

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Е.О. Лазарева, канд. геогр. наук, *milyutina.e.o@yandex.ru*

И.Н. Липовицкая, прорект. НАНОО ВПО Санкт-Петербургский институт гуманитарного образования, канд. геогр. наук, *lipovitskaya@mail.ru*

Е.С. Андреева, проф., Академии строительства ФГБОУ ВО Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону д-р. геогр. наук, *espmeteo@yandex.ru*

Описаны возможности инноваций в сфере прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха крупных городов. Авторами выявлен вклад метеорологических характеристик и характерных групп синоптических процессов в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург. По результатам исследования впервые разработана инновационная схема прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха на примере крупного города по методу «дерево принятия решения».

Ключевые слова: прогностическая модель, метод дерева принятия решения, прогноз загрязнения атмосферного воздуха, синоптический процесс.

INNOVATIVE APPROACHES FOR PREDICTING THE LEVEL OF POLLUTION OF ATMOSPHERIC AIR IN LARGE CITIES

E.O. Lazareva, Ph.D. of Geographic Sciences, *milyutina.e.o@yandex.ru*

I.N. Lipovitskaya, Vice-President. St. Petersburg Institute of Humanitarian Education, Ph.D. of Geographic Sciences, *lipovitskaya@mail.ru*

E.S. Andreyeva, Prof., Academy of Construction of the State Educational Establishment of the Don State Technical University, Rostov-on-Don. Ph.D. of Geographic Sciences, *espmeteo@yandex.ru*

The opportunities of innovations in the sphere of forecasting the level of atmospheric air pollution in large cities are considered. The authors reveal the contribution of meteorological characteristics and characteristic groups of synoptic processes to the level of pollution of atmospheric air in St. Petersburg. According to the results of the research, an innovative scheme for forecasting the level of atmospheric air pollution was first developed using the example of a large city using «the decision tree method».

Keywords: prognostic model, decision tree method, forecast of atmospheric air pollution, synoptic process.

Несмотря на очевидные успехи [1] в области построения математических моделей для прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха крупных городов и урбанизированных зон, нерешенными остаются достаточное число проблем [2–7]. Среди которых оценка не только вклада синоптических условий конкретной территории, в том числе высотных, в уровень загрязнения атмосферного воздуха, то есть своего рода локализация или приближение прогностической модели к конкретной точке в географическом пространстве. Но и использование методов математической статистики для анализа сформированных массивов числовой информации. Однако перечисленные выше технологии уже нашли свое применение в области прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха в XX веке. Наступивший XXI век требует внедрения новых, инновационных, подходов для решения

ряда актуальных вопросов, в числе которых, несомненно, проблема прогноза загрязнения атмосферного воздуха крупных городов и урбанизированных зон. В этой связи авторам статьи представляется интересным впервые применить известный экспертный метод «дерева принятия решения» для реализации проблемы прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха с помощью инновационного подхода.

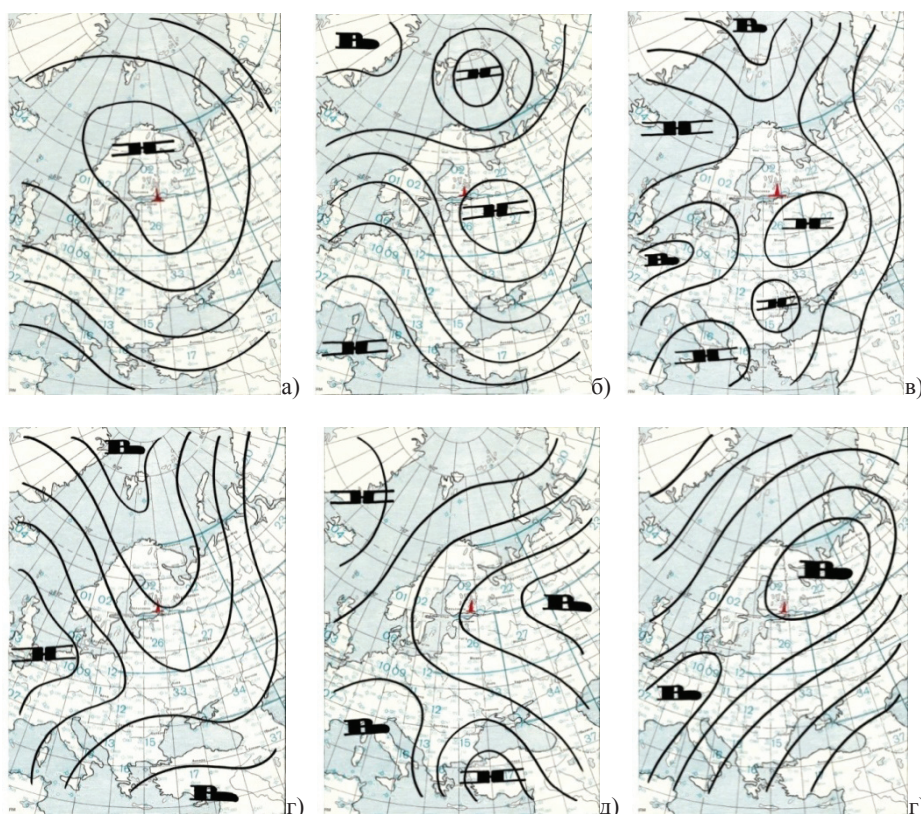
В рамках реализации указанной выше цели авторами статьи была использована база данных погодных условий по срочным данным (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00 18:00 и 21:00 московского времени) метеорологических наблюдений, выполненных на станции (26063), расположенной в г. Санкт-Петербург (период с 2006 по 2014 гг.) [2]. Данная база включала характеристики, оказывающие воздействие на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха: атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха, значение температуры точки росы, скорость и направление ветра у земли, высота нижней границы облаков, значение дальности видимости, атмосферные осадки и метеорологические явления. Кроме того, перечисленные составляющие определяют климатическую характеристику города для указанного периода времени.

