

УДК 504.3.054

DOI 10.51691/2541-8327_2022_12_26

***ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА ПЕРМИ***

Лукин И.Л.

старший преподаватель,

Пермский государственный национальный исследовательский университет,

Пермь, Россия

Пивоварова В.А.

магистрант,

Пермский государственный национальный исследовательский университет,

Пермь, Россия

Аннотация

В статье рассматривается проблема загрязнения атмосферного воздуха. Подчёркивается зависимость способности атмосферы к самоочищению от погодных условий. Используя параметр P , были выделены направления ветра, средние скорости ветра, способствующие формированию более высоких уровней загрязнения воздуха. С ветрами южной четверти связана наибольшая загрязнённость воздуха в городе, а увеличение скорости ветра приводит, в целом, к уменьшению параметра P . Показано, что наличие приземной инверсии неблагоприятно влияет на качество атмосферного воздуха. Проанализирован случай экстремально высокого уровня загрязнения воздуха.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, параметр P , скорость ветра, направление ветра, инверсия.

IMPACT OF WEATHER CONDITIONS ON AIR POLLUTION IN PERM

Lukin I.L.

Senior Lecturer,

Perm State University,

Perm, Russia

Pivovarova V.A.

Master student,

Perm State University,

Perm, Russia

Abstract

The article deals with the problem of air pollution. The dependence of the ability of the atmosphere to self-purification on weather conditions is emphasized. Using the P parameter, wind directions and average wind speeds were identified that contribute to the formation of higher levels of air pollution. The winds of the southern quarter are associated with the highest air pollution in the city, and an increase in wind speed leads, in general, to a decrease in the parameter P. It is present that the presence of surface inversion adversely affects the quality of atmospheric air. The case of extremely high level of air pollution is analyzed.

Keywords: air pollution, parameter P, wind speed, wind direction, inversion.

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха оказывает негативное влияние на здоровье людей [1], что становится критичным в условиях компактного проживания населения в таком городе-миллионнике, как Пермь. Таким образом, вопросы экологии требуют внимательного рассмотрения и изучения [2]. Основными источниками загрязнения городского воздуха являются выбросы промышленных предприятий и автотранспорта. Атмосфера, в свою очередь, может способствовать как накоплению примесей в приземном

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

слое, так и увеличению способности атмосферы к самоочищению, приводящей к рассеянию загрязняющих веществ. Поэтому важно прогнозирование метеорологических условий в целях снижения количества дней с высокими уровнями загрязнения воздуха [3].

В наибольшей степени на рассеивание и накопление примеси оказывают такие факторы, как слои инверсии и изотермии [3–5], скорость и направление ветра [6, 7], облачность и осадки [8–10], туманы [7], температура воздуха [6]. Кроме этого, весомый вклад в формирование уровня загрязнения вносят макропроцессы в атмосфере. Синоптические ситуации, благоприятные для накопления и рассеивания примесей рассмотрены в таких работах, как [11–13].

Технологии и методика

В данной работе мы уделили внимание скорости и направлению ветра, устойчивости атмосферы и проанализировали случай экстремально-высокого загрязнения воздуха. Данные о скорости и направлении ветра в виде архива погоды за 3 года были получены из открытого интернет источника, сайта RP5 [14]. Различные характеристики инверсий были получены с помощью результатов радиозондирования, взятых с сайта университета Вайоминга [15], и по наблюдениям с помощью профилимера МТР–5, установленного на территории кампуса ПГНИУ, синоптические карты были взяты с сайта Гидрометцентра России [16].

В качестве количественной характеристики загрязнения атмосферы по городу в целом мы использовали интегральный показатель – параметр P , нередко используемый другими авторами и в Руководстве по прогнозу загрязнения воздуха [5, 7, 9, 12], ежедневные данные о котором любезно предоставлены группой НМУ Пермского ЦГМС.

Для оценки вклада того или иного фактора из рассмотренных в нашей работе, мы ввели дополнительный параметр – ΔP . В нашем случае он показывает приращение параметра P от предыдущих суток к рассматриваемым.

Для каждого из рассматриваемых дней определялось преобладающее направление ветра за день, начиная с 20 часов предыдущего дня и заканчивая 20 часами текущего дня, и преобразовано в значения в румбах. Преобладающее значение ветра определялось по наибольшему количеству одного направления ветра за день. Если в один день наблюдалось одинаковое количество разных направлений ветра, например, 4 раза – северное и 4 раза – северо–западное, или был день с ветром переменных направлений, то выбиралось такое направление, которое было наиболее близко ко времени определения параметра P , а именно 01:00, 07:00, 13:00 и 19:00 ч.

Для анализа скорости ветра была рассчитана средняя скорость ветра за день по срокам наблюдения начиная с 20 часов предыдущего дня и заканчивая 17 часами текущего дня. Такой диапазон обусловлен временем взятия проб для расчета параметра P за сутки. Полученное значение скорости ветра сравнивалось со значением параметра P , для выявления зависимости загрязнения воздуха от скорости ветра. Так же была рассчитана зависимость параметра P от порывов ветра.

