Заворуев В.В.^{1,2}, Е.Н. Заворуева Е.Н.¹, Грубенко Н.В.¹

Влияние температуры и атмосферного давления на концентрацию взвешенных частиц в приземном воздушном слое поселков Дрокино и Минино (Красноярский край) в зимний период

¹Сибирский федеральный университет

²Институт вычислительного моделирования СО РАН
(Россия, Красноярск)

doi: 10.18411/lj-03-2020-05

idsp: ljjournal-03-2020-05

Аннотация

Оценка влияния климатических факторов на концентрацию взвешенных частиц (PM_{2,5}) в приземном слое атмосферы поселков Дрокино и Минино проведена с помощью станции мониторинга воздуха «CityAir». Показано, что концентрация PM_{2,5} возрастает с увеличением атмосферного давления и понижением температуры воздушной среды. Эти зависимости аппроксимируются линейными функциями ($R^2 \geq 0,8$). Установлено, что в периоды действия антициклонов концентрация PM_{2,5} превышает в 2,8-4,2 раза гигиенический норматив, установленный для атмосферы населенных мест.

Ключевые слова: PM_{2,5}, температура, атмосферное давление, антициклон, поселок Минино, поселок Дрокино.

Abstract

The influence of climatic factors on the concentration of particulate matter (PM_{2,5}) in the surface layer of the atmosphere of the villages of Drokino and Minino was investigated using the CityAir air monitoring station. It was shown that the concentration of PM_{2,5} increases with increasing atmospheric pressure and lowering air temperature. These dependences are approximated by linear functions ($R^2 \geq 0.8$). It has been established that during periods of anticyclone action, the concentration of PM_{2,5} exceeds 2,8-4,2 times the hygiene standard established for the atmosphere of populated areas.

Keywords: PM_{2,5}, temperature, atmospheric pressure, anticyclone, Minino village, Drokino village.

Введение

Более 60% населения Китая проживают в сельской местности и почти всё сельское население использует биомассу и уголь для отопления и приготовления пищи. Это топливо сжигается в простых печах. В итоге происходит загрязнение атмосферы [1].

В Красноярском крае около 25% населения проживает в сельской местности. Практически во всех домохозяйствах, расположенных в центральной и южной части края, используется бурый уголь для получения тепловой энергии. Масштабное использование бурого угля обусловлено его низкой ценой. Этот уголь добывается открытым способом на территории Канско-Ачинского угольного бассейна. Сжигание угля является основным источником загрязнения воздуха в сельской местности [2].

В Китае проведено больше исследований загрязнения воздуха загрязнителями, образующимися при горении в домашних хозяйствах, чем в любых других развивающихся странах. Результаты работ обобщены в базе данных Всемирной организации здравоохранения [3].

Известно, что метеорологические факторы важны для контроля загрязнений PM_{2,5} [4-7]. Из-за сложных взаимодействий в атмосферной среде количественная оценка влияния метеорологических факторов на локальную концентрацию PM_{2,5} остается сложной задачей. Исследования количественного влияния метеорологии на

концентрацию $PM_{2,5}$ в основном сосредоточены на отдельных городах или конкретных городских районах [8]. Результаты таких исследований помогают нам понять влияние метеорологических условий на загрязнение $PM_{2,5}$ и дают представление о возможных стратегиях контроля загрязнения воздуха.

В России подобные исследования для воздушной среды сельских поселений, расположенных на территории Сибири, не проводились. Данных об уровне загрязнения воздуха взвешенными частицами в небольших населенных пунктах практически нет. Недавно была опубликована только одна работа, в которой было показано, что зимой концентрация PM_{10} в поверхностном слое атмосферы поселка Березовка в 2-3 раза выше, чем летом. При этом, в зимние месяцы суточное изменение концентрации твердых частиц характеризуется двумя максимумами и двумя минимумами [9].

Целью данного исследования является определение концентраций $PM_{2,5}$ в поселках Минино и Дрокино в зависимости от метеорологических параметров в период зимнего отопительного сезона: 1 ноября 2018 г. - 1 апреля 2019 г.