В процессе исследования была сформирована база данных вертикального распределения метеорологических характеристик по данным радиозондирования атмосферы (за сроки 00:00 и 12:00 UTC (Всемирное Скоординированное Время)), выполняемого на станции Воейково (2006–2014 гг.). База включала следующие характеристики: давление, температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра.

Визуальный анализ архивного материала приземных карт погоды над Европой, из базы данных [3], позволил сформировать базу данных посуточных синоптических положений г. Санкт-Петербург, за период с 2006 по 2014 гг. В ходе анализа исследованы 3279 карт, ежедневно за срок 00:00 UTC (Всемирное Скоординированное Время), где посуточно охарактеризована синоптическая обстановка в исследуемом районе; указана периферия барической системы, которая определяет погодные условия в районе г. Санкт-Петербург. Для выделения характерных групп синоптических процессов последнего десятилетия, учтено географическое происхождение барических образований, а также прослежены и изучены траектории их движения. Таким образом, были выделены следующие синоптические процессы г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг.: атлантический циклон, «ныряющий» циклон, южный циклон, арктический антициклон, отрог Сибирского антициклона, отрог Азорского антициклона (рис.).

При этом, выполнен анализ для холодного и теплого периодов года, что позволило уточнить повторяемость синоптических процессов над исследуемым районом для полугодий. Повторяемость для осенне-зимнего периода составляет: атлантический циклон (48%), южный циклон (9%), «ныряющий» циклон (8%), арктический антициклон (21%), отрог Сибирского антициклона (15%). Для весенне-летнего периода: атлантический циклон (43%), южный циклон (18%), арктический антициклон (14%), отрог Азорского антициклона (25%).

Кроме того, в рамках данного исследования, изучены данные наблюдений за состоянием атмосферного воздуха ФГБУ «Северо-Западное УГМС» за период времени с 2006 по 2014 гг. Наблюдения осуществлялись на 10 стационарных постах службы, расположенных в 8 административных районах города, 4 раза в сутки (01:00, 07:00, 13:00, 19:00), где определены общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах (n) и количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями (q), которые превышают среднесезонное значение $q_{ср}$ более чем в 1,5 раза ($q > 1,5 q_{ср}$) (m) по двум примесям (оксид углерода, диоксид азота – продукты неполного сгорания топлива в двигателях автотранспортных средств, которые вносят наибольший вклад в выбросы загрязняющих веществ города – 86% в 2014 г. [4]). Приведенные данные позволили вычислить фактическое значение интегрального показателя загрязнения воздуха в городе совокупностью примесей – параметра P (формула 1) [5].



Схемы синоптических процессов

- а) атлантический циклон, б) «ныряющий» циклон, в) южный циклон, г) арктический антициклон, д) отрог Сибирского антициклона, е) отрог Азорского антициклона

$$P = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

где P – интегральный показатель – параметр P ; n – общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах; m – количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями (q), которые превышают среднесезонное значение $q_{ср}$ более чем в 1,5 раза ($q > 1,5 q_{ср}$).

При использовании параметра P , согласно РД 52.04.306-92 [5], рассматривались три группы загрязнения воздуха: $P > 0,35$ – относительно высокое (первая группа (I)), $0,20 < P \leq 0,35$ – повышенное (вторая группа (II)), $P \leq 0,20$ – пониженное (третья группа (III)).

