат, 1978. — 343 c.