

УДК 504.054

DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103

## Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе жилой зоны Белгорода

А.Э. Боровлев

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: borovlev@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Приведены результаты инструментального определения мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе на территории жилой зоны города Белгорода. Измерения проводили с использованием лазерного анализатора Dust Trak 8520. Получено соотношение  $PM_{10} : PM_{2.5} : TSP = 0,57 : 0,28 : 1,0$ . Установлено, что доля частиц фракции  $PM_{10}$  в составе суммы твердых частиц составляет от 55,1 до 58,6 %,  $PM_{2.5}$  – 25,5–32,4 %. Не выявлено превышений приземными концентрациями мелкодисперсных частиц максимальной разовой предельно допустимой концентрации (ПДК<sub>м.р.</sub>). Выявлены превышения ПДК среднесуточных и среднегодовых приземных концентраций  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  (до 2,2 ПДК). Результаты работ могут быть использованы для ориентировочной оценки содержания мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе жилой застройки, расположенной в зоне влияния выбросов производства строительных материалов.

**Ключевые слова:** Белгород, загрязнение атмосферы, мелкодисперсные частицы, мониторинг, пыль,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , TSP.

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках научного проекта № 18-45-310008.

**Для цитирования:** Боровлев А.Э. 2020. Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе жилых зон. Региональные геосистемы, 44(1): 97–103. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103

## Investigations of fine particles concentrations in the atmospheric air of residential areas of the city of Belgorod

Andrey E. Borovlev

Belgorod National Research University,  
85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: borovlev@bsu.edu.ru

**Abstract.** This paper presents the results of instrumental determination of fine suspended particles in atmospheric air on the territory of the residential areas of the city of Belgorod. Measurements were made using the DustTrak 8520 laser analyzer. The ratio  $PM_{10} : PM_{2.5} : TSP = 0,57 : 0,28 : 1,0$  was obtained. It was found that the proportion of particles of the  $PM_{10}$  fraction in the sum of solid particles is from 55,1 to 58,6 %,  $PM_{2.5}$  – 25,5–32,4 %. The maximum single surface concentrations of fine particles were not found to exceed the maximum permissible concentration (MPC). The MPC exceeded the average daily and average annual surface concentrations of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  (up to 2,2 MPC). It is recommended to perform dust monitoring at stationary posts in full with 4-time sampling and continuous monitoring using automatic devices for determining fine fractions of suspended particles, as well as work to establish the permissible contributions of enterprises to air pollution with fine particles. The obtained data may be used to calculate the risks to public health from exposure to construction materials industry objects and to objectively assess the content of fine suspended particles in cities where monitoring for  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  in atmospheric air is not carried out.



**Keywords:** Belgorod, air pollution, fine particles, monitoring, dust, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, TSP.

**Acknowledgements:** The reported research was funded by Russian Foundation for Basic Research and the government of the Belgorod Oblast of the Russian Federation, grant No.18-45-310008.

**For citation:** Borovlev A.E. 2020. Investigations of fine particles concentrations in the atmospheric air of residential areas. *Regional Geosystems*, 44(1): 97–103. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103

## Введение

Взвешенные вещества (сумма твердых частиц – обозначается как TSP (total suspended particles)) принято относить к основным загрязнителям атмосферного воздуха города. Однако наиболее опасными для здоровья являются мелкодисперсные частицы (фракции твердых частиц с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM<sub>10</sub>) и менее 2,5 мкм (PM<sub>2.5</sub>)) [Health risk of particulate matter..., 2006; Directive 2008/50/EC..., 2008], так как обладают способностью адсорбировать из воздуха большое количество вредных веществ, которые вместе с ними также могут попадать в организм человека и проявляют токсическое действие, что вызывает ряд заболеваний или обостряет уже имеющиеся [Reche et al., 2012; Cheng et al., 2016]. В странах Европы и США исследования распределения мелкодисперсных взвешенных частиц в атмосферном воздухе проводятся с конца 80-х годов прошлого века, и в настоящее время наблюдается их активное развитие в азиатских странах, обусловленное высокими темпами экономического развития этого региона мира [Karimian et al., 2016; Lu et al., 2017].