Наличие и различные характеристики инверсий определялись с помощью результатов радиозондирования и профилемера МТР–5. Для анализа влияния инверсий на загрязнения воздуха были взяты только дни, имеющие уровни загрязнения "высокий" (P больше 0,35) и "повышенный" (P больше 0,20 и меньше 0,35).

Для анализа синоптической ситуации мы использовали карты с сайта Гидрометцентра России за сроки 00:00 ч и 12:00 ч ВСВ за 01.10.2020 года.

Результаты и их обсуждение

Направление ветра. Основная промышленная зона Перми, расположена в южной части города и даёт 80% различных выбросов. Таким образом атмосферный воздух будет загрязнен больше при ветрах южной четверти, чем при ветрах других направлений. По диаграмме, представленной на рисунке 1, видно, что наибольшее значение интегрального показателя загрязнения воздуха

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Р, за исследуемый период, наблюдается при южных ветрах, что соответствует расположению промышленного узла и подтверждает его пагубное влияние. Так же, по диаграмме, можно выделить западное и северо-восточное направление ветра. При этих направлениях ветра значения параметра Р достигает высоких уровней загрязнения.

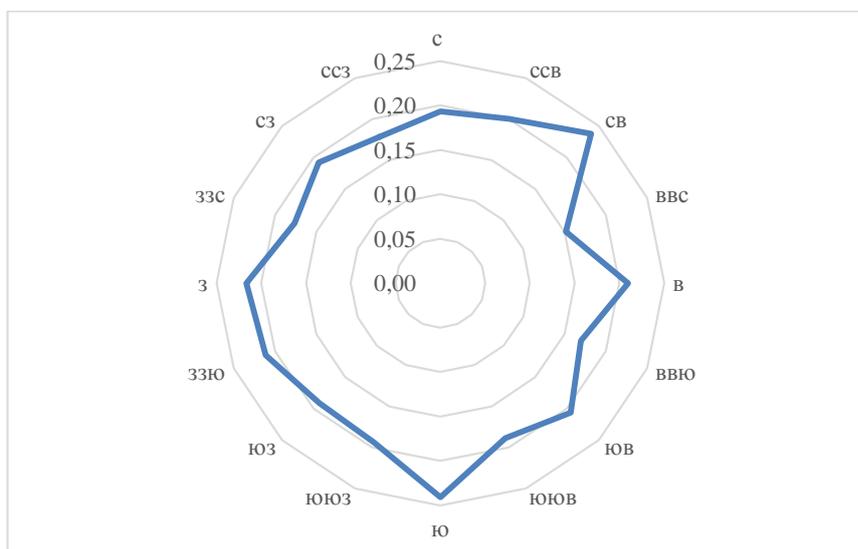


Рис. 1 – Зависимость значения интегрального показателя загрязнения воздуха Р от направления ветра в городе Пермь за период 2018-2020 гг.¹

Анализируя таблицу 1 видно, что наибольшую повторяемость за три года имеет южный и юго-западный ветер, они были преобладающими на протяжении 129 и 112 дней соответственно, и имели среднее значение параметра Р 0,24 и 0,19. При этом наименьшее влияние на загрязнение воздуха в городе оказывают ветра северной и западной четвертей.

Рассматривая значения ΔP , можно сделать вывод о том, что наиболее благоприятным с точки зрения качества атмосферного воздуха оказывается ветер с востоко-северо-востока: при таком ветре происходит наибольшее очищение воздуха, так ΔP в этом случае имеет показатель $-0,05$. Наибольший

¹ Создано авторами

негативный вклад в качество атмосферного воздуха вносит ветер южного направления, $\Delta P = +0,02$. В настоящей статье мы рассмотрели влияние на

Целесообразно рассматривать значения влияния направления ветра отдельно за теплый и холодный период года. Поэтому на рисунке 2 представлена зависимость параметра P от направления ветра.

Таблица 1 – Зависимость параметра P от направления ветра в г. Пермь за период 2018–2020 гг.

Направление ветра; румбы	Повторяемость ветра; дни	P	ΔP
С	51	0,19	-0,01
ССВ	30	0,20	-0,01
СВ	28	0,24	0,00
ВСВ	9	0,15	-0,05
В	24	0,21	0,02
ВЮВ	15	0,17	-0,00
ЮВ	91	0,21	-0,01
ЮЮВ	53	0,19	-0,01
Ю	129	0,24	0,02
ЮЮЗ	65	0,19	0,00
ЮЗ	112	0,19	0,00
ЗЮЗ	28	0,21	-0,01
З	45	0,22	0,00
ЗСЗ	24	0,18	-0,01
СЗ	81	0,19	-0,02
ССЗ	52	0,18	-0,00

В зимний период (рис. 2а) наибольшие значения параметра P формируются под влиянием ветров северо-восточного, восточного и южного направлений. При этом преобладающим направлением является ветер южной четверти, поэтому можно говорить о том, что в холодную половину года южный ветер является наиболее опасным для переноса вредных примесей на жилые районы

города. Влияние северо-восточного и восточного направления ветра можно объяснить наибольшим наложением выбросов, что и приводит к повышенному значению показателя P . При этом повторяемость обоих направлений имеет минимальное значение 9 и 5 дней соответственно.

