

УДК 535.34+535.33; 621.373.8; 616.2

Исследование изменения концентрации углекислого газа в пробах выдыхаемого воздуха лабораторных животных при ингаляции металлооксидными наночастицами

Б.Г. Агеев, О.Ю. Никифорова✉*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 6.04.2022 г.;
после доработки 21.04.2022 г.;
принята к печати 16.05.2022 г.

Мелкодисперсные и наноразмерные частицы как природного, так и антропогенного происхождения могут присутствовать в атмосферном воздухе и оказывать влияние на окружающую среду и здоровье человека.

В настоящей работе исследовано ингаляционное воздействие нанопорошками феррита кобальта CoFe_2O_4 , магнетита Fe_3O_4 и диоксида олова SnO_2 на содержание углекислого газа в пробах воздуха из носа лабораторных животных. Концентрация CO_2 была определена по спектрам поглощения проб воздуха, зарегистрированным с помощью лазерного оптико-акустического газоанализатора. Установлено, что ингаляция наночастицами магнетита приводит к снижению концентрации углекислого газа в пробах выдыхаемого воздуха лабораторных животных, что может свидетельствовать о негативном влиянии такого воздействия.

Ключевые слова: ингаляция, наночастица, феррит кобальта, магнетит, выдыхаемый воздух, морская свинка, концентрация CO_2 , спектр поглощения, CO_2 -лазер; inhalation, nanoparticle, cobalt ferrite, magnetite, expired air, guinea pig, CO_2 concentration, absorption spectrum, CO_2 laser.

Введение

Человек постоянно неосознанно вступает в контакт с огромным количеством наноразмерных частиц, находящихся в атмосферном воздухе. Особое внимание к изучению загрязнения воздуха взвешенными частицами размером меньше 2,5 мкм обусловлено тем, что, в отличие от более крупных частиц, эти частицы проникают сквозь биологические барьеры, следовательно, представляют наибольшую угрозу для организма. По нормам ВОЗ, среднегодовой уровень таких частиц в окружающем воздухе не должен превышать 10, а среднесуточный — 25 мкг/м³ [1].

Магнитные наночастицы широко распространены в природе и встречаются во многих биологических объектах. Магнитные наноматериалы, в том числе феррит кобальта CoFe_2O_4 и магнетит Fe_3O_4 , используются в электронных устройствах, при записи и хранении информации, в новых постоянных магнитах, в системах магнитного охлаждения, в качестве магнитных датчиков и сенсоров, в составе магнитоуправляемых сорбентов [2, 3]. Диоксид олова SnO_2 в виде нанопорошков и тонких пленок широко применяется в качестве чувствительного материала различных сенсоров [4]. Способность наночастиц проникать вглубь тканей, клетки и ядра

может применяться в медицине, создавая новые возможности в диагностике и терапии ряда заболеваний, прицельной доставке лекарственных препаратов [2, 5].

Магнетит (магнитный железняк) — широко распространенный минерал, который является сырьем для железорудной промышленности. Природный минерал касситерит почти целиком состоит из SnO_2 и служит основным источником олова в промышленности. Частицы этих минералов могут присутствовать в пылевом аэрозоле природного происхождения или выбрасываться в воздух промышленными предприятиями, топливно-энергетическим комплексом и автотранспортом. Так, по результатам мониторинга элементного состава аэрозолей воздуха г. Москвы массовая концентрация железа (Fe) составила 1–1,5 мкг/м³, олова (Sn) — ~0,003 мкг/м³, кобальта (Co) — 0,001–0,002 мкг/м³ (при этом оценка размеров частиц не проводилась) [6]. При исследовании элементного состава аэрозолей на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база «Мыс Баранова»» (арх. Северная Земля) и обсерватории «Фоновая» ИОА СО РАН (60 км западнее г. Томска) концентрация Fe составила 0,1 и 1,5 мкг/м³ и Co — 1 и 10 нг/м³ соответственно [7].

Магнетит и касситерит относятся к вредным веществам 3-го класса опасности, кобальт и его оксид CoO и сульфат CoO_4S — 2-го класса. Максимально

* Борис Григорьевич Агеев (ageev@iao.ru); Ольга Юрьевна Никифорова (nik@iao.ru).