Местоположение поселков

Поселки Дрокино и Минино расположены на территории Сибири на расстоянии 3-5 км от северо-западной границы города Красноярска.

В поселке Дрокино 494 дома с печным отоплением, в поселке Минино - 548 таких домов. Более 90% этих жилых строений отапливаются бурным углем. В указанных населенных пунктах нет промышленных предприятий, осуществляющих выбросы PM .

Методы и аппаратура

Концентрации $PM_{2,5}$, атмосферное давление и температура измерялись с помощью станции мониторинга воздуха CityAir (<https://cityair.io/about-stations-ru>). Оптический датчик для измерения концентрации $PM_{2,5}$, установленный на станции мониторинга воздуха CityAir, был откалиброван по анализатору пыли E-BAM (Met One Instruments, Inc.) [10].

Датчики станции «CityAir обеспечивают:

- измерение концентрации $PM_{2,5}$, PM_{10} в диапазоне от 0 до 1,6 мг/м³; допустимая относительная погрешность - не более $\pm 20\%$;
- измерение температуры окружающего воздуха в диапазоне от -40 до +50°C; допустимая абсолютная погрешность - не более $\pm 1^\circ C$;
- измерение атмосферного давления в диапазоне от 600 до 850 мм рт.ст.; допустимая абсолютная погрешность - не более ± 1 мм рт.ст.

Результаты и обсуждение

В период отопительного сезона в городе Красноярске три раза объявлялся режим неблагоприятных метеорологических условий (НМУ). Время начала и окончания периода НМУ определяет Среднесибирское УГМС. Продолжительность периодов НМУ была от одних суток до шести суток: с 19 часов 6 декабря 2018 г до 19 часов 7 декабря 2018 г (НМУ № 1); с 19 часа 25 декабря 2018 г до 19 часа 31 декабря 2018 г (НМУ № 2); с 19 часов 8 февраля 2019 г до с 19 часов 13 февраля 2019 г (НМУ № 3).

Возникновению НМУ способствовали антициклоны (АЦ). Из анализа карт погоды, размещенных на сайте <http://meteo.krasnoyarsk.ru/> следует, что размеры АЦ превышали сотни километров. Следовательно, влияние АЦ распространялось на пригороды Красноярска, в том числе на поселки Дрокино и Минино. Датчики давления, установленные на CityAir air monitoring station, фиксировали давление, превышающее 750 mm Hg. Периоды, когда регистрировалось давление выше 750 mm Hg, были продолжительнее, чем периоды НМУ. В поселках Дрокино и Минино повышенное атмосферное давление наблюдалось: с 15 часов 2 декабря 2018 г до 4 часов 10 декабря 2018 г (АЦ № 1); с 21 часа 23 декабря 2018 г до 1 часа 7 января 2019 г (АЦ № 2); с 18 часов 1 февраля 2019 г до 10 часов 14 февраля 2019 г (АЦ № 3).

При антициклоне практически отсутствует ветер в приземном слое атмосферы. Это способствует накоплению загрязняющих веществ в воздушной среде городских и сельских поселения. В поселках Дрокино и Минино источниками выбросов загрязняющих веществ являются домохозяйства. В результате сжигания бурого угля в атмосферу поступают продукты горения, в том числе и взвешенные частицы. Динамика концентрации $PM_{2,5}$ и атмосферного давления в приземном слое атмосферы поселка Минино показана на рисунке 1. Надо отметить, что подобная динамика наблюдалась в воздушной среде поселка Дрокино. Видно, что сильное загрязнение атмосферы формируется при антициклонах.

Средние концентрации $PM_{2,5}$, в том числе в периоды влияния антициклонов, представлены в таблице 1. В периоды действия антициклонов возрастает концентрация $PM_{2,5}$, которая превышает гигиенический норматив для атмосферы населенных мест в 2,8-4,2 раза (среднесуточный ПДК равен $0,035 \text{ мг/м}^3$). В период с 1 ноября 2018 года по 1 апреля 2019 года средняя концентрация $PM_{2,5}$ в атмосфере поселков превышала среднесуточный ПДК более чем в 1,5 раза.

