

УДК 504.3.054

А.О. Полетаев, А.Г. Корнилов

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ЖИЛЫХ ЗОНАХ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ г. БЕЛГОРОДА

Рассмотрена динамика распределения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе жилой зоны, включая воздух внутри помещений. Определено влияние автотранспорта на содержание загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха и в воздухе внутри помещений жилого здания в различное время суток. Проведено сравнение концентраций загрязняющих веществ на различных высотах внутри жилой застройки – около 1 м и 20 м от земной поверхности, и в различных условиях по отношению к дороге, располагающейся на улице – на самой улице и внутри дворовой территории. Изучено влияние работающей газовой плиты на изменение содержания в воздухе жилых помещений оксида углерода, оксида и диоксида азота. Проведено сравнение полученных усредненных концентраций с нормативами ПДК. Было отмечено, что загрязнение атмосферного воздуха на разных уровнях жилой застройки рядом с автомобильной дорогой со средней интенсивностью автомобильного движения, как правило, не превышает установленных нормативов и наибольшее содержание загрязнителей воздуха составляет в долях ПДК_{мр}: оксид углерода – 0,39, диоксид азота – 0,19, соединения свинца – 0,14, пыль – 0,05 и оксид азота – 0,03. Установлено превышение фонового уровня содержания загрязняющих веществ по г. Белгороду (данные Росгидромета) в отношении оксида и диоксида азота.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, автотранспортное загрязнение, экология жилищ, городская экология.

Неуклонно возрастающая транспортная нагрузка в современной урбанизированной среде является причиной повышенного уровня загрязнения атмосферного воздуха. Выбросы автотранспорта в городской застройке поступают в приземный слой воздуха, где их рассеивание затруднено. В зависимости от распределения потоков автотранспорта на территории города под влиянием метеорологических условий рассеивания примесей формируются поля концентраций загрязняющих веществ [1]. Качество воздушной среды закрытых помещений по химическому составу в значительной степени зависит от качества окружающего атмосферного воздуха. Все здания имеют постоянный воздухообмен с внешней средой и поэтому не защищают человека от загрязненного атмосферного воздуха даже в зданиях, имеющих систему кондиционирования воздуха [2]. В связи с этим выявление и контроль источников загрязнения атмосферного воздуха в местах компактного проживания населения является весьма важной задачей, обуславливающей актуальность цели исследования – изучения динамики загрязнения атмосферного воздуха в жилых зонах городских территорий.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования выбрано загрязнение атмосферного воздуха в жилых зонах городских территорий.

Пункты наблюдений расположены на территории жилой застройки следующим образом: внутри двора (1), на балконе открытого типа со стороны дворовой территории (уровень 7-го этажа, высота около 20 м) (2), в квартире (3), на балконе со стороны улицы (уровень 7-го этажа, высота около 20 м) (4), на пешеходной дорожке, вблизи дороги с двумя полосами для движения (5) (рис.1). Участок автомобильной дороги, возле которой располагается пункт наблюдений ограничен регулируемыми перекрестками, расстоя-



Легенда
 ● Пункты наблюдений
 — Дороги внутри дворовых территорий
 — Пешеходные дорожки
 — Дорога на улице
 ■ Здания

Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений

ние до ближайшего из них составляет 180 м. Структура автотранспортного потока на данном участке дороги следующая: легковые автомобили, работающие на бензиновом топливе (80 %), автобусы, работающие на дизельном топливе (15 %), грузовые автомобили, работающие на дизельном топливе (5 %). Количество проходящего транспорта – до 400 единиц в час пик. Скоростной режим потока – 50-60 км/ч.

Дворовая территория характеризуется следующим: пространственная структура – замкнутая, тип дворового пространства – П-образный открытый. Такая пространственная конфигурация обуславливает наличие обширных застойных зон с пониженными скоростями воздушных потоков [3]. Во дворе наблюдается большое количество частного автотранспорта при наличии возможных парковочных мест до 30 единиц, в том числе автотранспорта, медленно передвигающегося по двору или работающего в холостом режиме, особенно в утренние и вечерние часы «пик».