Минимальные значения параметра P наблюдаются при ветрах востоко-юго-восточного и западно-северо-западного и под их влиянием средние значения достигают значений 0,15. Возможно, это связано с тем, что эти направления ветра наблюдались малое количество дней, а именно 5 и 8.

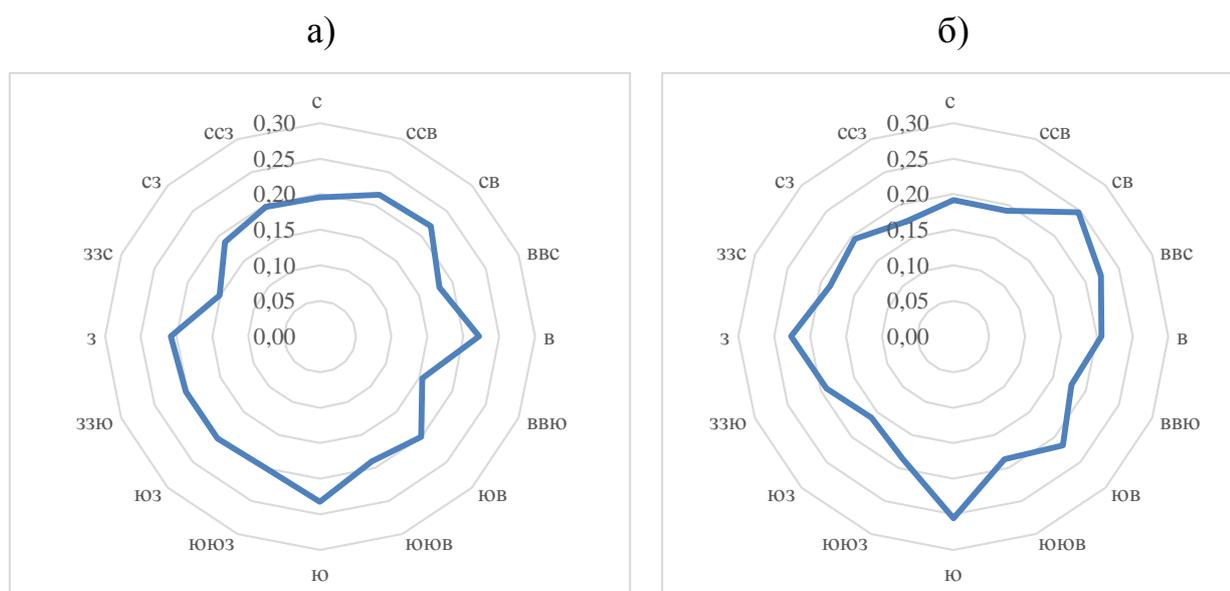


Рис. 2 – Зависимость значения интегрального показателя загрязнения воздуха P от направления ветра в городе Пермь за зимний (а) и летний (б) период 2018-2020 гг.¹

В летние месяцы (рис. 2б) ветра южного направления так же вносят наибольший вклад в загрязнение воздуха в городе. Они имеют наибольшую повторяемость (48 дней) и формируют наибольшее среднее значение параметра P (0,26) относительно других направлений ветра.

¹ Создано авторами

Наименьшее значение показателя P за летний период наблюдается при юго-западном направлении ветра и имеет значение 0,16. При этом, за анализируемое время, это направление было зафиксировано 38 раз, что является третьим по повторяемости после северо-западного (55 раз) и южного (48 раз).

Скорость ветра. По распределению значений интегрального показателя загрязнения воздуха P от скорости ветра видно, что данные меняются в большом диапазоне. При этом наибольшие значения P фиксируются при слабых ветрах, а при высоких скоростях ветра показатель P минимальный.

В Перми наиболее часто наблюдаются значения параметра P в интервале от 0,05 до 0,3 при скоростях ветра 1–4 м/с. При этом также выделяются высокие значения параметра P равные 0,6 при малой скорости ветра, и минимальные значения P при высоких скоростях.

