

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИС-КАРТИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПОТЕНЦИАЛА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

И.Н. Липовицкая, проректор НАНОО ВПО «Санкт-Петербургский институт гуманитарного образования», г. Санкт-Петербург, канд. геогр. наук, lipovitskaya@mail.ru
Е.С. Андреева, проф. каф. ФГБОВУ «Донской государственной технической университет», г. Ростов-на-Дону, д-р геогр. наук, espmeteo@yandex.ru
С.С. Андреев, проф. каф. ЧОУВО «Ростовский институт защиты предпринимателя», д-р геогр. наук, rggmurd@yandex.ru

Рассмотрено влияние метеорологических характеристик на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха Ленинградской области. Сформирован массив данных приземных метеорологических характеристик за период с 2005 по 2015 гг. Произведены расчеты фонового потенциала загрязнения атмосферы с привлечением методики определения климатического потенциала загрязнения атмосферы и вероятности инверсии – из данных, полученных с помощью численной модели атмосферного пограничного слоя. В работе был проведен пространственно-временной анализ таких метеорологических величин как высота инверсии, повторяемость инверсий, необходимых для определения потенциала загрязнения атмосферы и впервые построены гис-карты этих параметров и потенциала загрязнения атмосферы.

Ключевые слова: гис-картирование, инверсия температуры, потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), атмосферный пограничный слой (АПС), пространственный анализ, Ленинградская область.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF GIS-MAPPING OF VALUES OF THE ATMOSPHERIC POLLUTION POTENTIAL THROUGH APPLICATION OF NUMERICAL MODEL OF THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER (ON THE EXAMPLE OF LENINGRAD REGION)

I.N. Lipovitskaya, Vice-Rector, Non-State Autonomous Non-Profit Educational Organization of Higher Professional Education «St. Petersburg Institute of Humanitarian Education», St. Petersburg, Doctor of Geography, lipovitskaya@mail.ru
E.S. Andreeva, Professor, Department of Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Don State Technical University», Rostov-on-Don, Ph. D. of Geography, espmeteo@yandex.ru
S.S. Andreev, Professor of Department, Private Higher Educational Institution «Rostov Institute of Entrepreneur Protection», Ph. D. of Geography, rggmurd@yandex.ru

The influence of meteorological characteristics on the level of air pollution in the Leningrad Region is hereby considered. An array of data of surface meteorological characteristics for the period from 2005 to 2015 was formed. Calculations of the background potential of atmospheric pollution with the use of the method for determining the climatic potential of atmospheric pollution and the probability of inversion are made from data obtained with the help of a numerical model of the atmospheric boundary layer. The space-time analysis of such meteorological quantities as the inversion height, the frequency of inversions necessary to determine the potential of atmospheric pollution, and the first GIS-maps of these parameters and the air pollution potential were constructed.

Keywords: GIS-mapping, temperature inversion, atmospheric pollution potential (APP), atmospheric boundary layer (ABL), spatial analysis, Leningrad Region.

Введение

Проблема защиты воздуха атмосферы от ряда опасных антропогенных примесей, содержащихся в нем, была актуальной в XX веке, не утратив своей важности и в наступившем XXI веке, несмотря на варианты решений, полученных ранее в России и за рубежом. Так, при решении проблемы защиты воздушного бассейна от загрязнения в ряде случаев решающая роль отводится анализу метеорологических аспектов, поскольку поведение попавших в атмосферу выбросов определяется в основном метеорологическими факторами. В частности, существенное влияние на механизмы переноса и рассеивания примесей оказывают такие метеорологические величины, как характеристики термической устойчивости атмосферы, скорость ветра и высоты нижней и верхней границы инверсионных слоев атмосферы [1]. В целях сохранения чистоты воздушного бассейна и предотвращения опасных ситуаций должен действовать управленческий механизм регулирования выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями и автотранспортом. Для создания этого механизма необходимо учитывать такой показатель как потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА). Под ПЗА следует понимать сочетание метеорологических факторов, обуславливающих уровень возможного загрязнения атмосферы. Научный анализ данных о ПЗА при заданных параметрах выбросов дает возможность составления климатического прогноза среднего уровня загрязнения воздуха. Различают метеорологический и климатический ПЗА. Метеорологический ПЗА используется в ежедневных метеорологических прогнозах загрязнения атмосферы, климатический ПЗА – при оценках климатических условий переноса и рассеивания примесей в определенном физико-географическом районе. Данные о ПЗА позволяют лучше понять причины формирования уровня загрязнения воздуха, объяснить суточные, годовые и более длительные изменения содержания примесей в атмосфере, особенности их распределения в районе городов. В результате научного анализа данных о ПЗА выявляется возможность составления при заданных параметрах выбросов климатического прогноза среднего уровня загрязнения воздуха [2]. Составление ГИС-карт для наглядного отображения полей метеовеличин, полученных с помощью численных методов, уже достаточно хорошо используется в науке. Для разработки механизма принятия управленческих решений регулирования выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями и автотранспортом авторами статьи впервые предложены инновационные технологии гис-картирование значений потенциала загрязнения атмосферы, полученных с помощью привлечения модели пограничного слоя атмосферы.

