

УДК 551.509.328

Е.С. Андреева<sup>1</sup>, Е.О. Лазарева<sup>2</sup>, И.Н. Липовицкая<sup>3</sup>

## ПРОГНОЗ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Рассмотрено влияние метеорологических характеристик и характерных групп синоптических процессов на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга. Сформированы массивы данных приземных метеорологических характеристик, радиозондирования атмосферы, синоптических ситуаций и уровня загрязнения атмосферного воздуха за период с 2006 по 2014 гг. По результатам исследования разработаны схемы по методу «дерево принятия решения» для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха города.

*Ключевые слова:* синоптический процесс, концентрация антропогенных примесей, приземные метеорологические характеристики, оправдываемость прогнозов, синоптико-статистический метод прогноза, вероятностно-статистические модели

**Введение.** В современном мире геоэкологические проблемы мегаполисов приобретают первостепенное значение, при этом к числу приоритетных относят проблему загрязнения атмосферного воздуха [Morrison, 2002].

История исследований данного направления насчитывает около 60 лет. В этот период решены ряд теоретических и практических задач [Boettger, 1961; Берлянд, 1975; Безуглая, 1983; Сонькин, 1991].

Установлено, что на уровень загрязнения атмосферного воздуха существенное влияние оказывают синоптические ситуации и характерные для них метеорологические условия.

Так, повышенному уровню концентраций примесей в городском воздухе способствуют следующие синоптические ситуации: малоградиентное барическое поле, антициклоническая кривизна изобар, теплая воздушная масса, адвекция тепла в тропосфере. Циклоническая ситуация, ложбина циклона, прохождение холодного фронта, сопровождающиеся усилением ветра и осадками, в свою очередь, способствуют формированию «сравнительно чистого» атмосферного воздуха [Сонькин, 1991]. Указанные выше факты, а также иные обстоятельства были положены в основу принятых и действующих в России методов прогноза загрязнения атмосферного воздуха, изложенных в «Руководстве по прогнозу загрязнения воздуха» РД 52.04.306-92 [Руководящий документ, 1993]. Предлагаемый нами метод прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха, разработанный на основе метода «дерева принятия решений», учитывает синоптико-статистический метод и известные математические модели. Метод показал достаточно высокую оправдываемость 70–90% для г. Санкт-Петербург [Hunt, 1966; Левин, 2006].

Климат Санкт-Петербурга, как известно, носит преимущественно морской характер. Сезонно вы-

деляют весенне-летний и осенне-зимний периоды года, при этом для города характерен быстрый переход от осенне-зимних процессов к весенне-летним. В целом, осенне-зимний период характеризует активная циклоническая деятельность, сопровождающаяся увеличением проходящих через город атмосферных фронтов. В весенне-летний период количество и интенсивность циклонов уменьшается, а скорость их перемещения возрастает. В то же время возрастает повторяемость антициклонов и малоградиентных барических полей с высоким фоном давления. Отмечаемая рядом исследователей некоторая неустойчивость погодно-климатических условий города в последнее время выявила необходимость разработки нетривиальных методов прогноза уровня загрязнения воздуха, что и обусловило обсуждаемое в данной работе построение схем для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург по методу «дерева принятия решения».

Для достижения указанной выше цели были поставлены следующие задачи:

- сформировать базы исходных данных для статистического и физического анализов;
- определить повторяемость характерных групп синоптических процессов с учетом погодных условий последнего десятилетия;
- провести комплекс расчетов и разработать схемы для определения ожидаемого уровня загрязнения атмосферного воздуха по методу «дерева принятия решения».

**Материалы и методы исследования.** Для достижения цели исследования изучены и обработаны срочные данные метеорологических наблюдений, выполненных на станции 26 063 (в пределах г. Санкт-Петербург), за период с 2006 по 2014 гг. [Архив погоды, <http://gp5.ru>].