В России предельно допустимые концентрации (ПДК) PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub> были установлены в 2010 году (постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 19.04.2010 № 26). Необходимые руководящие документы в части проведения и применения результатов были введены в действие только 2016 году [РД 52.04.830-2015, 2015; РД 52.04.840-2015, 2015]. Однако в настоящее время автоматизированный мониторинг PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub> организован только в г. Москве, Санкт-Петербурге, Сочи, Казани, Набережных Челнах и Нижнекамске [Официальный сайт ГПУ «Мосэкомониторинг», 2020; Официальный сайт ФГБУ «УГМС Республики Татарстан», 2020; Экологический портал Санкт-Петербурга, 2020].

В настоящее время при оценке риска здоровью населения широко используются коэффициенты для перевода концентрации TSP в концентрации PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>, равные 0,55 и 0,26 соответственно. При этом среднее соотношение PM<sub>2.5</sub> : PM<sub>10</sub> (0,26 : 0,55) равно 0,47. Это согласуется с последними данными, полученными за период 2010–2014 гг. по 46-ти станциям мониторинга, которые являются частью автоматической городской и сельской сети Великобритании (AURN). Однако соотношение PM<sub>2.5</sub> : PM<sub>10</sub> продемонстрировало значительную временную и пространственную изменчивость в Великобритании – варьировалась от 0,4 до 0,8 (при среднем 0,65) [Munir, 2017]. Поэтому для каждой территории указанные коэффициенты нуждаются в подтверждении в конкретных условиях происхождения пылевого загрязнения атмосферы.

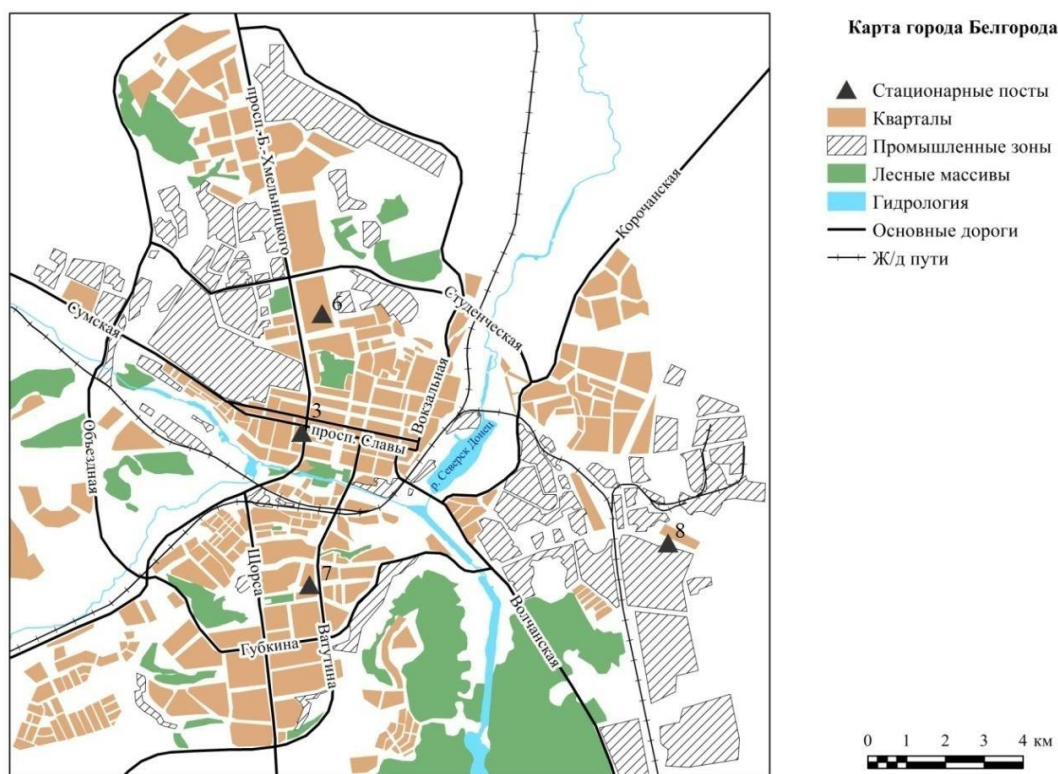
Целью настоящей работы является исследование фракционного состава и концентраций взвешенных частиц в атмосферном воздухе на территории жилой зоны города Белгорода, определение пересчетных коэффициентов для PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub> с последующей оценкой загрязнения исследуемой территории мелкодисперсными частицами.

## Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются концентрации PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>, формируемые в приземном слое атмосферного воздуха на территории жилой зоны города Белгорода выбросами промышленности и автотранспорта. Ежегодно в атмосферу города выбрасывает-

ся около 38,5 тыс. т, а общее количество стационарных источников загрязнения атмосферы превышает 3 000. В объеме выбросов ЗВ доля стационарных источников составляет 15,6–17,1 %, автотранспорта – 82,9–84,4 % [Borovlev, Zelenskaya, 2018]. Выброс в атмосферу твердых веществ от стационарных источников за последние годы снизился почти в 1,67 раза – с 1,504 тыс. т (2012 г.) до 0,9 тыс. т (2018 г.) и в суммарном объеме выбросов их доля в настоящее время составляет 2,3 %. Основной вклад в пылевое загрязнение атмосферы вносят предприятия промышленности строительных материалов (92,2 %), из них до 60 % приходится на ЗАО «Белгородский цемент».

Мониторинг пылевого загрязнения атмосферы проводится на 4-х стационарных постах (см. рис.) в соответствии с руководящим документом [РД 52.04.186-89, 2006] и предусматривает трехкратный отбор проб воздуха. Из них два поста находятся в зоне влияния выбросов объектов промышленности строительных материалов – ЗАО «Белгородский цемент» (пост № 3) и АО «Стройматериалы» (пост № 6). Третий пост № 7 расположен в «спальном» районе города, где отсутствуют крупные промышленные объекты. Четвертый пост № 8 находится в зоне влияния выбросов предприятий «Восточной промышленной зоны» (ООО «Полисинтез», канализационные очистные сооружения города, ООО «Белэнергомаш-БЗЭМ» и др.).



Стационарные посты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха  
на территории города Белгорода  
Stations of air pollution on the territory of the city of Belgorod

Измерения осуществлялись с помощью пылемера «ОМПН-10.0» (на основе оптического блока Dust Trak, модель 8520), имеющего диапазон измерения массовой концентрации частиц аэрозоля 0,04–100 мг/м<sup>3</sup> и размеров регистрируемых частиц 0,1–10 мкм. Исследования выполняли в теплый период (июнь – июль) 2018 г. в местах расположения указанных 4-х стационарных постов (разовый отбор в сутки в течение 10-ти дней исследований). Гравиметрические исследования накопленных на фильтрах твердых



частиц выполнены в лабораторных условиях. Полученные данные сравнивали с установленными нормативами ПДК для частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  [Перечень и коды..., 2015].

### Результаты и их обсуждение

Анализ содержания в атмосферном воздухе суммы TSP, а также частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  позволил установить, что превышений ПДК<sub>м.р.</sub> не установлено (табл. 1). Максимальные значения приземных концентраций суммы TSP, а также частиц  $PM_{10}$  и  $PM_2$  были получены для поста № 3, минимальные – для поста № 7. Сопоставительный анализ содержания в атмосферном воздухе суммы TSP, мелкодисперсных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  позволил установить соотношение  $PM_{10} : PM_{2.5} : TSP$ , соответствующее 0,57 : 0,28 : 1,0. На долю частиц фракции  $PM_{10}$  в составе суммы твердых частиц приходится от 55,1 до 58,6 %, на долю  $PM_{2.5}$  – 25,5–32,4 %. Среднее по городу соотношение  $PM_{2.5} : PM_{10}$  составило 0,5, что укладывается в диапазон средних значений 0,47–0,65, полученных в последние годы при проведении более длительных периодов наблюдений в разные сезоны года в промышленных центрах России и Великобритании [Raport, Korylov et al., 2012; Nemenko, Iiyasova et al., 2014; Munir, 2017].