Основная часть. Следует напомнить, что современные города обычно охватывают территорию в десятки и даже сотни квадратных километров, поэтому очевидно, что изменение содержания вредных веществ в атмосфере происходит под воздействием мезо- и макромасштабных атмосферных процессов.

Еще в 80-е гг. XX века Безуглой Э.Ю. и другими авторами был проведен ряд исследований, посвященный определению потенциала загрязнения атмосферы для всей территории СССР [2, 3]. Однако основное внимание уделялось оценке соответствия построенной модели потенциала загрязнения реальному пространственному распределению загрязнения различных регионов СССР.

В настоящей работе для исследования ПЗА атмосферы была выбрана территория Ленинградской области, поскольку этот район характеризуется «нестабильным» климатом, связанным с географическим положением и наличием крупных водных объектов (Финский залив, Ладожское озеро, Онежское озеро), влияние на климат которых крайне неоднозначно.

Помимо общих характеристик атмосферного пограничного слоя (АПС), таких как скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, которые довольно успешно

прогнозируются в синоптической метеорологии, для многих практических приложений оказывается также важным знать особенности поведения элементов вертикальной структуры указанного выше слоя, таких как: вертикальные сдвиги скорости ветра, параметры устойчивости атмосферы, характеристики температурных инверсий и интенсивности турбулентности. Основными источниками экспериментальных данных в этих исследованиях до сих пор являются лишь градиентные измерения в приземном слое, охват высот которых, как правило, невелик (до двух метров), а накопленных рядов наблюдений оказывается крайне недостаточно для удовлетворения все возрастающих требований практики.

Поэтому возникает проблема разработки таких методов анализа, которые позволили бы использовать для расчета различных климатических характеристик АПС данные стандартных метеорологических наблюдений – единственной информации, которая имеется на настоящий момент в количестве, обеспечивающем получение достоверных статистических оценок.

В данной работе использовалась математическая модель атмосферного пограничного слоя, которая проводит оценку данных на репрезентативность, восстанавливает суточный ход исследуемых величин и рассчитывает параметры атмосферного пограничного слоя, в том числе и высоту инверсии [4].

Метод базируется на предположении, что именно суточные колебания температуры воздуха, обязанные своим происхождением колебаниям инсоляции, как раз и являются ответственными за формирование вертикальных градиентов температуры в приземном слое и, как следствие, определяют вертикальную структуру атмосферной турбулентности, скорости и направления ветра [5].

Следует отметить, однако, что в статистических исследованиях не всегда достаточно точно отражаются действительные связи уровня загрязнения воздуха с метеорологическими условиями. Хотя зависимость концентрации примеси от данного параметра обнаруживается, это происходит, главным образом, за счет того, что данная метеорологическая характеристика сопутствует определенной метеорологической ситуации, влияющей на уровень загрязнения воздуха. Более правильно рассматривать комплексные параметры, например скорость ветра и термическую стратификацию тропосферы или объем перемешивания.

Высокие концентрации загрязняющих веществ формируются в областях высокого давления. Причиной являются нисходящие вертикальные движения, возникающие из-за расхождености воздуха в антициклонах в приземном слое. Опускание воздуха сопровождается повышением температуры, вследствие чего возникают мощные инверсии, препятствующие развитию турбулентного перемешивания воздуха.

Для оценки климатических условий рассеивания примесей использован физико-статистический метод, разработанный в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [2]. Этот метод позволяет выразить рассеивающую способность атмосферы (в условных единицах), создаваемую под влиянием метеорологических условий при фиксированных параметрах выбросов в заданном географическом районе. Показатель потенциала загрязнения атмосферы Π можно представить как отношение средних уровней концентраций примеси при заданных выбросах в конкретном (\bar{q}) и условном (\bar{q}_0) районах:

$$\Pi = \frac{\bar{q}}{\bar{q}_0}. \quad (1)$$

Показатель ПЗА показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в конкретном районе, определяемый реальной повторяемостью метеорологических условий (неблагоприятных для рассеивания примесей), будет выше, чем в условном.