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», инженерно-строительный факультет, кафедра пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, докт. геогр. н., доцент; e-mail: esameteo@mail.ru

<sup>2</sup> Гражданский служащий, канд. геогр. н.; e-mail: milyutina.e.o@yandex.ru

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский институт гуманитарного образования, проректор по развитию, канд. геогр. н.; e-mail: lipovitskaya@mail.ru

В рамках исследования рассмотрены данные по вертикальному профилю атмосферы, полученные путем радиозондирования атмосферы Санкт-Петербурга (00:00 и 12:00 UTC) на станции Воейково.

Авторами выполнен визуальный анализ архивного материала приземных карт погоды над Европой из базы данных [Карты погоды, Meteoweb.ru]. Исследовался период с 2006 по 2014 гг. (3279 карт) ежесуточно за срок 00:00 UTC (Всемирного скоординированного времени). В ходе анализа 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; прослежены и изучены траектории их движения, что является, в рамках данного исследования, критерием выделения характерных групп синоптических процессов.

Изучены данные наблюдений за состоянием атмосферного воздуха Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ФГБУ «Северо-Западное УГМС») за период времени с 2006 по 2014 гг. Наблюдения осуществлялись на 10 стационарных постах службы, расположенных в восьми 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  $q_{cp}$  более чем в 1,5 раза ( $q > 1,5q_{cp}$ ) ( $m$ ) по двум примесям (оксиду углерода, диоксиду азота – продуктам неполного сгорания топлива в двигателях автотранспортных средств, которые вносят наибольший вклад в выбросы загрязняющих веществ города – 86% в 2014 г. [Ежегодник, 2015; Серебрицкий, 2015]). Приведенные данные позволили вычислить фактическое значение интегрального показателя загрязнения воздуха в городе совокупностью примесей – параметра  $P$  (формула 1) [Руководящий документ, 1993].

$$P = m/n, \quad (1)$$

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  $q_{cp}$  более чем в 1,5 раза ( $q > 1,5q_{cp}$ ).

При использовании параметра  $P$ , согласно РД 52.04.306-92, рассматривались 3 группы загрязнения воздуха:  $P > 0,35$  – относительно высокое (первая группа (I)),  $0,35 \geq P > 0,20$  – повышенное (вторая группа (II)),  $P \leq 0,20$  – пониженное (третья группа (III)) [Лазарева с соавт., 2015].

С целью детальной оценки вклада характерных синоптических процессов, сопровождающихся

комплексом метеорологических условий в формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург на примере двух рассматриваемых в работе примесей (оксида углерода и диоксида азота) сформированы массивы данных для холодного (с ноября по март месяцы (1050 дней)) и теплого (с апреля по октябрь месяцы (1587 дней)) периодов года. Изучение особенностей помесечных значений температуры воздуха и радиационного баланса за период времени с 2006 по 2014 гг. позволило отнести такие переходные месяцы (апрель и октябрь) к теплому сезону. При этом отдельно рассматривались дневные (09:00–21:00) и ночные (21:00–09:00) случаи и рассматривались 3 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 для двух рассматриваемых антропогенных примесей; оценка вероятности загрязнения при выделенных характерных группах синоптических процессов; регрессионный анализ; расчет коэффициентов взаимной сопряженности и уровня загрязнения воздуха и синоптических процессов [Лазарева, 2016].

Для оценки связи синоптического процесса и уровня загрязнения воздуха использован коэффициент взаимной сопряженности Пирсона–Чупрова (формулы 2–4) [Айвазян, 1997; Шмойлова, 2003], поскольку исследование выполнялось для выявления взаимосвязи атрибутивных (качественных) признаков при небольшом числе наблюдений в рамках очевидной стохастичности изучаемых явлений.