Таблица 1  
Table 1

Усредненные значения концентраций мелкодисперсных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  в приземном слое атмосферного воздуха на территории жилой зоны города Белгорода  
Average values of concentrations of fine particles  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  in the surface layer of atmospheric air on the territory of the residential zone of the city of Belgorod

Место измерения (№ СПНЗА)	TSP, мг/м <sup>3</sup> , $\bar{x} \pm \sigma$	$PM_{10}$ , мг/м <sup>3</sup> , $\bar{x} \pm \sigma$	$PM_{2.5}$ , мг/м <sup>3</sup> , $\bar{x} \pm \sigma$	Массовая доля твердых частиц, %		$PM_{2.5} : PM_{10}$
				$PM_{10}$	$PM_{2.5}$	
3	0,167 ± 0,023	0,098 ± 0,020	0,044 ± 0,010	58,6	26,3	0,45
6	0,111 ± 0,021	0,063 ± 0,013	0,036 ± 0,008	56,7	32,4	0,57
7	0,098 ± 0,019	0,054 ± 0,011	0,025 ± 0,005	55,1	25,5	0,46
8	0,105 ± 0,020	0,059 ± 0,012	0,031 ± 0,006	56,2	29,5	0,52
В среднем по городу	0,120 ± 0,032	0,068 ± 0,022	0,034 ± 0,012	56,6	28,4	0,50

На основе полученного соотношения  $PM_{10} : PM_{2.5} : TSP$ , равного 0,57 : 0,28 : 1,0, с использованием данных по TSP от стационарных постов территориальной сети Росгидромета рассчитаны максимальные разовые (м.р.), среднесуточные (с.с.) и среднегодовые (с.г.) приземные концентрации мелкодисперсных частиц (табл. 2).

Согласно полученным результатам, расчетные значения максимальных разовых приземных концентраций мелкодисперсных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  не превышают установленные нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Расчетные значения приземных среднесуточных и среднегодовых концентраций мелкодисперсных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  превышают установленные ПДК в атмосферном воздухе на всех 3-х из 4-х постов. Так по концентрациям  $PM_{10}$  превышения наблюдаются от 1,1 до 2,0 ПДК<sub>с.с.</sub> и от 1,5 до 2,2 ПДК<sub>с.г.</sub>. По концентрациям  $PM_{2.5}$  превышения наблюдаются от 1,03 до 1,71 ПДК<sub>с.с.</sub> и от 1,2 до 1,76 ПДК<sub>с.г.</sub>

Максимальные превышения ПДК наблюдаются по посту № 3, расположенному вблизи автомагистрали по проспекту Богдана Хмельницкого с высокой интенсивностью движения автотранспорта (до 3 600 автомобилей) и находящегося в зоне влияния выбросов ЗАО «Белгородский цемент».

Таблица 2  
Table 2

Результаты расчетов концентраций мелкодисперсных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  в приземном слое атмосферного воздуха на территории жилой зоны города Белгорода  
Results of calculations of concentrations of fine particles  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  in the surface layer of atmospheric air on the territory of the residential zone of the city of Belgorod

Загрязняющее вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>		Номер поста	Значение концентрации, мг/м <sup>3</sup>		
	ПДК <sub>м.р.</sub>	ПДК <sub>с.с.</sub> (ПДК <sub>с.г.</sub> )		м.р.	с.с.	с.г.
TSP*	0,500	0,150	3	0.500	0.212	0.156
			6	0.200	0.128	0.114
			7	0.200	0.113	0.106
			8	0.200	0.126	0.111
В среднем по городу				0,500	0,145	0,122
В долях ПДК				1,000	0,967	0,813
$PM_{10}$	0,300	0,060 (0,040)	3	0.283	0.120	0.088
			6	0.113	0.072	0.065
			7	0.113	0.064	0.060
			8	0.113	0.071	0.063
В среднем по городу				0,283	0,082	0,069
В долях ПДК				0,943	1,367	1,725
$PM_{2.5}$	0,160	0,035 (0,025)	3	0.142	0.060	0.044
			6	0.057	0.036	0.032
			7	0.057	0.032	0.030
			8	0.057	0.036	0.032
В среднем по городу				0,142	0,041	0,035
В долях ПДК				0,887	1,171	1,400