допустимая суточная концентрация в атмосферном воздухе городских и сельских поселений составляет: касситерита (SnO_2) — $0,02 \text{ мг/м}^3$, магнетита (дижелезо триоксид, Fe_2O_3 и FeO) — $0,004 \text{ мг/м}^3$, Co и Co_3O_4 — $0,0004 \text{ мг/м}^3$, CoO — $0,001 \text{ мг/м}^3$; среднесменная ПДК в воздухе рабочей зоны: магнетита — 6 мг/м^3 , его наночастиц — $0,4 \text{ мг/м}^3$, кобальта и его неорганических соединений — $0,01 \text{ мг/м}^3$ [8].

В связи с развитием нанотехнологий актуальна оценка токсического влияния наночастиц на окружающую среду и здоровье человека. В литературе представлены результаты исследований по возможному токсическому воздействию наночастиц на клетки и ткани лабораторных животных и человека [9–11].

Углекислый газ играет важную роль в метаболизме многих живых существ. Известно, что его концентрация в выдыхаемом воздухе свидетельствует о состоянии здоровья человека [12]. В частности, изотопические модификации CO_2 являются биомаркерами ряда заболеваний и физиологических процессов в организме: бактериальной инфекции, дисфункции печени и поджелудочной железы, метаболизма желчи и глюкозы и т.д. [13].

Цель настоящей работы — определение концентрации CO_2 в пробах воздуха из носа лабораторных животных до и после ингаляционного воздействия (ингаляция) нанопорошками CoFe_2O_4 , Fe_3O_4 и SnO_2 .

Методика измерений

Были получены пробы воздуха из носа 38 лабораторных животных (морских свинок), затем 17 животных прошли курс ингаляций. Для ингалирования готовились взвеси наночастиц CoFe_2O_4 (8 животных), Fe_3O_4 (6 животных) и SnO_2 (3 животных) в дистиллированной воде.

Ингаляции животных выполнялись с помощью ультразвукового небулайзера «Муссон-1М», размер дисперсных частиц — до 5 мкм . Ингаляции нанопорошком проводились ежедневно в течение 30 мин, курс составлял 4 дня. Перед проведением ингаляций были исследованы эффективности генерации аэрозоля, содержащего металлооксидные наночастицы: уточнялись концентрации исходных растворов с наночастицами, режимы работы небулайзера [14, 15]. В результате определены оптимальные концентрации наночастиц в растворах для обеспечения возможности проведения ингаляций лабораторных животных: CoFe_2O_4 — $0,05\%$, Fe_3O_4 — $0,025\%$, SnO_2 — $0,075\%$.

Для забора выдыхаемого воздуха использовались стандартные медицинские шприцы объемом 10 мл . Из шприца удалялся поршень, и поршневое отверстие приставлялось к носу исследуемого животного, которое некоторое время дышало через объем шприца. Условия забора проб для всех животных были одинаковы. После забора пробы отверстия шприца изолировались от окружающего воздуха пробками, и шприцы с пробами отправлялись на анализ.

Для анализа пробы входной конец зонда газоанализатора помещался в шприц и осуществлялась прокачка пробы через оптико-акустический (ОА) детектор при работе газоанализатора на выбранной длине волны излучения. При достижении сигналом детектора максимального для данного напуска значения прокачка выключалась и производилось сканирование длины волны по всему спектру.

Для регистрации спектра проб воздуха использовался стендовый вариант внутривибраторного ОА-газоанализатора [16] на базе перестраиваемого по частоте волноводного CO_2 -лазера, который излучал на 69 линиях основного изотопа молекулы углекислого газа ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$) в диапазоне $9,2\text{--}10,8 \text{ мкм}$ ($924\text{--}1087 \text{ см}^{-1}$).