Измерялись концентрации таких загрязняющих веществ, как оксид углерода (СО), оксид и диоксид азота (NO, NO₂), соединения свинца (Pb), пыль неорганическая в пятикратной повторности для каждого вещества в соответствии с ранее проводившимися наблюдениями [4] и рекомендациями по эксплуатации газоанализатора ГАНК-4. Измерение содержания соединений свинца обусловлено тем, что этилированное топливо достаточно широко используется вопреки действующим законодательным ограничениям [5]. Измерения проводились во всех вышеуказанных пунктах наблюдений 15, 19, 22 сентября 2017 г. 3 раза в течении одних суток – утренние часы (8-9 ч) – время утреннего «часа пик» автотранспортных потоков, дневное время (13-14 ч), вечернее время (17-18 ч) – вечерний «час пик». В дни проведения наблюдений отсутствовало выпадение осадков, во время проведения наблюдений относительная влажность атмосферного воздуха не превышала 53 %, скорость ветра – от 2-4 м/с (19.09.2017г.) до 10-12 м/с (22.09.2017г.). Измерения концентраций загрязнителей в пунктах наблюдений, расположенных в квартире и на балконе, выходящем на улицу, проводились как при работающей, так и при неработающей газовой плите. Полученные значения были усреднены.

Результаты и их обсуждение

Результаты измерений в условиях неработающей газовой плиты представлены в таблице. В таблице показаны усредненные концентрации загрязняющих веществ и их доля от ПДК максимальной разовой. Как видно из таблицы, ни одно из загрязняющих веществ не превысило ПДК_{мр}. Наибольшее содержание загрязнителей воздуха в долях от ПДК_{мр} у оксида углерода достигает 0,39, далее в порядке убывания – диоксид азота (0,19), соединения свинца (0,14), пыль (0,05) и оксид азота (0,03).

Усредненные концентрации (Q) загрязняющих веществ в мг/м³ и в долях ПДК_{мр} (q)

Расположение пункта	Вещество (ПДК _{мр} , мг/м ³)	Утро		День		Вечер		Фон по данным Росгидромета, мг/м ³ (доля от ПДК _{мр})
		Q	q	Q	q	Q	q	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
улица	СО (5)	1,65	0,33	1,90	0,38	1,59	0,32	1,5 (0,3)
балкон на улицу		1,81	0,36	1,51	0,3	1,90	0,38	
квартира		1,52	0,3	1,78	0,36	1,57	0,31	
балкон во двор		1,27	0,25	1,60	0,32	1,59	0,32	
двор		1,69	0,34	1,45	0,29	1,94	0,39	
улица	NO (0,4)	0,00936	0,02	0,00679	0,02	0,01096	0,03	0,028 (0,07)
балкон на улицу		0,00921	0,02	0,00634	0,02	0,0094	0,02	
квартира		0,00991	0,02	0,00778	0,02	0,0082	0,02	
балкон во двор		0,00661	0,02	0,00852	0,02	0,01009	0,03	
двор		0,00856	0,02	0,00661	0,02	0,00929	0,02	
улица	NO ₂ (0,085)	0,01243	0,15	0,0098	0,12	0,0106	0,12	0,038 (0,44)
балкон на улицу		0,01361	0,16	0,01303	0,15	0,011	0,13	
квартира		0,0092	0,11	0,00943	0,11	0,00959	0,11	
балкон во двор		0,01487	0,17	0,01543	0,18	0,00841	0,1	
двор		0,01427	0,17	0,01573	0,19	0,01272	0,15	