Так, проверка статистической гипотезы о виде распределения выполнена при помощи критерия согласия –  $\chi$  (формула 5) [Лазарева, 2016].

$$Kn = \sqrt{\frac{\varphi^2}{1 + \varphi^2}}, \quad (2)$$

$$Kч = \sqrt{\frac{\varphi^2}{\sqrt{(k_1 - 1) \times (k_2 - 1)}}}, \quad (3)$$

где  $Kn$  – коэффициент Пирсона;  $Kч$  – коэффициент Чупрова;  $\varphi^2$  – коэффициент взаимной сопряженности;  $k_1$  – число групп загрязнений;  $k_2$  – число групп синоптических ситуаций.

$$1 + \varphi^2 = \sum \frac{f_{xy}^2}{f_x} = \sum \frac{f_{xy}^2}{f_y}, \quad (4)$$

$$\chi^2 = f \left\{ \sum_{xy} \frac{f_{xy}^2}{f_x \times f_y} - 1 \right\}, \quad (5)$$

где  $\varphi^2$  – показатель взаимной сопряженности;  $\chi^2$  – критерий согласия;  $f$  – количество случаев по выборке для каждой группы;  $x$  – число случаев отдельных групп загрязнения;  $y$  – число случаев групп кон-

кретных синоптических ситуаций;  $f_x$  – суммарное количество случаев отдельных групп загрязнения;  $f_y$  – суммарное количество случаев конкретных синоптических ситуаций;  $f_{xy}$  – суммарное количество случаев в отношении групп загрязнения и групп синоптических ситуаций.

**Результаты и обсуждение.** В ходе исследования 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. При этом выполнен анализ для холодного и теплого периодов года, что позволило уточнить повторяемость синоптических процессов для полугодий (табл. 1).

Для оценки тесноты связи синоптического процесса и уровня загрязнения воздуха на примере двух обсуждаемых в работе антропогенных примесей построены таблицы сопряженности, на основе которых выполнен расчет коэффициентов Пирсона и Чупрова для ночных, дневных часов и за сутки. При оценке значимости по критерию  $\chi^2$  (для всех рассматриваемых случаев  $\chi^2 > \chi^2_{кр}$ ), выявлены статистически значимые различия, что позволяет отметить наличие существенной связи между синоптическими процессами и загрязнением атмосферного воздуха, несмотря на малую величину коэффициентов Пирсона–Чупрова (табл. 2).

В результате пошагового регрессионного анализа (методом включения) для ночных часов отмечено 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) и 67% (для теплого периода), которые представля-

ют инерционный фактор, что говорит о ведущей роли инерционного фактора при прогнозировании уровня загрязнения атмосферного воздуха для оксида углерода и диоксида азота.

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 отношении двух рассматриваемых примесей в виде «дерева принятия решения» экспертным путем.

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).

Фактически разработанный метод представлен в наглядном виде на схеме (рис. 1, А и Б), которая иллюстрирует представленные выше формулы (4) и (5). Так, на первой схеме (рис. 1, А) дано наглядное представление о работе метода в отношении дневных часов холодного периода года, при этом поэтапному совместному анализу подвергаются группы синоптических процессов и возникающие при этом группы загрязнений по параметру  $P$ , взятому для предыдущего срока. Вторая схема (рис. 1, Б) дает представление о возможностях прогнозирования уровня загрязнения воздуха в отношении ночных часов теплого периода. Очевидно, что выбор