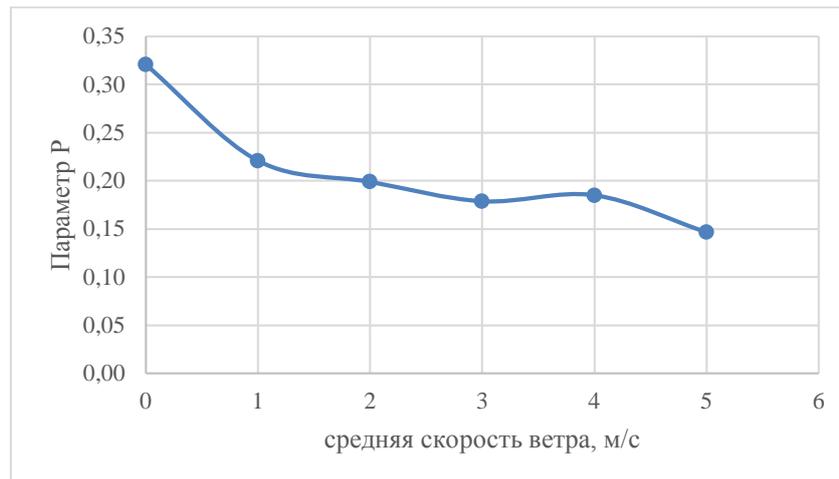


Рис. 3 – Зависимость среднего параметра P от скорости ветра в городе Пермь за период 2018–2020 гг.¹

Повторяемости были взяты средние за день значения скорости ветра в градациях 0,0 - 0,9, 1,0-1,9 и т.д. Для каждой из пяти градаций (0,0 - 0,9, 1,0-1,9 и т.д.) было рассчитано среднее значение параметра P , и по полученным

¹ Создано авторами

данным построен график, представленный на рисунке 3. Наибольшее значение параметр P имеет при скоростях ветра, находящихся в градации 0,0-0,9, а наименьшее при скоростях 5,0-5,9 м/с. Таким образом, загрязнение воздуха имеет обратную зависимость от скорости ветра. При этом отмечается вторичный максимум прослеживаемый на скорости ветра 4 м/с, что обусловлено влиянием высоких источников выбросов.

Рассматривая влияние скорости ветра на значение параметра P в разные сезоны года отмечается то, что в зимнее время года средний параметр P достигает своего максимума 0,36 при скорости ветра 0 м/с, тогда как в теплый период года максимальное среднее значение P ниже и составляет 0,28 м/с, что связано с более интенсивным турбулентным обменом летом. Кроме того, зимой второй максимум находящийся на скорости ветра 4 м/с наиболее выражен в сравнении с летним периодом. Это можно объяснить тем, что при понижении температуры зимой происходит увеличение концентрации примеси в городском воздухе, а при наличии устойчивой термической стратификации часто наблюдаются застойные ситуации, которые и благоприятствуют накоплению вредных веществ в атмосфере. В теплое время года рассеивание вредных веществ происходит более интенсивно. Одной из причин этого являются дожди, которые вымывают примеси из атмосферы. Происходит процесс захватывания вредных веществ и частиц пыли каплями дождя. Таким образом, атмосфера будет тем чище, тем больше будет количество выпавших осадков [6].

Устойчивость атмосферы. На графике, изображенном на рисунке 4, представлена связь между загрязнением воздуха и скорости ветра при отсутствии (рис. 4, ряд 1) и наличии (рис. 4, ряд 2) приземной инверсии.

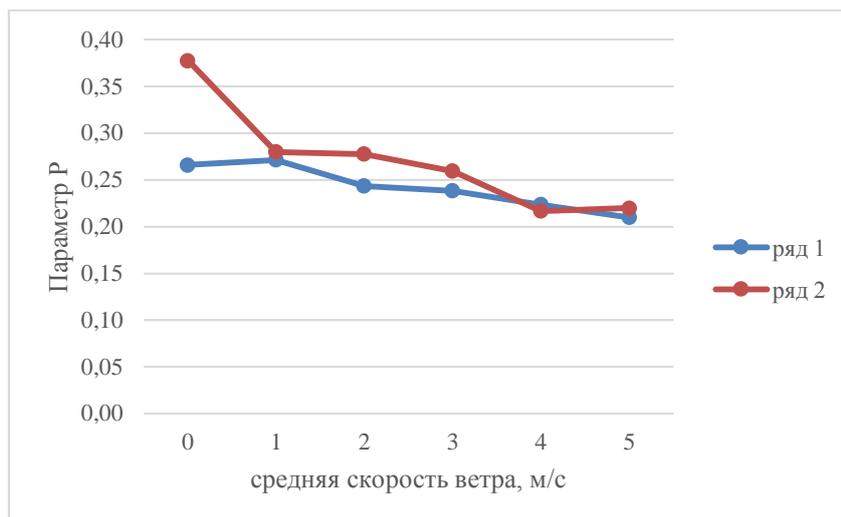


Рис. 4 – Зависимость интегрального показателя загрязнения воздуха Р от скорости ветра при отсутствии (ряд 1) и наличии (ряд 2) приземной инверсии

Анализируя полученные результаты, видно, что значения показателя Р при наличии приземной инверсии выше, чем при ее отсутствии при одинаковой скорости ветра. Так как инверсии имеют свойства задерживающего слоя, вредные вещества, влияющие на повышенное значение показателя Р, накапливаются в воздухе приземного слоя.

В таблице 2 представлены результаты расчета зависимости среднего значения параметра Р от скорости ветра при наличии и отсутствии приземной инверсии. Также был рассчитан ΔP , который представляет из себя разность между Р при отсутствии и при наличии приземной инверсии.