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
улица	Pb (0,001)	0,00014	0,14	0,000079	0,08	0,000113	0,11	Нет данных
балкон на улицу		0,00011	0,11	0,000076	0,08	0,000112	0,11	
квартира		0,00011	0,11	0,000084	0,08	0,000093	0,09	
балкон во двор		0,00011	0,11	0,000058	0,06	0,000113	0,11	
двор		0,00011	0,11	0,000065	0,07	0,000086	0,09	
улица	Пыль (0,5)	0,0224	0,04	0,0201	0,04	0,0225	0,05	0,140 (0,28)
балкон на улицу		0,023	0,05	0,0181	0,04	0,0207	0,04	
квартира		0,0225	0,05	0,0217	0,04	0,0228	0,05	
балкон во двор		0,0228	0,05	0,0195	0,04	0,022	0,04	
двор		0,0229	0,05	0,0191	0,04	0,0201	0,04	

На рис. 2 представлены результаты измерения концентраций загрязняющих веществ в пунктах наблюдений (в квартире и на балконах – при неработающей газовой плите). Как видно из графиков на рис. 2, содержание загрязнителей в воздухе достаточно изменчиво во времени. Так, в утренние часы содержание CO и NO наиболее низкое на балконе, выходящем во двор, однако для других загрязнителей такой тенденции не наблюдается. Наиболее высокое содержание CO в воздухе на балконе, выходящем на улицу и во дворе (в приземном слое атмосферы) – около 1,7-1,8 мг/м³ (рис. 2а). Это может быть связано с рассеиванием загрязненного воздуха от дороги как по вертикали, так и по горизонтали, поскольку рядом с условной линией, на которой находятся пункты наблюдений, располагается (рис. 1) въезд во двор. Замкнутая пространственная структура двора препятствует быстрому рассеиванию CO, а также и NO₂, так как можно заметить небольшое превышение содержания NO₂ во дворе над содержанием на улице (рис. 2в).

Содержание соединений свинца вблизи дороги – около $1,40 \times 10^{-4}$ мг/м³ (рис. 2г) в утренние часы наглядно показывает существенное влияние автотранспортного движения на уровень загрязнения воздуха, при этом для остальных пунктов характерен несколько меньший уровень содержания соединений свинца (около $1,10 \times 10^{-4}$ мг/м³) в связи с тем, что часть соединений свинца находится в составе относительно крупнодисперсных аэрозолей, быстро оседающих (налипающих) на твердых поверхностях. Содержание пыли в воздухе в утренние часы практически одинаковое во всех пунктах наблюдений – около 0,022 мг/м³ (рис. 2д).

В дневное время содержание соединений свинца, пыли и частично NO в воздухе ниже, чем в утренние часы (рис. 2б, 2г, 2д). Днем во дворе накопление диоксида азота больше, чем в утреннее время, а на улице – меньше, что, возможно, связано с замедленным воздухообменом внутри двора. В пунктах, расположенных на уровне 7-го этажа, содержание диоксида азота остается практически неизменным. Содержание оксида углерода в дневное время по сравнению с утром несколько меняется – наибольшее содержание CO на улице и в квартире при неработающей газовой плите (около 1,8–1,9 мг/м³). Содержание в воздухе соединений свинца и пыли днем уменьшается в связи с уменьшением интенсивности автотранспортного потока.

В вечернее время уровень содержания загрязняющих веществ в воздухе нарастает и фактически достигает уровня их содержания в воздухе в утреннее время. Так, содержание оксида углерода вечером почти совпадает с содержанием в утреннее время, однако на балконе, выходящем во двор, и в самом дворе содержание CO выше, чем утром (около 1,6–1,9 мг/м³). Это может быть связано с более интенсивным движением транспорта внутри двора.

Содержание NO в пунктах, расположенных со стороны улицы, и в пунктах, расположенных со стороны двора, приблизительно одинаковое, однако, именно в вечернее время наблюдается наибольшая концентрация оксида азота в течение суток (до 0,01 мг/м³ на улице). Концентрация диоксида азота в вечернее время в целом ниже, чем утром и днем. Содержание соединений свинца как на балконе, выходящем на улицу, так и на балконе, выходящем во двор, почти одинаково с их содержанием в утреннее время.