Таблица 1

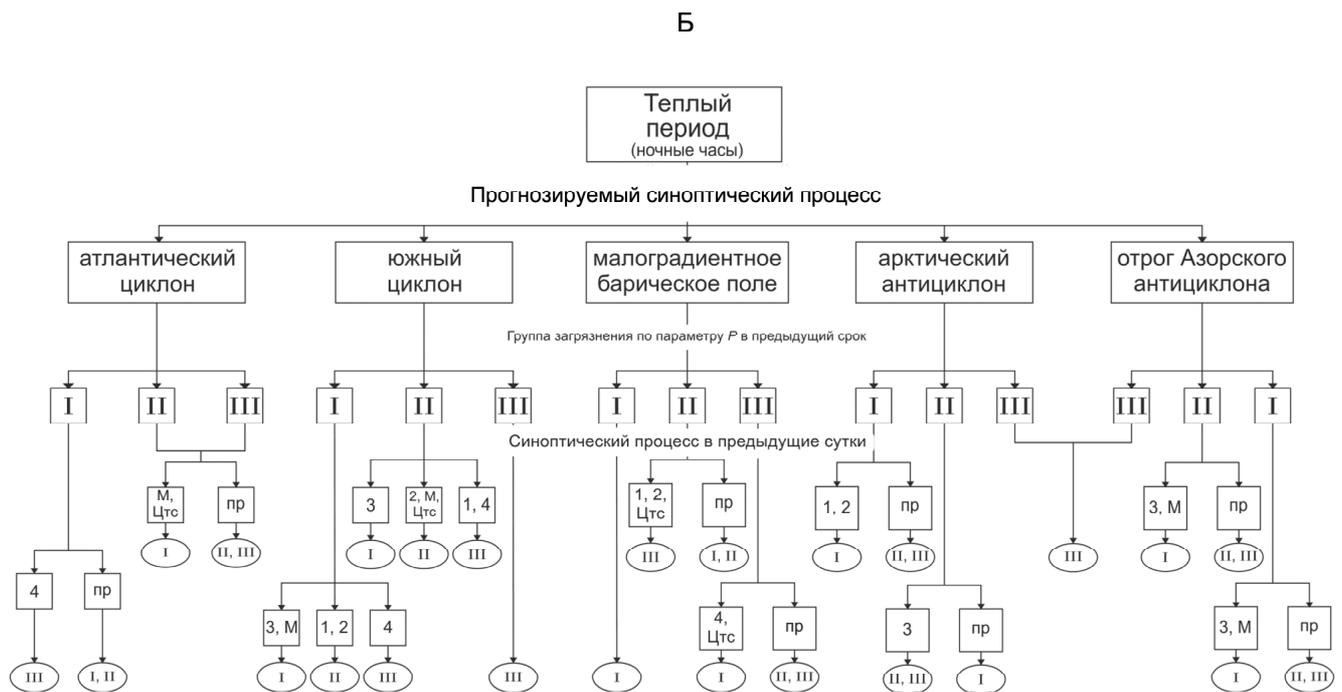
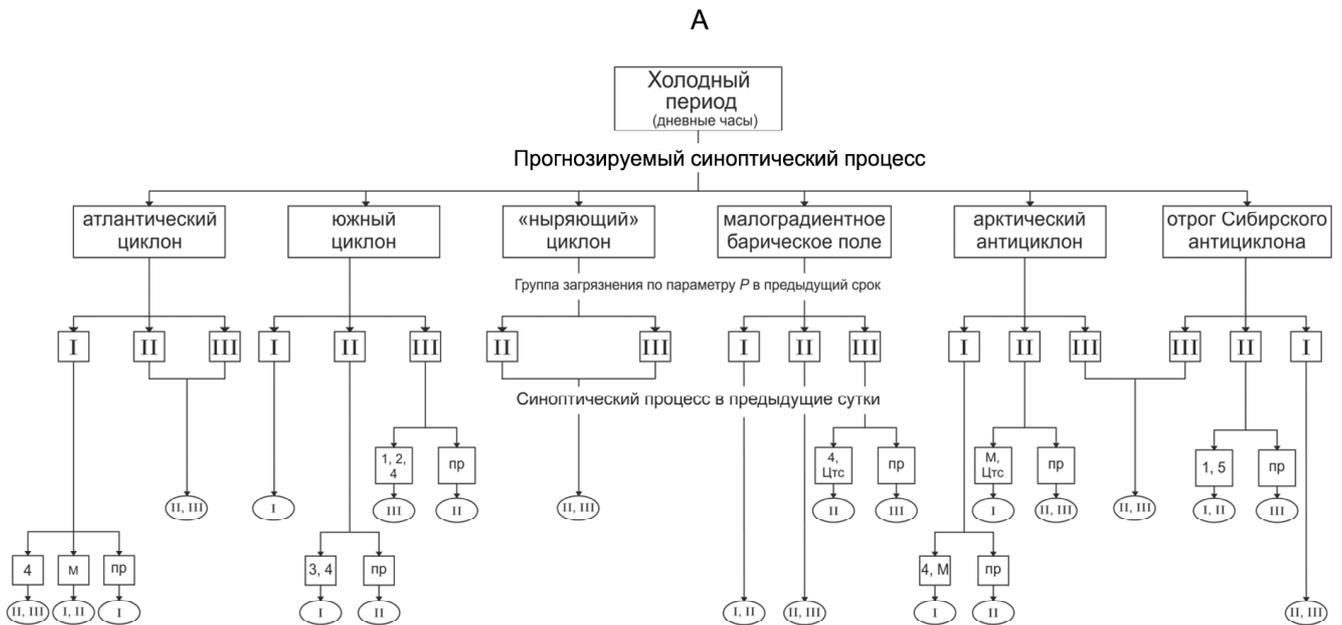
**Повторяемость характерных групп синоптических процессов для холодного и теплого периодов года (2006–2014 гг.) [Лазарева, 2016]**