Исходная информация получена из общедоступного архива метеоданных для метеостанций, имеющих пятизначные номера Всемирной Метеорологической Организации (ВМО).

Несмотря на то, что ряд наблюдений за загрязнением воздуха невелик (около 10 лет), накопленная информация позволяет провести климатологическое обобщение результатов этих наблюдений.

Архивная информация метеонаблюдений считывалась нами с сервера <http://meteo.info-srasc.ru> за период с 1.01.2005 по 1.10.2015 в виде файлов фиксированной структуры в формате CSV (значения, разделенные запятыми). Последний содержит заголовочный и информационный разделы [6].

Заголовочный раздел состоит из 46 строк.

В заголовочном разделе приводятся:

- общее описание архива;
- сведения о метеостанции;
- данные о выборке данных (диапазон дат, формат даты, формат времени, формат файла);
- информация о полях данных и порядке их следования в записи.

В информационном разделе содержатся записи, состоящие из 31 поля, расположенные по порядку в соответствии с описанием заголовочного раздела.

По результатам проведенных расчетов были получены основные величины в виде суточного хода по осредненным данным для рассматриваемой территории (Ленинградской области) и поля.

Как отмечалось выше, одним из основных явлений, которое влияет на распространение примеси в атмосфере и на формирование уровня загрязнения атмосферы, является инверсия температуры. Карта распределения высоты инверсии (средней за год) на территории Ленинградской области и прилегающих районов представлена на рис. 1.

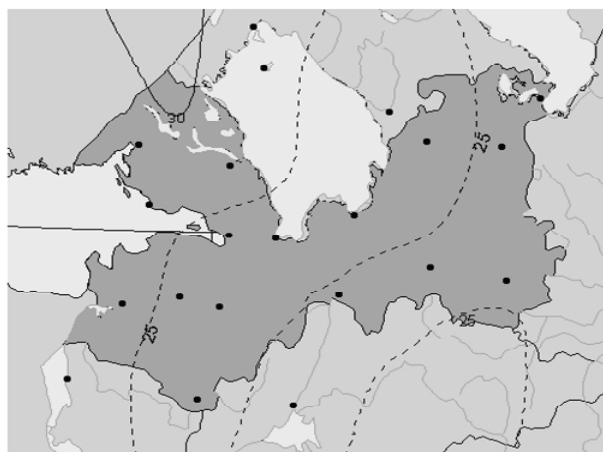


Рис. 1. Высота инверсии (среднегодовая)

В среднем высота инверсии над Ленинградской областью не превышает 25 м. Динамика верхней границы инверсии по рассматриваемой области связано с наличием крупных водных объектов.

Анализ полученных результатов показал, что динамика верхней границы инверсии по рассматриваемой области связана с наличием крупных водных объектов. В среднем высота инверсии над Ленинградской областью не превышает 25 м. Повторяемость высоты инверсии на территории Ленинградской области довольно высока. Среднегодовая повторяемость составляет порядка 60%.

Расчет фонового потенциала загрязнения атмосферы осуществлялся с привлечением методики определения климатического потенциала загрязнения атмосферы, а вероятности инверсии – из данных полученных с помощью модели АПС.

На рис. 2 приведен расчет среднегодового фонового ПЗА для территории Ленинградской области и прилегающих районов.

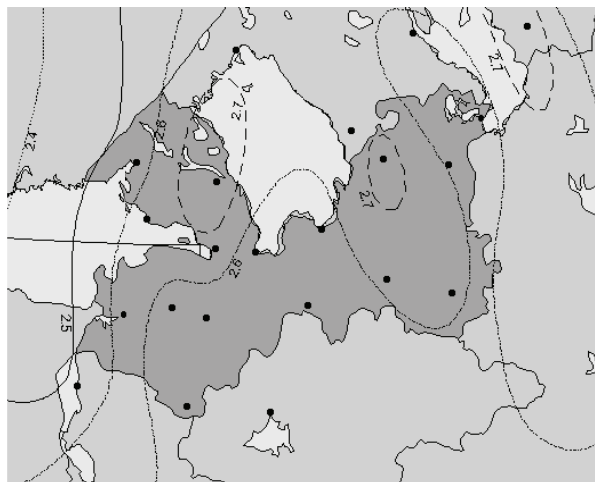


Рис. 2. ПЗА (среднегодовой)

Величина среднегодового климатического ПЗА для территории Ленинградской области составляет 2,6. Значение ПЗА уменьшается с 2,8 на севере до 2,6 на юге. Максимальные значения наблюдаются на западном и восточном побережьях Ладожского озера и территории Онежского озера, что связано как с высокой повторяемостью застоев, так и частыми туманами. Наиболее благоприятные условия рассеивания [7] наблюдаются на берегу Финского залива, что, вероятно, связано с более высокими скоростями ветра в этом районе, чем на остальной территории области.