Для оценки вклада характерных синоптических процессов, сопровождающихся комплексом метеорологических условий в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург сформированы массивы данных для холодного (с ноября по март месяцы (1050 дней)) и теплого (с апреля по октябрь месяцы (1587 дней)) периодов года (согласно годовому ходу температуры воздуха и радиационного баланса). При этом, отдельно анализировались дневные (09:00–21:00) и ночные (21:00–09:00) случаи и рассматривались три группы загрязнения по параметру P .

Массивы сформированных данных анализировались по следующей схеме: оценка суточного хода загрязнения; оценка вклада синоптического процесса в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха; оценка вероятности загрязнения при выделенных харак-

терных группах синоптических процессов; регрессионный анализ; расчет коэффициентов взаимной сопряженности и уровня загрязнения воздуха и синоптических процессов.

Для оценки связи синоптического процесса и уровня загрязнения воздуха использован коэффициент взаимной сопряженности Пирсона-Чупрова [6]. Проверка статистической гипотезы о виде распределения выполнена при помощи критерия согласия – χ^2 [6]. В результате расчета коэффициентов Пирсона и Чупрова для ночных, дневных часов и за суточный период времени выявлено, что для всех рассматриваемых случаев $\chi^2 > \chi^2_{кр}$, что позволяет отметить наличие существенной связи между синоптическими процессами и загрязнением атмосферного воздуха.

Пошаговый регрессионный анализ (методом включения) для ночных часов показал значимое влияние предикторов в 39% (для холодного периода) и 38% (для теплого периода); и почти вдвое больше для дневных часов – значимое влияние предикторов 64% (для холодного периода) 67% (для теплого периода), которые представляют инерционный фактор, что говорит о ведущей роли инерционного фактора при прогнозировании уровня загрязнения атмосферного воздуха [7].

Таким образом, в ходе исследования установлена зависимость формирования уровня загрязнения атмосферного воздуха от синоптического процесса и инерционного фактора, что позволило сформировать схемы прогноза уровня загрязнения воздуха в виде «дерево принятия решения» экспертным путем.

В исследовании предлагаемый метод отражает инерционную составляющую загрязнения атмосферного воздуха, а также синоптических процессов. Для определения ожидаемой группы (градации) загрязнения воздуха, по параметру P достаточно владеть следующим объемом информации: прогнозируемый синоптический процесс (с заблаговременностью в 1 сутки), который можно взять, например, из прогноза Гидрометцентра; текущее значение параметра P и текущий синоптический процесс (относительно определяемого значения это – предыдущий срок). Для определения ожидаемой группы загрязнения, при таком подходе, на первом шаге необходимо выбрать в «дереве» прогнозируемый синоптический процесс, на втором шаге – определить группу загрязнения воздуха на текущий момент, на третьем – текущий синоптический процесс (если это необходимо), что позволяет четвертым шагом определить прогнозируемую группу загрязнения воздуха.

Оправдываемость прогностического определения ожидаемой группы загрязнения атмосферного воздуха по Санкт-Петербургу была рассчитана на зависимом материале и составила для холодного периода года 90% (ночные часы) и 91% (дневные часы); для теплого периода года 84% (ночные часы) и 87% (дневные часы) [7], что говорит о более эффективном прогнозе уровня загрязнения атмосферного воздуха по предлагаемым схемам в холодный период года.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе исследования:

– сформированы архивы исходных данных стандартных метеорологических, данных радиозондирования атмосферы, синоптических положений и уровня загрязнения атмосферного воздуха за период с 2006 по 2014 гг., необходимых для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург;

– уточнены характерные группы синоптических процессов г. Санкт-Петербург за период с 2006 по 2014 гг.;

– разработаны схемы по методу «дерево принятия решения», что позволяет определить ожидаемый уровень загрязнения атмосферного воздуха, для теплого и холодного периодов года, дневных и ночных часов, с заблаговременностью в 12 часов, с оправдываемостью – 84–91%.

Таким образом, успешная реализация цели данного исследования обозначила в первом приближении возможности применения метода «дерева решения» для разработки схемы прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха на примере крупных городов и урбанизированных зон, а также перспективы его дальнейшего использования.