Таблица 3 – Зависимость осредненного параметра Р от скорости ветра при наличии и отсутствии приземной инверсии

Скорость ветра, м/с	Р при отсутствии приземной инверсии	Р при наличии приземной инверсии	ΔP
0,0-0,9	0,27	0,38	0,11
1,0-1,9	0,27	0,28	0,01
2,0-2,9	0,24	0,28	0,03

3,0-3,9	0,24	0,26	0,02
4,0-4,9	0,22	0,22	-0,01
5,0-5,9	0,21	0,22	0,01

Из таблицы видно, что наибольшее значение P принимает при скорости ветра 0 м/с и наличии приземной инверсии. Также ΔP при этой скорости ветра имеет максимальное значение – 0,11. Такие ситуации характеризуются застоями воздуха, когда турбулентное перемешивание в приземном слое мало и все примеси, влияющие на качество воздуха, задерживаются у земли. Застойные ситуации являются опасными, так как примеси различных веществ при долгом нахождении в атмосфере пагубно влияют на людей и других живых существ.

Синоптическая ситуация. Был рассмотрен случай экстремально высокого уровня загрязнения воздуха. 01 октября 2020 года в городе Перми наблюдалось максимальное значение P за весь исследуемый период – 0,6. Были проанализированы синоптические карты сайта Гидрометцентра России за сроки 00:00 (рис. 5) и 12:00 (рис. 6) ВСВ за 1.10.2020 года.

Территория Пермского края находится под влиянием антициклона, который прослеживается до высоты уровня изобарической поверхности 500 гПа, с центром, расположенным вблизи Екатеринбурга (рис. 5 б). При антициклональной погоде накопление примесей происходит наиболее интенсивно [11, 17]. Так как в центральных частях антициклона в связи с нисходящими движениями воздуха преобладает малооблачная погода [18], влияние осадков и облачности [6], которые вымывают примеси из атмосферы, при таких ситуациях отсутствует.

В ночные часы наблюдались туманы (рис. 5 а), что характерно для антициклональной погоды осенью. Можно предположить, что из-за ночных туманов, уровень загрязнения воздуха повысился, так как туманы относятся к неблагоприятным явлениям, способствующим захвату вредных веществ и

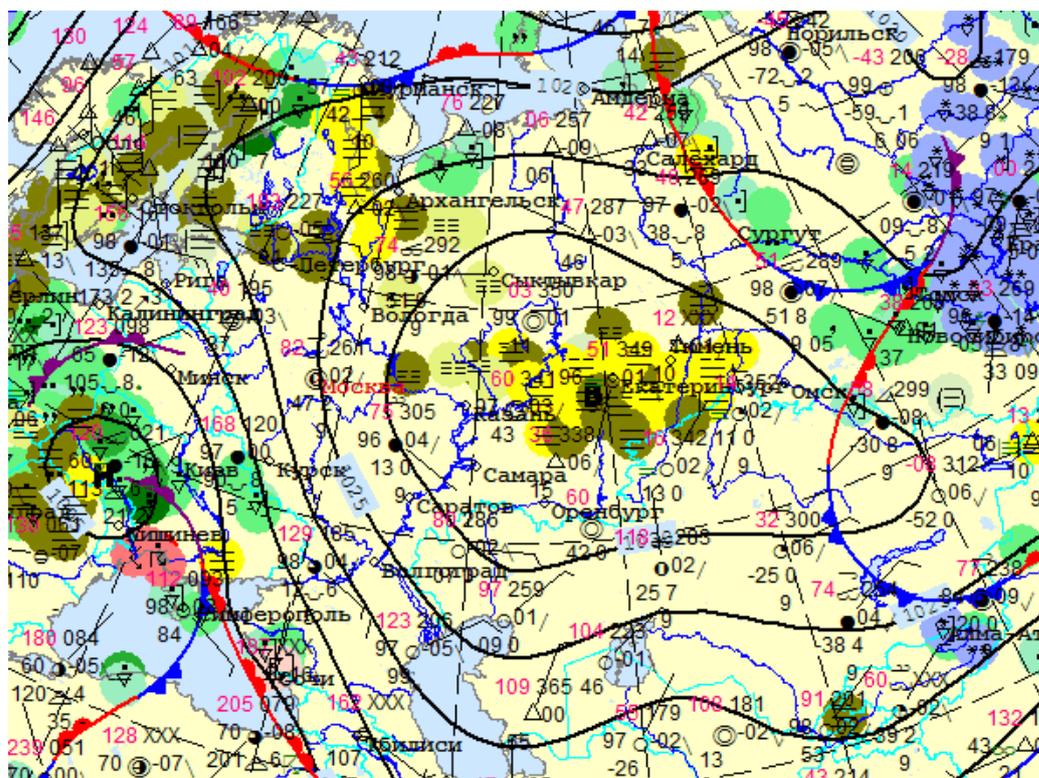
преобразованию их в еще более вредные вещества, а также сохранению их в приземном слое атмосферы.