Рисунок 1. Динамика $PM_{2,5}$ и атмосферного давления в районе расположения CityAir air monitoring station в поселке Минино. Прямые горизонтальные линии показывают периоды неблагоприятных метеорологических условий и антициклонов

Таблица 1

Средняя концентрация $PM_{2,5}$ в мг/м^3 за период исследования ($C_{\text{ср}}$), в период действия антициклонов (АЦ 1, АЦ 2, АЦ 3), в период исследования за исключением периодов АЦ (без АЦ)

Поселок	$C_{\text{ср}}$	АЦ 1	АЦ 2	АЦ 3	Без периодов АЦ
Дрокино	$0,055 \pm 0,002$	$0,100 \pm 0,009$	$0,146 \pm 0,008$	$0,114 \pm 0,007$	$0,035 \pm 0,002$
Минино	$0,053 \pm 0,002$	$0,098 \pm 0,010$	$0,125 \pm 0,007$	$0,109 \pm 0,007$	$0,035 \pm 0,001$

Обращает на себя внимание факт того, что при отсутствии влияния антициклонов в приземном слое атмосферы концентрация $PM_{2,5}$ равна величине среднесуточного ПДК (последний столбец табл. 1).

Зависимость концентрации $PM_{2,5}$ от атмосферного давления представлена на рисунке 2. Видно, что для приземного слоя атмосферы поселков Дрокино и Минино полученные зависимости подобны. Каждую зависимость можно аппроксимировать двумя прямыми линиями. Около точки 750 мм рт. ст. происходит изменение тангенса угла наклона линейных функций. При высоком давлении (более 750 мм рт. ст.) скорости возрастания концентрации $PM_{2,5}$ выше в 5 раз, чем при низком давлении.

Рис 2. Зависимость концентрации $PM_{2,5}$ от атмосферного давления (слева - для Дрокино, справа - для Минино)

Среднемесячные концентрации $PM_{2,5}$ в приземном слое атмосферы поселков Дрокино и Минино в период отопительного сезона представлены в таблице 2.

Таблица 2

Среднемесячные концентрации $PM_{2,5}$ (mg/m^3) в приземном слое атмосферы поселков Дрокино и Минино в период отопительного сезона

Месяц	Дрокино	Минино
Ноябрь 2018	0,029±0,003	0,033±0,003
Декабрь 2018	0,082±0,006	0,074±0,003
Январь 2019	0,068±0,005	0,055±0,004
Февраль 2019	0,073±0,005	0,066±0,004
Март 2019	0,024±0,002	0,033±0,002

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что уровни загрязнения атмосферы поселков Дрокино и Минино практически одинаковы.

Таблица 3

Среднемесячные температуры ($^{\circ}C$) в приземном слое атмосферы поселков Дрокино и Минино в период отопительного сезона

Месяц	Дрокино	Минино
Ноябрь 2018	-7,7±0,5	-8,3±0,5
Декабрь 2018	-21,1±0,76	-20,3±0,76
Январь 2019	-14,6±0,5	-14,0±0,5
Февраль 2019	-17,2±1,1	-16,9±1,1
Март 2019	-0,8±0,3	-0,4±0,3

Сравнение данных, представленных в таблицах 2 и 3, показывает, что прослеживается корреляция между среднемесячной температурой воздуха и среднемесячной концентрацией $PM_{2,5}$: чем ниже температура, тем выше содержание взвешенных частиц в атмосфере. Для выявления характера такой зависимости была выполнена статистическая обработка полученного массива данных. В результате такой обработки были получены зависимости концентрации $PM_{2,5}$ от температуры воздуха для атмосферы поселка Дрокино и поселка Минино (рис. 3).

Рисунок 3. Зависимость концентрации $PM_{2,5}$ от температуры атмосферного воздуха (слева - для Дрокино, справа - для Минино)

Представленные на рисунке 3 зависимости хорошо аппроксимируются линейной функцией с тангенсом угла наклона 0,0034–0,0035, при этом R^2 находится в интервале 0,93–0,96. Установленная зависимость свидетельствует о том, что с понижением температуры окружающей среды в атмосферу выбрасывается большее количество взвешенных частиц в результате увеличения количества сжигаемого угля.