При сравнении результатов наблюдений с официальными данными Росгидромета можно отметить, что в утренние и вечерние часы пик концентрация CO в приземном слое атмосферного воздуха несколько превышает фон (в пределах 10-15 %). На высоте 7-го этажа со стороны улицы также наблюдается превышение фона на 15-26 %. Содержание CO на уровне 7-го этажа в квартире и на балконе со стороны двора в основном в пределах фона.

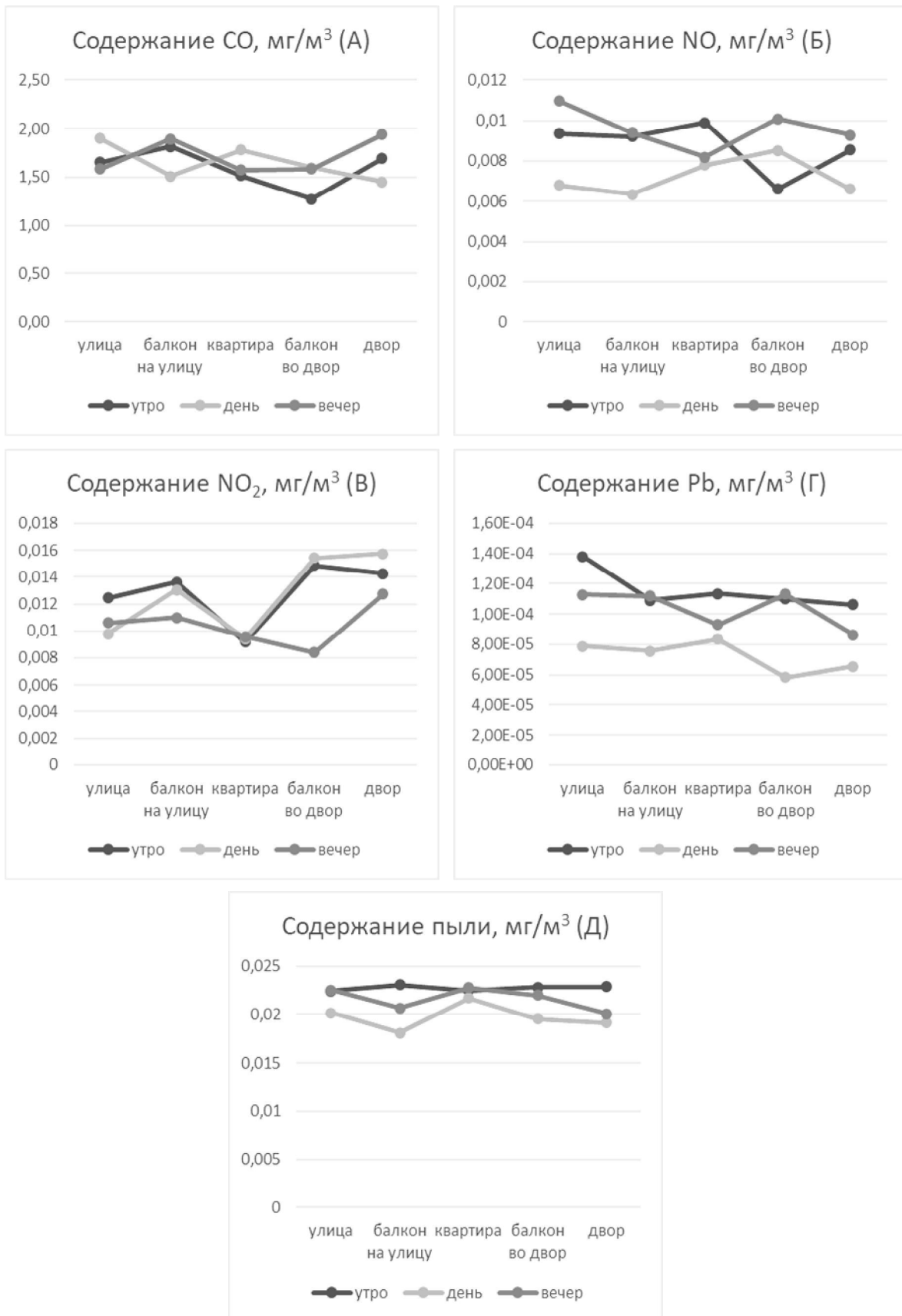


Рис. 2. Усредненное содержание загрязняющих веществ в воздухе

В дневное время (межпиковый период) со стороны улицы сохраняется повышенная концентрация в приземном слое атмосферного воздуха, а на дворовой территории в связи со снизившимся количеством автотранспорта концентрации в основном на уровне фона. Для остальных загрязняющих веществ (NO , NO_2 , пыль), вследствие того, что площадка наблюдений находится за пределами центра города (на удалении от промышленных предприятий), наблюдаются концентрации намного ниже официальных фоновых значений. Распределение загрязняющих веществ по точкам наблюдений имеет схожий характер с распределением CO .