В центральных частях антициклона наблюдается слабый ветер, либо его отсутствие совсем (штиль), что также, как показывает анализ, сделанный выше, является условием для накапливания примесей в атмосферном воздухе.

По рисунку 6 видно, что в срок 12:00 ВСВ синоптическая ситуация не изменилась, что говорит о малоподвижности данного барического образования. Так же, как и в ночные часы, наблюдается слабый ветер.

Для Перми самыми неблагоприятными синоптическими ситуациями являются центр антициклона, малоградиентное барическое поле, западная и северо-западная периферия антициклона [6, 11, 17].

а)



б)

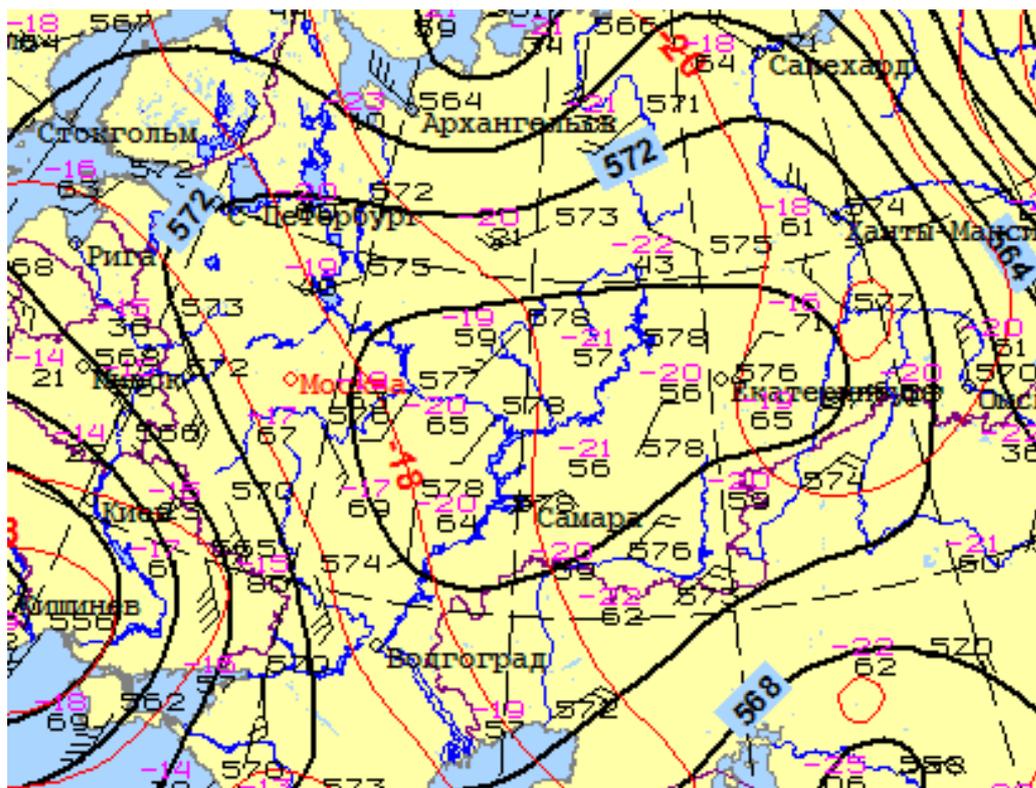
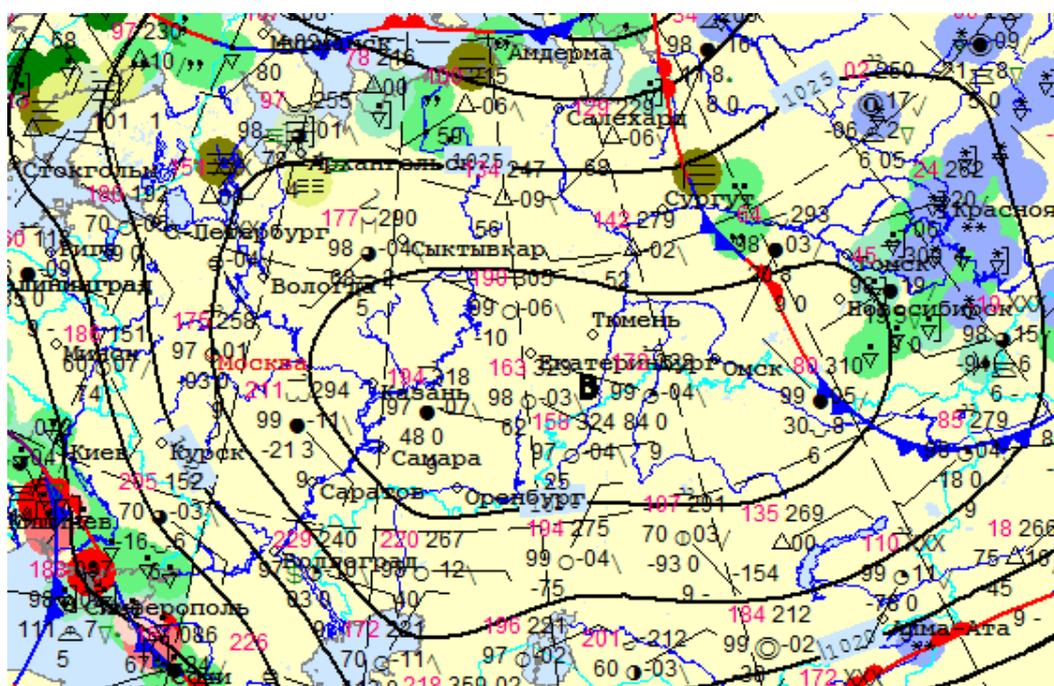