\*данные Белгородской лаборатории по мониторингу загрязнения атмосферы за 2018 год

В работе Lisetskii, Vorovlev [2019] по результатам расчетов приземных концентраций ЗВ показано, что при работе ЗАО «Белгородский цемент» по полной производственной программе (работа всех 6-ти печей и 14 мельниц) вклад указанных источников выбросов цементного производства в уровень загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами  $PM_{10}$  может достигать 40–85 %, а  $PM_{2.5}$  – 43–91 %. Аналогичных исследований в части оценки вклада выбросов автотранспорта в уровень загрязнения приземной атмосферы Белгорода мелкодисперсными частицами не проводилось. Однако в условиях крупного промышленного центра поступление мелкодисперсных частиц в атмосферу в основном обусловлено выбросами автотранспорта и промышленных предприятий. Так, в Великобритании наибольшее количество выбросов в атмосферный воздух частиц  $PM_{2.5}$  приходится на дорожно-транспортную сеть (29 %), в том числе на выбросы автомобильного транспорта (18 %) и выбросы от износа шин, тормозных колодок и в результате истирания дорожных покрытий (11 %) [Munir, 2017].

Наименьшие концентрации мелкодисперсных частиц получены по посту № 7, расположенному в относительно «благополучном» районе города. Однако в этом районе только концентрация  $PM_{2.5}$  не превышает ПДК<sub>с.с.</sub> Превышения ПДК по другим показателям мелкодисперсных частиц обусловлены, по всей видимости, выбросами автотранспорта, так как источники выбросов промышленной пыли в указанном районе отсутствуют.

### Заключение

В результате исследования фракционного состава и концентраций взвешенных частиц в атмосферном воздухе на территории жилой зоны города Белгорода установлено, что значения максимальных разовых приземных концентраций мелкодисперсных взве-



шенных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  не превышают установленные нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, а по значениям приземных среднесуточных и среднегодовых концентраций частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  наблюдаются превышения (до 2,0 ПДК<sub>с.с.</sub> и 2,2 ПДК<sub>с.г.</sub> для концентрации  $PM_{10}$ ; до 1,71 ПДК<sub>с.с.</sub> и 1,76 ПДК<sub>с.г.</sub> для концентрации  $PM_{2.5}$ ). Показано, что основной вклад в уровень загрязнения атмосферного воздуха на территории жилой зоны города Белгорода мелкодисперсными взвешенными частицами  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  вносит ЗАО «Белгородский цемент».

В связи с особой опасностью мелкодисперсных взвешенных частиц для человеческого организма предлагается организовать проведение следующих мероприятий, обеспечивающих снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха и контроль за содержанием таких частиц:

– установить допустимые вклады предприятий в загрязнение атмосферного воздуха мелкодисперсными частицами на основе организации и проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы города Белгорода выбросами промышленности и автотранспорта;

– проводить мониторинг пыли на стационарных постах по полной программе с 4-разовым отбором проб, и на ближайшую перспективу – непрерывный мониторинг с использованием автоматических приборов для определения мелкодисперсных фракций взвешенных частиц.

Полученные данные могут быть использованы для оценки риска здоровью населения от воздействия объектов промышленности строительных материалов и объективной оценки содержания мелкодисперсных взвешенных частиц в городах, где мониторинг по показателям  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  в атмосферном воздухе не проводится.