Тип синоптической ситуации	Повторяемость, %	
	для холодного периода	для теплого периода
Атлантический циклон	48	43
«Ныряющий» циклон	8	–
Южный циклон	9	18
Арктический антициклон	21	14
Отрог Сибирского антициклона	14	–
Отрог Азорского антициклона	–	25

Таблица 2

**Оценка сопряженности синоптических процессов и уровней загрязнения атмосферного воздуха на основе коэффициентов Пирсона (Кп) и Чупрова (Кч) для г. Санкт-Петербург за холодный и теплый периоды с 2006 по 2014 гг. [Лазарева, 2016]**

Коэффициент	Время суток					
	холодный период			теплый период		
	день	ночь	сутки	день	ночь	сутки
Кп	0,21	0,26	0,24	0,19	0,24	0,22
Кч	0,12	0,15	0,13	0,12	0,15	0,13
$\chi^2$	38,1	61,2	49,9	45,8	76,7	60,5
$\chi^2_{кр} (\alpha=0,05)$	18,3			15,5		



- |                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 – Атлантический циклон            | Цтс – Теплый сектор Циклона |
| 2 – Южный циклон                    | пр – Прочие                 |
| 3 – Арктический антициклон          | I – $P \leq 0,20$           |
| 4 – Отрог Азорского антициклона     | II – $0,20 < P \leq 0,35$   |
| M – Малоградиентное барическое поле | III – $P > 0,35$            |

Схема «дерево принятия решения» определения ожидаемого уровня загрязнения воздуха для: А – дневных часов холодного периода, Б – для ночных часов теплого периода в г. Санкт-Петербург

Scheme of the «tree of decision» method to determine the expected level of air pollution for: А – daytime cold period, Б – nighttime warm period for St. Petersburg

временных интервалов для иллюстрирования этапов работы разработанного метода (ночные часы теплого и дневные часы холодного периодов года) объясняется наиболее неблагоприятными в эти моменты условиями для рассеивания примесей, содержащихся в воздухе города, по многолетним данным, предоставленным Федеральным государственным бюджетным учреждением «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ФГБУ «Северо-Западное УГМС»).

Таким образом, в рамках проделанного исследования были разработаны 4 схемы для определения ожидаемой группы загрязнения воздуха в виде «дерева принятия решения» для дневных часов холодного и ночных часов теплого периодов года.

Например, для определения ожидаемой группы загрязнения 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), что говорит о более эффективном прогнозе уровня загрязнения атмосферного воздуха по предлагаемым схемам в холодный период года.

Так как способ прогноза уровня загрязнения атмосферного воздуха в виде «дерева принятия решения» является принципиально новым, сравнить оправдываемость прогноза с существующими в настоящее время методами не представляется возможным. Однако следует отметить достоинства предлагаемого способа: простота и доступность исходных данных, что позволяет минимизировать трудозатраты, сохранив при этом оправдываемость на достаточно высоком уровне.

**Выводы:**

- 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 в г. Санкт-Петербург;

- уточнены характерные группы синоптических процессов Санкт-Петербурга за период с 2006 по 2014 гг. Повторяемость их над исследуемым районом для холодного периода составляет для атлантического циклона 48%, для южного циклона 9%, для «ныряющего» циклона 8%, для арктического антициклона 21%, отрога Сибирского антициклона – 15%. Для теплого периода: для атлантического циклона – 43%, южного циклона – 18%, арктического антициклона 14%, отрога Азорского антициклона – 25%;

- разработанные схемы по методу «дерева принятия решения» позволили 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%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Айвазян С.А., Бежаева З.И., Староверов О.В. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1997. 240 с.