На рис. 3а, 3б показаны результаты дополнительных исследований, в ходе которых с периодом в 30 мин были измерены концентрации оксида углерода, оксида и диоксида азота в кухне при одновременной работе двух конфорок работающей газовой плиты напольного типа с интенсивностью сгорания газа $0,3 \text{ м}^3/\text{ч}$. При сравнении данных графиков с графиками усредненных концентраций (рис. 2а, 2б, 2в) можно отметить, что содержание оксида углерода и оксида азота находится в пределах содержания этих загрязнителей в пунктах, расположенных в квартире и на балконе, выходящем на улицу (который непосредственно примыкает к кухне). При этом содержание диоксида азота при работающей газовой плите (рис. 3б) выше, чем в ситуации, когда она выключена (рис. 2в).

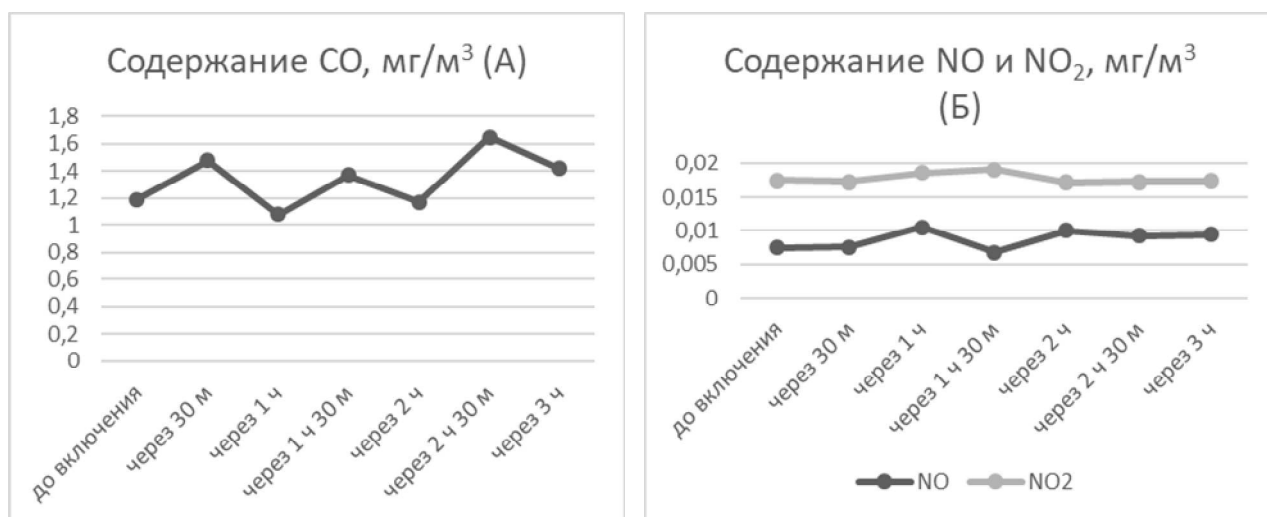


Рис. 3а, 3б. Усредненное содержание CO , NO , NO_2 во время работы газовой плиты

При открытых оконных проемах современные здания обеспечивают хорошую вентиляцию и в среднем повышенного накопления загрязняющих веществ по сравнению с их содержанием на улице не происходит, хотя иногда наблюдаются флуктуации уровня загрязнения в зависимости от локальных порывов ветра в пределах $\pm 2-23\%$.