Рис. 5 – Фрагмент приземной (а) и высотной карты АТ500 (б)
за 01.10.2020 в срок 00:00 ВСВ [16]

а)



б)

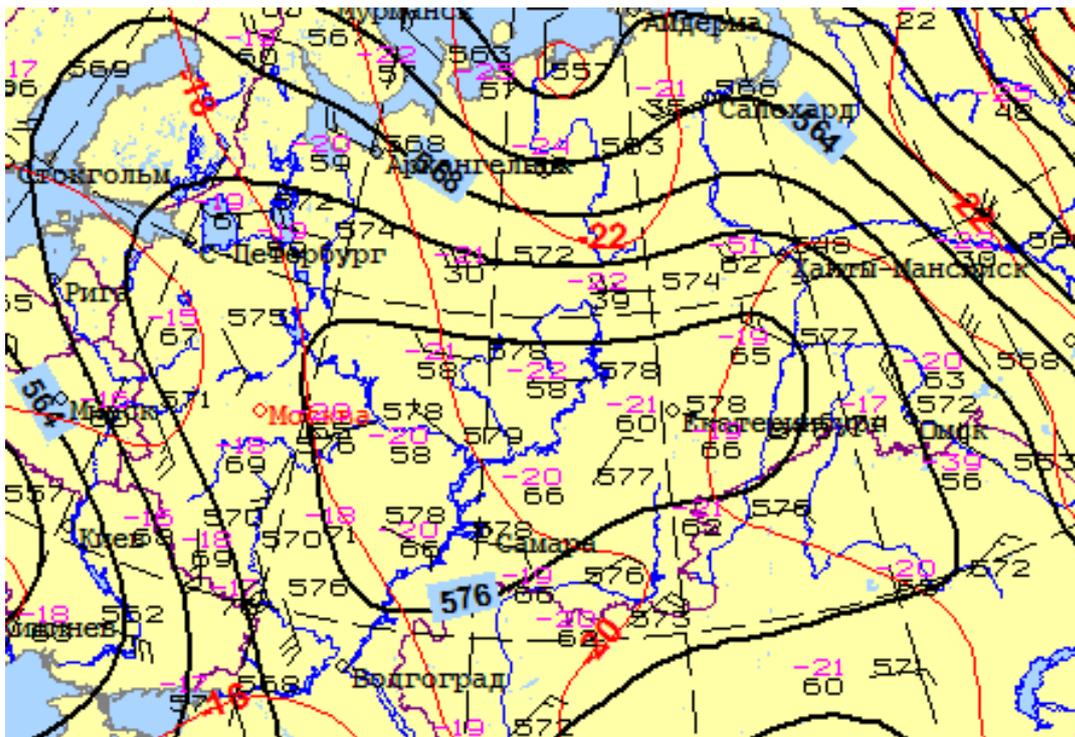


Рис. 6 – Фрагмент приземной (а) и высотной карты АТ500 (б)
за 01.10.2020 в срок 12:00 ВСВ [16]

Было выявлено, что 01.10.2020 город Пермь находился под влиянием центральной части малоподвижного антициклона. Следовательно, при такой синоптической ситуации можно говорить, о накоплении примесей в приземном слое. Поэтому наиболее важно регулировать количество технических выбросов в такие периоды. Чем меньше примесей попадет в атмосферный воздух, тем меньше задержится в приземном слое. И хотя атмосфера имеет свойство самоочищаться, важно не допускать высоких значений загрязнения, потому что в первую очередь при этом страдают сами жители города.

Выводы

Были рассмотрены метеорологические условия и сделаны выводы об их влиянии на уровень загрязнения воздуха, представленного в виде интегрального параметра Р в Перми за период 2018–2020 гг.

Анализ зависимости интегрального параметра P от направления ветра показал, что в Перми при ветрах южной четверти, которые являются преобладающими на территории края, наблюдается наибольшая загрязненность воздуха. Это объясняется тем, что основной промышленный узел расположен на юге города, и при ветрах, дующих с юга, все выбросы от предприятий переносятся на жилые районы, загрязняя атмосферный воздух.