Архив погоды в Санкт-Петербурге / rp5.ru расписание погоды [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Санкт-Петербурге](http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Санкт-Петербурге).

Безуглая Э.Ю. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 328 с.

Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 448 с.

Карты погоды. Meteoweb.ru [Электронный ресурс]. Интернет журнал Meteoweb.ru. М., 2015. Режим доступа: <http://meteoweb.ru/>

Лазарева Е.О. Загрязнение атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург при различных синоптических ситуациях. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. СПб., 2016.

Лазарева Е.О. Схема уточнения к модели прогнозирования рассеивания антропогенных примесей атмосферного воздуха для г. Санкт-Петербург // Естественные и технические науки. М.: Спутник+, 2016. № 3. С. 104–108.

Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н. Влияние температурных инверсий на концентрацию примесей в приземном слое воздуха над Санкт-Петербургом в 2006–2014 гг. // Уч. зап. РГМУ. 2015. № 41. С. 149–155.

Левин А.В. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ. М.: Вильямс, 2006. 576 с.

Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в 2014 г. Обзор / Под ред. И.А. Серебрицкого. СПб., 2015. 404 с.

Руководящий документ РД 52.04.306-92. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха. СПб: Гидрометеоздат, 1993.

Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 223 с.

Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности ФГБУ «Северо-Западное УГМС» за 2014 г. Ежегодник / Под ред. А.А. Луковской. ФГБУ «Северо-Западное УГМС». СПб, 2015. 165 с.

Теория статистики. Учебник / Под ред. Р.А. Шмойловой. М.: Финансы и статистика, 2003. 656 с.

Morrison J. Sustainable development. UK: Profile Books, 2002. 370 p.

Hunt E.B., Marin J., Stone P.J. Experiments in Induction. UK: Oxford, 1966. 176 p.

Boettger C.M. Air-pollution potential East of the Rocky Mountains – Fall 1959 // Bul. Amer. Met. Soc. 1961. V. 42. P. 615–620.

Поступила в редакцию 31.05.2017  
 После доработки 15.11.2018  
 Принята к публикации 06.12.2018

E.S. Andreeva<sup>1</sup>, E.O. Lazareva<sup>2</sup>, I.N. Lipovitskaya<sup>3</sup>

THE FORECAST OF AIR POLLUTION LEVELS  
IN ST. PETERSBURG USING A DECISION-MAKING ALGORITHM

The influence of meteorological parameters and characteristic groups of synoptic situations on the level of air pollution in St. Petersburg is discussed. Data sets of surface meteorological parameters, radio sounding of the atmosphere, synoptic situations and levels of air pollution during 2006 to 2014 are generated. The research results allow the development of schemes to determine the expected level of air pollution in the city using the «tree of decision» method.

*Key words:* synoptic process, concentration of anthropogenic atmospheric contaminants, surface meteorological parameters, accuracy of forecasts, synoptic-statistical method of forecasting, probabilistic-statistical models