#### Список источников

1. ГПУ «Мосэкомониторинг». Экологическая ситуация в г. Москве. Электронный ресурс. URL: <http://www.mosecom.ru/air/>. (дата обращения: 01.02.2020).
2. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух (издание десятое, переработанное и дополненное). СПб, 2015, 257 с.
3. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (в ред. РД 52.04.667-2005). М., Росгидромет, 2006. 556 с.
4. РД 52.04.830-2015. Массовая концентрация взвешенных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом. Росгидромет, 2015. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133379> (дата обращения: 01.02.2020).
5. РД 52.04.840-2015. Применение результатов мониторинга качества атмосферного воздуха, полученных с помощью методов непрерывных измерений. Росгидромет, 2015. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200133380> (дата обращения: 01.02.2020).
6. ФГБУ «УГМС Республики Татарстан». Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха г. Казани. Электронный ресурс. URL: [http://www.tatarmeteo.ru/ru/monitoring-okruzhayushhej-sredyi/monitoring-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduxa-\(s-interaktivnoj-kartoj-zagryazneniya-g.-kazani,-vozmozhno-vyidelit-otdelnyim-punktom\).html](http://www.tatarmeteo.ru/ru/monitoring-okruzhayushhej-sredyi/monitoring-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduxa-(s-interaktivnoj-kartoj-zagryazneniya-g.-kazani,-vozmozhno-vyidelit-otdelnyim-punktom).html). (дата обращения: 01.02.2020).
7. Экологический портал Санкт-Петербурга. Характеристика уровня загрязнения атмосферного воздуха по данным государственной сети наблюдений и автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга. Электронный ресурс. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (дата обращения: 01.02.2020).

#### References

1. Nemenko B.A., Piyasova A.D., Syzdykov D.M. 2014. Methods for the determination of suspended aerosol in ambient air. Vestnik KazNMU, 2 (2): 488–490. (in Russian)
2. Rapoport O.A., Kopylov I.D., Rudoi G.N. 2012. On the issue of regulation of fine particle emissions. Ekologicheskii vestnik Rossii, 4: 56–61. (in Russian)
3. Borovlev A.E., Zelenskaya E.Ya. 2018. Use of the Air Pollution Summary Calculations for Industrial Emission Regulation in the City of Belgorod. Biogeosystem Technique, 5 (2): 149–158. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.149.

4. Cheng M., Chui H., Yang C. 2016. The effect of coarse particles on daily mortality: a case – crossover study in a subtropical city, Taipei, Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13: 347. DOI: 10.3390/ijerph13030347.
5. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Official Journal of the European Union*, 152: 1–44.
6. Health risk of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Joint WHO. Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution. World Health Organisation. European Centre for Environment and Health. 2006, 100 p.
7. Karimian H., Li Q., Li C., Jin L., Fan J., Li Y. 2016. An improved method for monitoring fine particulate matter mass concentrations via satellite remote sensing. *Aerosol and Air Quality Research*, 4: 1081–1092.
8. Li X., Ma Y., Wang Y., Liu N., Hong Y. 2017. Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM10 and PM2.5) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China. *Atmospheric Research*, 198: 185–193.
9. Lisetskii F., Borovlev A. 2019. Monitoring of emission of particulate matter and air pollution using lidar in Belgorod, Russia. *Aerosol and Air Quality Research*, 19: 504–515. DOI: 10.4209/aaqr.2017.12.0593.
10. Munir S. 2017. Analysing temporal trends in the ratios of PM2.5/PM10 in the UK. *Aerosol and Air Quality Research*, 1: 34–48.
11. Reche C., Moreno T., Amasto F., Viana M., Drooge van B., Chang H., Berube K., Jones T., Alastuey A., Querl X. 2012. A multidisciplinary approach to characterize exposure risk and toxicological effects of PM10 and PM2.5 samples in urbane environments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78: 327–335.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Боровлев А.Э.**, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Andrey E. Borovlev**, candidate of geographical Sciences, associate Professor of the Department of geography, Geoecology and life safety of the Institute of Earth Sciences of the Belgorod state national research University, Belgorod, Russia