Способствующие увеличению уровня загрязнения воздуха скорости ветра разбиваются на два максимума. Это скорость ветра 0 м/с (штиль) и 4 м/с. При этом загрязнение воздуха при штиле связано с влиянием низких источников и малом турбулентном обмене у земли, а при скорости ветра 4 м/с влияние оказывают высокие источники. При этом, учет устойчивости атмосферы при анализе скорости ветра показал, что наличие приземной инверсии неблагоприятно влияет на качество воздуха. Средние значения параметра P при наличии приземной инверсии были выше, чем при её отсутствии при одинаковой скорости ветра. Так же были выделены застойные ситуации, которые наблюдались при наличии приземной инверсии и скорости ветра 0 м/с при которых наблюдались наибольшие значения параметра P .

Синоптический анализ подтвердил то, что наиболее высокий уровень загрязнения воздуха наблюдается при антициклональной погоде. Так как центральные части антициклона наиболее благоприятны для наличия туманов, было учтено их пагубное влияние на загрязнение воздуха.

Интегральный показатель загрязнения воздуха параметр P является наиболее удобным для анализа, так как он представляет из себя совокупность проб воздуха на наличие различных примесей, а не одной. Так он представляет наиболее подробную картину, позволяющую определить уровень загрязнения воздуха по городу в целом.

Было показано, что различные метеоусловия по-разному влияют на загрязнение атмосферного воздуха. При определённой сложившейся совокупности всех факторов загрязнение воздуха будет либо усиливаться, либо

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

ослабевать. Наибольший интерес в данной работе представляли собой дни с параметром P , который имел уровень «повышенный» и «высокий». Так как анализируя условия, в которых сложились эти ситуации, можно лучше понять, какие факторы приводят к наибольшему загрязнению атмосферного воздуха.

Библиографический список:

1. Lili Wang, Nan Zhang, Zirui Liu, Yang Sun, Dongsheng Ji, Yuesi Wang, "The Influence of Climate Factors, Meteorological Conditions, and Boundary-Layer Structure on Severe Haze Pollution in the Beijing-Tianjin-Hebei Region during January 2013", *Advances in Meteorology*, vol. 2014, Article ID 685971, 14 pages, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/685971>
2. Стуженко Н.И., Тарасюк М.А., Моторин Д.Е. Вызовы и опыт позитивного решения проблем промышленной экологии // *Дневник науки*. 2021 №5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: http://dnevnikaui.ru/images/publications/2021/5/geoscience/Stuzhenko_Tarasyuk_Motorin.pdf (Дата обращения: 19.12.2022)
3. Костарева Т.В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края // *Географический вестник = Geographical bulletin*. 2017. №2(41). С.91–99. doi 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99
4. Шкляев В.А. Температурные инверсии и застойные ситуации в Перми // *Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: мат. IV Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием*. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2017. Т. I. С. 345–347.
5. Шкляев В.А., Костарева Т.В. Характеристики температурных инверсий и их связь с загрязнением атмосферного воздуха в г. Перми // *Географический вестник = Geographical bulletin*. 2019. №1(48). С. 84–92. doi 10.17072/2079-7877-2019-1-84-92

6. Костарева Т.В. Метеорологические основы охраны окружающей среды / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. 96 с.
7. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха. РД 52.04.306-92. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 104с.
8. Лапина С.Н., Полянская Е.А., Пужлякова Г.А., Фетисова Л. М., Фомина Н.В. Роль метеорологических факторов в распространении, накоплении и вымывании загрязняющих веществ (на примере г. Саратова) // Вопр. прогноза погоды, климата, циркуляции и охраны атмосферы. Пермь, 1997. С. 134–144.
9. Сонькин Л.Р. и др. О влиянии метеорологических условий на загрязнение воздуха в различных городах // Труды ГГО. 1975. Вып. 325. 200 с.
10. Сонькин Л.Р. Вопросы прогнозирования фонового загрязнения воздуха в городах.// Труды ГГО. 1974. Вып. 314. С. 42–51.
11. Давтян А.М. Анализ связи загрязнения атмосферы Санкт-Петербурга с различными типами синоптических ситуаций // Вестник С.-Петербург. Гос. Ун-та. СПб., 1998. 6с.
12. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха и регулированию выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях, СПб., 2009. 103 с.
13. Сонькин Л. Р. Синоптические условия формирования периодов высокого загрязнения воздуха в различных регионах СССР // Труды ГГО. 1979. Вып. 436. С. 49–54
14. Расписание погоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 20.12.2022)
15. Сайт университета Вайоминг. Радиозондирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения: 15.12.2022)
16. Гидрометцентр России. Синоптические карты [Электронный ресурс]. – Режим доступа – URL: <https://meteoinfo.ru/mapsynop> (дата обращения: 15.12.2022)

17. Костарева Т.В., Пенский О.Г. Синоптические условия формирования высокого и экстремально высокого уровня загрязнения воздуха в Пермском крае // Географический вестник. Пермь, 2015. Вып. 4. С 34-43.
18. Зверев А.С Синоптическая метеорология / Гидрометиздат, 2–е изд., перераб. и доп., 1977г.

Оригинальность 85%