Известно, что степень проникновения атмосферных загрязнений внутрь здания для разных веществ различна. При сравнении концентрации диоксида азота, оксида азота, оксида углерода и пыли в жилых зданиях и в атмосферном воздухе обнаружено, что концентрации этих веществ внутри здания находятся на уровне их концентраций в наружном воздухе, кроме тех случаев, когда действуют внутренние источники [2]. Вышеизложенные данные вполне согласуются с этим утверждением, однако пространственная структура дворового пространства в нашем случае замкнутая, и это оказывает некоторое влияние на накопление диоксида азота внутри дворового пространства (рис. 2в). Необходимо отметить, что работающая газовая плита, как внутренний источник загрязнения, оказывает влияние на содержание диоксида азота в воздухе жилых помещений (рис. 3б), но при хорошей вентиляции помещения это влияние периодическое и слабовыраженное. В раннее проведенных исследованиях А.Г. Корнилова и Л.Ю. Гордеева упоминалось, что такие контролируемые ингредиенты, как оксид азота (II), диоксид азота, пыль неорганическая, свинец и его соединения, в жилых помещениях не накапливаются и угрозы здоровью не создают [6]. В нашем случае это утверждение также применимо, так как не было отмечено значительного превышения содержания данных ингредиентов в воздухе жилых помещений над их содержанием в приземном слое атмосферного воздуха на улице и дворовых территориях.

Заключение

Загрязнение атмосферного воздуха на разных уровнях жилой застройки рядом с автомобильной дорогой со средней интенсивностью автомобильного движения, как правило, не превышает установленных нормативов. Наибольшее содержание загрязнителей воздуха в долях ПДК_{мр} следующее: оксид углерода – 0,39, диоксид азота – 0,19, соединения свинца – 0,14, пыль – 0,05 и оксид азота – 0,03.

В условиях дворовых территорий колебания уровней содержания загрязняющих веществ в воздухе в среднем составляет до 20 % от среднесуточных усредненных значений, в условиях открытого пространства со стороны улицы – до 17 %. В пунктах наблюдений 1 и 5 (высота около 1 м от земной поверхности) колебания уровня содержания загрязняющих веществ в воздухе в среднем составляет до 17 % от среднесуточных усредненных значений, в пунктах 2 и 4 (высота около 20 м) – до 21 %.

В часы пик основными источниками поступления загрязняющих веществ, помимо фона в жилых кварталах, являются автотранспортные магистрали и движение автотранспорта по дворовым территориям; а в дневное время – автотранспортные магистрали. Наблюдается незначительное содержание соединений свинца (Pb) в пределах 0,06-0,11 ПДК_{мр}, происхождение которого требует уточнения. Из возможных вариантов источников его поступления могут рассматриваться либо городской фон (в том числе пыление городских грунтов, многие годы накапливавших соединения свинца в результате интенсивного использования этилированного топлива), либо сохраняющаяся практика использования этилированного топлива на авиатранспорте и за счет поставок суррогатного бензина.

Работающая газовая плита, как внутренний источник загрязнения, оказывает влияние на содержание диоксида азота в воздухе жилых помещений, однако при хорошей вентиляции помещения это влияние периодическое и слабовыраженное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Германова Т.В., Керножитская А.Ф. Загрязнение атмосферного воздуха города автомобильным транспортом на примере Тюмени // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 2. С. 26-29.
2. Экология города: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / под ред. В.В. Денисова. М.: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д.: Изд. центр «МарТ», 2008. 832 с.
3. Кармадонова Н.Ю. Учет фактора загрязнения атмосферного воздуха при проектировании автостоянок на территории жилой застройки: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2006. 26 с.
4. Гордеев Л.Ю., Корнилов А.Г., Полетаев А.О. О влиянии автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха в горнопромышленных и селитебных районах региона КМА // *Научные ведомости БелГУ*. 2015. № 9 (206). С. 168-175.
5. Полетаев А.О., Корнилов А.Г. Проблемы оценки экологического состояния воздуха // *Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки*. 2017. Т. 38, № 4 (253). С. 126-132.
6. Корнилов А.Г., Гордеев Л.Ю. Экологическое состояние атмосферного воздуха жилых зон городских территорий // *Вестн. Чувашского ун-та*. 2013. № 3. С. 122-125.