В течение года области с максимальными значениями ПЗА изменяются мало. Зимой неблагоприятная ситуация складывается вокруг Ладожского и Онежского озер. Это опять-таки связано с высокой повторяемостью застоев на этой территории.

Весной опасная область смещается к западному побережью Ладожского озера (станция Сосново). Вероятно, это связано с мощными и длительными инверсиями. Усиление ветра с Балтийского моря увеличивает рассеивающую способность атмосферы [8] и, соответственно, снижает величину ПЗА на западе и юго-западе области.

Летом неблагоприятная ситуация сохраняется только на ряде метеостанций, однако в среднем ПЗА сохраняет значение около 2,6. Это связано с частыми штилями и высокой повторяемостью ночных инверсий.

В осенний период ситуация в районе озер похожа на зиму. Несмотря на сильный ветер, значение ПЗА остается около 2,7, что связано с туманами.

Как показали результаты проведенного исследования, территория Ленинградской области и прилегающих районов является умеренно неблагоприятной с точки зрения рассеивающей способности атмосферы. Однако преобладающие метеорологические явления, препятствующие рассеиванию загрязняющих веществ, меняются как в течение суток, так и в течение года.

В данной работе был проведен анализ загрязнения воздушного бассейна Ленинградской области, основанный на использовании методики расчета потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА), разработанной в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова в 80-х гг. XX века. Для этого был собран и проанализирован архив данных с метеостанций Ленинградской области, г. Санкт-Петербург и прилегающих регионов, входящих в сеть ВМО, (16 станций, с 2005 по 2015 гг., с 4- и 8-срочными наблюдениями).

Высота инверсии прямо не измеряется, поэтому для ее получения привлекалась математическая модель атмосферного пограничного слоя (АПС), которая проводит оценку данных на репрезентативность, восстанавливает суточный ход исследуемых величин и рассчитывает параметры АПС, в том числе и высоту инверсии [9].

Заключение

В работе был проведен пространственно-временной анализ метеорологических величин, необходимых для определения потенциала загрязнения атмосферы (высота инверсии, повторяемость инверсий) и построены гис-карты высоты инверсии и потенциала загрязнения атмосферы.

Результаты проведенных исследований позволяют назвать территорию Ленинградской области и прилегающих к ней районов умеренно неблагоприятной с точки зрения рассеивающей способности атмосферы.

При проектировании промышленных и жилых объектов, на всех стадиях освоения и экономического развития территории [10] важное значение приобретает климатическая информация о потенциале загрязнения атмосферы.

Внедрение гис-карт ПЗА в практику работ проектных и научных институтов будет способствовать не только более правильному размещению крупных промышленных предприятий, а также транспортных магистралей различного уровня с учетом рассеивающей способности атмосферы, но и в итоге позволит приблизиться к решению проблемы защиты воздушного бассейна крупных городов и урбанизированных зон.

Список литературы

1. 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. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 41. С. 149–155.
2. Лазарева Е.О., Липовицкая И.Н., Андреева Е.С. Инновационные подходы к прогнозированию уровня загрязнения атмосферного воздуха крупных городов // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2017. № 2(20). С. 46–50.
3. Липовицкая И.Н., Василенко С.В., Гаврилов А.С., Мханна А. Метод климатологического анализа вертикальной структуры атмосферного пограничного слоя с использованием численной модели // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2006. № 2. С. 74–87.
4. Попова Е.С., Липовицкая И.Н., Лазарева Е.О. Анализ временной изменчивости основных антропогенных примесей атмосферного воздуха г. Санкт-Петербурга за период с 1980 г. по 2012 г. / В сборнике: Экологические проблемы постсоветского пространства Горбенко А.В., Ивановская Е.А. Международный сборник научных статей. Под общей редакцией А.В. Горбенко, Е.А. Ивановской. Липецк, 2014. С. 76–85.
5. Лазарева Е.О., Попова Е.С. Особенности пространственно-временной динамики антропогенных примесей воздуха г. Санкт-Петербурга за период времени с 1980 по 2012 г. (на примере оксида углерода, диоксида азота, взвешенных веществ) // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. № 37. С. 204–215.
6. Andreyev S.S., Popova E.S. Global warming and anthropogenic factor // European Journal of Natural History. 2012. № 4. С. 27–28.