Заключение

В поселках Минино и Дрокино источниками загрязнения атмосферы взвешенными частицами являются домохозяйства. В период зимнего сезона средняя концентрация $PM_{2,5}$ превышала величину среднесуточный ПДК более чем в 1,5 раза. Очень высокие концентрации $PM_{2,5}$ наблюдались при высоком атмосферном давлении (более 750 мм рт. ст.) и низких среднемесячных температурах (ниже минус четырнадцати градусов).

1. Zhang J. Indoor air pollution from household fuel combustion in China: A review [C] / J. Zhang, K. R. Smith // The 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Beijing. - 2005. - P. 65–83.
2. Bond T.C. Primary particle emissions from residential coal burning: optical properties and size distributions / T.C. Bond, D.S. Covert, J.C. Kramlich, T.V. Larson, R.J. Charlson // J Geophys Res Atmos. - 2002. - № 107. - P. 189–202.
3. Sinton J.E. Indoor Air Pollution Database for China / J.E. Sinton, K.R. Smith, H. Hu, J. Liu // Human Exposure Assessment Series. - Geneva: World Health Organization, United Nations Environment Program. - 1996.
4. Chen J. A Parameterization of Low Visibilities for Hazy Days in the North China Plain / J. Chen, C.S. Zhao, N. Ma, P.F. Liu, T. Göbel, E. Hallbauer, Z.Z. Deng, L. Ran, W.Y. Xu, Z. Liang, H.J. Liu, P. Yan, X.J. Zhou, A. Wiedensohler // Atmos. Chem. Phys. - 2012. - № 12 - P. 4935–4950.
5. Lin M. Characterization of Regression Relationship between Recent Air Quality and Visibility Changes in Megacities at Four Haze Regions of China / M. Lin, J. Tao, C.Y. Chan, J.J. Cao, Z.S. Zhang, L.H. Zhu, R.J. Zhang // Aerosol Air Qual. Res. - 2012. - № 12. - P. 1049–1061.
6. Luvsan M. The Influence of Emission Sources and Meteorological Conditions on SO₂ Pollution in Mongolia / M. Luvsan, R. Shie, T. Purevdorj, L. Badarch, B. Baldorj, C. Chan // Atmos. Environ. - 2012. - № 61. - P. 542–549.
7. Tie X.X. A Budget Analysis of the Formation of Haze in Beijing / X.X. Tie, Q. Zhang, H. He, J.J. Cao, S.Q. Han, Y. Gao, X. Li, X.C. Jia // Atmos. Environ. - 2015. - № 100. - P. 25–36.
8. Liu T. Attributions of meteorological and emission factors to the 2015 winter severe haze pollution episodes in China's Jing-Jin-Ji area / T. Liu, S. Gong, J. He, M. Yu, Q. Wang, H. Li, W. Liu, J. Zhang, L. Li, X. Wang, et al. // Atmos. Chem. Phys. - 2017. - № 17 - P. 2971–2980.
9. Zavorueva E.N. The daily variation of the concentration of suspended particles in the surface layer of the atmosphere of the village Berezovka (Krasnoyarsk region) / E.N. Zavorueva, V.V. Zavoruev, Yu.L. Lipovka // Proc. SPIE. - 2018.- №10833. - P. 108336K. doi: 10.1117/12.2505157.
10. Zavoruev V.V. Assessment of the possibility of using CityAir air monitoring station in environmental engineering / V.V. Zavoruev, E.N. Zavorueva, A.A. Kadochnikov, A.V. Tokarev, O.E. Yakubailik // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. - 2019. - № 537. - P. 062053-1 - 062053-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/6/062053>

Заворуев В.В.^{1,2}, Мальцева И.В.¹, Заворуева Е.Н.¹

Верификация результатов сводных расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города Красноярска от передвижных и стационарных источников

¹Сибирский федеральный университет

²Институт вычислительного моделирования СО РАН
(Россия, Красноярск)

doi: 10.18411/lj-03-2020-06

idsp: ljjournal-03-2020-06

Аннотация

Проведены расчеты среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в приземной слое атмосферы в расчетных точках, в качестве которых выбраны места расположения постов наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха КГБУ