Список литературы

1. Morrison J. Sustainable development, UK, Profile Books, 2002, 370 p.
2. Попова Е.С., Андреев С.С. Эколого-географическая оценка климатической комфортности городов Ростов-на-Дону и Сочи // *European Journal Of Natural History*, № 5, 2013, с. 32–34.
3. Лазарева Е.О., Попова Е.С. Особенности пространственно-временной динамики антропогенных примесей воздуха г. Санкт-Петербург за период времени с 1980 по 2012 гг. (на примере оксида углерода, диоксида азота, взвешенных веществ) // *Ученые записки РГГМУ*, № 37, 2014, с. 204–215.
4. Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н. Анализ временной изменчивости основных антропогенных примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург за период с 1980 по 2012 гг. // *Экологические проблемы постсоветского пространства / Международный сборник статей под ред. Горбенко А.В., Ивановская Е.А. Липецк*, 2014, с. 76–85.
5. Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н. Динамика и синоптические условия распространения примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург последнего десятилетия XXI в. // *Ученые записки РГГМУ*, № 41, 2015, с. 149–155.
6. Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н. Межгодовая изменчивость и синоптические ситуации распространения примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург последнего десятилетия XXI в. // *Материалы VII Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее»*, Ростов-на-Дону, 12–16 октября 2015 г.
7. Лазарева Е.О. Загрязнение атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург при различных синоптических ситуациях: автореф. дис. канд. географических наук: 25.00.36 / Лазарева Елена Олеговна; [Место защиты: Рос. гос. гидрометеорол. ун-т (РГГМУ)]. Санкт-Петербург, 2016. 26 с.

References

1. Morrison J. Sustainable development, UK, Profile Books, 2002, 370 p.
2. Popova E.S., Andreev S.S. *Ekologo-geograficheskaya otsenka klimaticheskoy komfortnosti gorodov Rostov-na-Donu i Sochi* [Ecological and geographical assessment of climatic comfort of the cities of Rostov-on-Don and Sochi]. *European Journal of Natural History*, No. 5, 2013, p. 32–34.
3. Lazareva E.O., Popova E.S. (2014) *Osobennosti prostranstvenno-vremennoy dinamiki antropogennykh primesey vozdukha g. Sankt-Peterburg za period vremeni s 1980 po 2012 gg. (na primere oksida ugleroda, dioksida azota, vzveshennykh veshchestv)* [Features of the space-time dynamics of anthropogenic air impurities in St. Petersburg for the period from 1980 to 2012 (On the example of carbon monoxide, nitrogen dioxide, suspended solids)] *Uchenye zapiski RGGMU* [Scientific Papers RSHU]. No. 37, pp. 204–215.
4. Lazareva E.O., Popova E.S., Lipovitskaya I.N. (2014) *Analiz vremennoy izmenchivosti osnovnykh antropogennykh primesey atmosfernogo vozdukha g. Sankt-Peterburg za period s 1980 po 2012 gg.* [Analysis of temporal variability of the main anthropogenic impurities of atmospheric air in St. Petersburg for the period from 1980 to 2012.] *Ekologicheskie problemy postsovetskogo prostranstva. Mezhdunarodnyy sbornik statey* [Ecological problems of the post-Soviet space. Intern. collection. Ed. Gorbenko A.V., Ivanovskaya E.A]. Lipetsk, pp. 76–85.
5. Lazareva E.O., Popova E.S., Lipovitskaya I.N. (2015) *Dinamika i sinopticheskie usloviya rasprostraneniya primesey atmosfernogo vozdukha g. Sankt-Peterburg poslednego desyatiletiya XXI v.* [Dynamics and synoptic conditions for the distribution of atmospheric air impurities in St. Petersburg in the last decade of the 21st century] *Uchenye zapiski RGGMU* [Scientific Papers RSHU]. No. 41, pp. 149–155.
6. Lazareva E.O., Popova E.S., Lipovitskaya I.N. (2015) *Mezhdovaya izmenchivost' i sinopticheskie situatsii rasprostraneniya primesey atmosfernogo vozdukha g. Sankt-Peterburg poslednego desyatiletiya XXI v.* [Interannual variability and synoptic situations of the distribution of atmospheric air impurities St. Petersburg, the last decade of the 21st century] *Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologicheskie problemy. Vzglyad v budushchee»* [Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference «Environmental Problems. A Look into the Future»]. Rostov-on-Don, 2015, october 12–16.
7. Lazareva E.O. (2016) *Zagryaznenie atmosfernogo vozdukha g. Sankt-Peterburg pri razlichnykh sinopticheskikh situatsiyakh* [Pollution of the atmospheric air in St. Petersburg under different synoptic situations] *Avtoref. dis. kand. geograficheskikh nauk. 25.00.36* [Abstract of Thesis for Ph. D. of Geography Lazareva E.O. 25.00.36] Ros. gos. gidrometeorol. un-t (RGGMU) [Ros. State. Hydrometeorol. University (RSHU)]. St. Petersburg, 2016. 26 p.