7. Ecological and hydrometeorological problems of the large cities and industrial zones / Сборник трудов / Министерство образования и науки Российской Федерации, ГОУ ВПО Российский государственный гидрометеорологический университет. 2010.

8. Липовицкая И.Н. Метод восстановления структуры нижней тропосферы // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2006. № 48-1. С. 193–197.

9. Липовицкая И.Н. Климатологический анализ характеристик рассеяния примесей с использованием численных моделей применительно к Северо-Западному региону России. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / СПб, 2008.

10. Евстропов В.М. Системные аспекты взаимодействия объектов и среды в техносферном пространстве: монография. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2015, 89 с.

References

1. Lazareva E.O., Popova E.S., Lipovitskaya I.N. (2015) *Vliyanie temperaturnykh inversiy na kontsentratsiyu primesey v prizemnom sloe vozdukha nad Sankt-Peterburgom v 2006–2014 gg* [The effect of temperature inversions on the concentration of impurities in the surface air layer over St. Petersburg in 2006–2014] *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University]. No. 41, pp. 149–155.

2. Lazareva E.O., Lipovitskaya I.N., Andreeva E.S. (2017) *Innovatsionnye podkhody k prognozirovaniyu urovnya zagryazneniya atmosfernogo vozdukha krupnykh gorodov* [Innovative approaches to forecasting the level of atmospheric air pollution in large cities] *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye Trudy* [Innovation and expert examination: scientific works]. No. 2 (20), pp. 46–50.

3. Lipovitskaya I.N., Vasilenko S.V., Gavrilov A.S., Mkhanna A. (2006) *Metod klimatologicheskogo analiza vertikal'noy struktury atmosfernogo pogranichnogo sloya s ispol'zovaniem chislennoy modeli* [Method of climatologic analysis of the vertical structure of the atmospheric boundary layer with the use of a numerical model] *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific notes of the Russian state hydrometeorological University]. No. 2, pp. 74–87.

4. Popova E.S., Lipovitskaya I.N., Lazareva E.O. (2014) *Analiz vremennoy izmenchivosti osnovnykh antropogennykh primesey atmosfernogo vozdukha g. Sankt-Peterburga za period s 1980 g. po 2012 g* [Analysis of temporal variability of the main anthropogenic impurities of atmospheric air in St. Petersburg for the period from 1980 to 2012] *Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh statey. Pod obshchey redaktsiyey A.V. Gorbenko, E.A. Ivanovskoy* [The collection comprises: Ecological problems of the post-Soviet space Gorbenko A.V., Ivanovskaya E.A. International collection of scientific articles. Under the general editorship of A.V. Gorbenko, E.A. Ivanovskaya]. Lipetsk, pp. 76–85.

5. Lazareva E.O., Popova E.S. (2014) *Osobennosti prostranstvenno-vremennoy dinamiki antropogennykh primesey vozdukha g. Sankt-Peterburga za period vremeni s 1980 po 2012 g. (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 (for example, carbon monoxide, nitrogen dioxide, suspended solids)] *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific notes of the Russian state hydrometeorological University]. No. 37, pp. 204–215.

6. Andreyev S.S., Popova E.S. (2012) Global warming and anthropogenic factor. *European Journal of Natural History*. No. 4, pp. 27–28.

7. Ecological and hydrometeorological problems of the large cities and industrial zones. *Sbornik trudov Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, GOU VPO Rossiyskiy gosudarstvennyy gidrometeorologicheskii universitet* [Collection of Proceedings. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Russian State Hydrometeorological University]. 2010.

8. Lipovitskaya I.N. (2006) *Metod vosstanovleniya struktury nizhney troposfery* [The method of restoring the structure of the lower troposphere] *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbPU. Estestvennye i inzhenernye nauki* [Scientific and technological statements of SPbPU. Natural and engineering sciences]. No. 48-1, pp. 193–197.

9. Lipovitskaya I.N. (2008) *Klimatologicheskiy analiz kharakteristik rasseyaniya primesey s ispol'zovaniem chislennykh modeley primenitel'no k Severo-Zapadnomu regionu Rossii* [Climatological analysis of impurity scattering characteristics using numerical models applied to the North-West region of Russia] *Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata geograficheskikh nauk* [The author's abstract of thesis for Doctor of Geographical Sciences]. Petersburg.

10. Evstropov V.M. (2015) *Sistemnye aspekty vzaimodeystviya ob'ektov i sredy v tekhnosfernom prostranstve: monografiya* [System aspects of interaction of objects and environment in the technospheric space: monograph] RGSU [RSSU]. Rostov-on-Don, p. 89.