Поступила в редакцию 20.04.2018

Полетаев Арсений Олегович, магистрант кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности
E-mail: 777797@bsu.edu.ru

Корнилов Андрей Геннадьевич, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности
E-mail: kornilov@bsu.edu.ru

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85

A.O. Poletaev, A.G. Kornilov

DYNAMICS OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN RESIDENTIAL ZONES OF URBAN TERRITORIES BY THE EXAMPLE OF BELGOROD

Dynamics of distribution of pollutants in the atmospheric air of a residential zone, including indoor air, is examined. Influence of vehicles on the content of pollutants in the ground layer of atmospheric air and in the air inside apartments of a residential building at different times of a day is determined. Concentration of pollutants at various altitudes within

a territory of a residential building is estimated – at about 1 m and 20 m from the earth's surface, and in different conditions with respect to a road located in the street - in the street itself and inside the yard. The influence of an operating gas stove, as an internal source of pollution, on change of carbon monoxide, oxide and nitrogen dioxide in the air content of residential apartments was studied. Obtained average concentrations were compared with the MPC standards. It was noted that air pollution at different levels of residential development near the highway with an average traffic intensity, as a rule, does not exceed the established standards and the largest content of air pollutants is in fractions of MPC_{mr}: carbon monoxide 0.39, nitrogen dioxide 0.19, lead compounds – 0.14, dust – 0.05 and nitrogen oxide – 0.03. An excess of the background level of pollutants in Belgorod (Roshydromet data) with respect to oxide and nitrogen dioxide was established.

Keywords: atmospheric air pollution, motor transport pollution, ecology of dwellings, urban ecology.

REFERENCES

1. Germanova T.V., Kernozhitskaya A.F. [Pollution of atmospheric air of the city by motor transport on the example of Tyumen], in *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2014, iss. 2, pp. 26-29 (in Russ.).
2. *Ekologiya goroda: Uchebnoe posobie dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij* [Ecology of the city: Textbook for students of higher educational institutions], Denisov V.V. (ed), M.: MarT, 2008, 832 p. (in Russ.).
3. Karmadonova N.Yu. [Taking into account the factors of atmospheric air pollution in the design of parking places in the residential area], Abstract of diss. Cand. Tech. sci., M., 2006, 26 p. (in Russ.).
4. Gordeev L.Yu., Kornilov A.G., Poletaev A.O. [On the impact of vehicles on air pollution in mining and residential areas of the KMA region], in *Nauchnye vedomosti BelGU*, 2015, iss. 9, pp. 168-175 (in Russ.).
5. Poletaev A.O., Kornilov A.G. [Problems of assessment of ecological state of air], in *Nauchnye vedomosti BelGU*, 2017, iss. 4, pp. 126-132 (in Russ.).
6. Kornilov A.G., Gordeev L.Yu. [Ecological state of atmospheric air in residential areas of urban areas], in *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2013, iss. 3, pp. 122-125 (in Russ.).

Received 20.04.2018

Poletaev A.O., postgraduate student at Department of geography, geo-ecology and life safety

E-mail: 777797@bsu.edu.ru

Kornilov A.G., Doctor of Geography, Professor, Head of Department of geography, geo-ecology and life safety

E-mail: kornilov@bsu.edu.ru

Belgorod State National Research University

Pobedy st., 85, Belgorod, Russia, 308015