REFERENCES

- Arkhiv pogody v Sankt-Peterburge [Weather archive in Saint-Petersburg] / rp5.ru the schedule of the weather [Electronic resource] – access mode: [http://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Санкт-Петербург](http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Санкт-Петербург) (In Russian)
- Ayvazyan S.A., Bezhaeva Z.I., Staroverov O.V. Proklanaya statistika. Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannyh [Applied statistics. Basics of modeling and primary data processing]. M.: Finance and Statistics, 1997. 240 p. (In Russian)
- Berlyand M.E. Sovremennyye problemy atmosfornoj diffuzii i zagryazneniya atmosfery [Actual problems of atmospheric diffusion and pollution of the atmosphere]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1975. 448 p. (In Russian)
- Bezuglaya E. Yu. Klimaticheskie harakteristiki usloviy rasprostraneniya primesej v atmosfere [Climatic characteristics of distribution of pollutants in the atmosphere]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. 328 p. (In Russian)
- Boettger C.M. Air-pollution potential East of the Rocky Mountains – Fall 1959// *Bul. Amer. Met. Soc.* 1961. V. 42. P. 615–620.
- Hunt E.B., Marin J., Stone P.J. Experiments in Induction. UK, Oxford, 1966. 176 p.
- Karty pogody [Weather maps]. Meteoweb.ru [Electronic resource] / Internet magazine Meteoweb.ru. M., 2015. access mode: <http://meteoweb.ru/> (In Russian)
- Lazareva E. O. Shema utochneniya k modeli prognosirovaniya rasseivaniya antropogennih primesej atmosfernogo vozduha dlya g. Sankt-Peterburg [Scheme refinement to the model of predicting the dispersion of anthropogenic pollutants of atmospheric air in St. Petersburg] // *Natural and technical Sciences. Moscow: Sputnik+*, 2016. № 3. P. 104–108. (In Russian)
- Lazareva E.O. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukhа g. Sankt-Peterburg pri razlichnyh sinopticheskikh situatsiyah [Pollution of atmospheric air in St. Petersburg under different synoptic situations] // Avtoref. dis ... candidate of geographical sciences. St. Petersburg, 2016. (In Russian)
- Lazareva E.A., Popova E.S., Lipovitskaya I.N. Vliyanie temperaturnyh inversij na kontsentratsiyu primesej v prizemnom sloe vozduha nad Sankt-Peterburgom v 2006–2014 gg. [The influence of temperature inversions on the concentration of contaminants in the surface layer of atmosphere in St. Petersburg during the period of 2006–2014] // *Scientific notes of RSHU.* 2015. № 41. P. 149–155. (In Russian)
- Levin A.V. Algoritmy. Vvedenie v razrabotku i analiz [Algorithms. Introduction to elaboration and analysis]. M.: Williams, 2006. 576 p. (In Russian)
- Morrison J. Sustainable development. UK, Profile Books, 2002. 370 p.
- Ohrana okruzhayushhej sredy, prirodopolzovanie i obespechenie ekologicheskoy besopasnosti v 2014 godu [Environmental protection, nature management and ensuring environmental safety in 2014]. Review / Ed.: I.A. Serebriksy. SPb., 2015. 404 p. (In Russian)
- Rukovodstvo po prognozu zagryazneniya vozduha [Guide to forecast of air pollution]. Rukovodyashchiy document RD 52.04.306-92.SPb.: Gidrometeoizdat, 1993. (In Russian)
- Sonkin L.R. Sinoptiko-statisticheskij analiz i kratkosrochnyy prognoz zagryazneniya atmosfery [Synoptic-statistical analysis and short-term forecast of pollution of the atmosphere]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 223 p. (In Russian)
- Sostoyanie zagryazneniya atmosfernogo vozduha gorodov na territorii deyatel'nosti FGBU «Severo-Zapadnoe UGMS» za 2014 g. Ezhegodnik [2014 state of air pollution in cities within the area of the FSBI «Northwest Department of Hydrometeorology and environmental monitoring» activities. Yearbook] / Ed.: A.A. Lukovskoy; FSBI «Northwest Department of Hydrometeorology and environmental monitoring». SPb., 2015. 165 p. (In Russian)
- Teoriya statistiki. Uchebnik [Theory of statistics: Textbook] / Ed. R.A. Shmoilovoy. 4-e ed., revised and additional. M.: Finance and Statistics, 2003. 656 p. (In Russian)

Received 31.05.2017

Revised 15.11.2018

Accepted 06.12.2018

<sup>1</sup> Federal State-Funded Educational Institutional of Higher Education Don State Technical University, Faculty of Construction and Engineering. Department of Fireguard and Emergency, Associate Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: [esameteo@mail.ru](mailto:esameteo@mail.ru)

<sup>2</sup> Civil servant, PhD. in Geography; *e-mail*: [milyutina.e.o@yandex.ru](mailto:milyutina.e.o@yandex.ru)

<sup>3</sup> Saint-Petersburg Institute of Education in the sphere of humanities and social sciences, Vice Rector for development, PhD. in Geography; *e-mail*: [lipovitskaya@mail.ru](mailto:lipovitskaya@mail.ru)