Величина сигнала ОА-газоанализатора, определяемая как отношение амплитуды акустического сигнала микрофона ОА-детектора к мощности лазера, с точностью до постоянного множителя, который находится в процессе калибровки газоанализатора, пропорциональна концентрации поглощающей компоненты исследуемой газовой пробы. Перестройка длины волны излучения, измерение ОА-сигналов и их предварительная обработка осуществлялись с помощью специально разработанной компьютерной программы.

Результаты измерений

Для калибровки газоанализатора были проведены измерения спектра поглощения поверочной газовой смеси $0,5\% \text{ CO}_2$ в N_2 . Спектр поверочной газовой смеси (среднее значение и стандартное отклонение) представлен на рис. 1. Одновременно с забором проб воздуха из носа лабораторных животных осуществлялся забор проб воздуха из помещения, где животные содержались. Как правило, пробы забирались дважды. На рис. 2 представлены спектры проб воздуха (среднее по двум реализациям) из носа двух животных до и после курса ингаляций наночастицами CoFe_2O_4 (рис. 2, а) и Fe_3O_4 (рис. 2, б) и воздуха из помещения, где эти животные содержались.

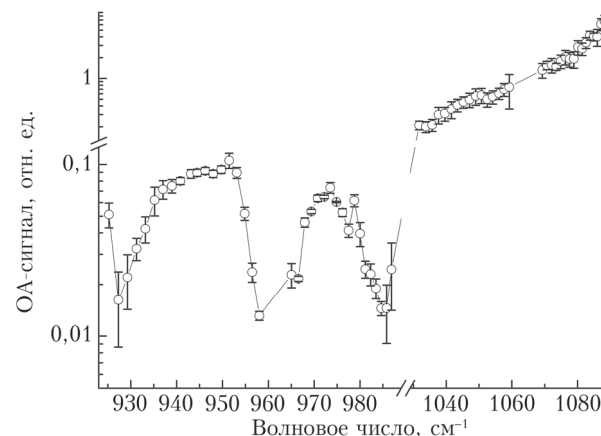


Рис. 1. Спектр поверочной газовой смеси: среднее значение и стандартное отклонение

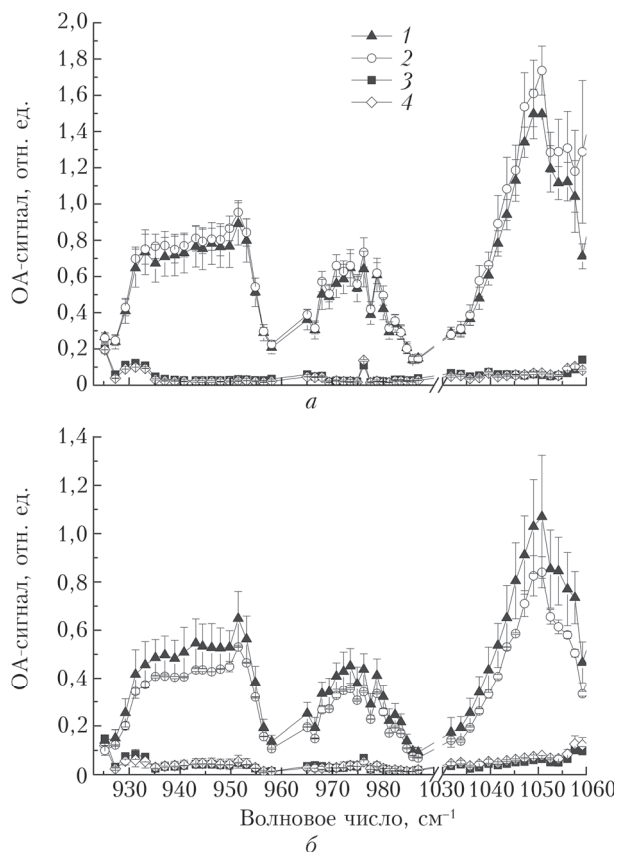


Рис. 2. Спектр воздуха из носа одного из лабораторных животных до (1) и после ингаляции (2) и из помещения, где животные содержались (3, 4): а – ингаляция CoFe_2O_4 ; б – ингаляция Fe_3O_4

Концентрация углекислого газа в пробах рассчитывалась по одноволновой методике для ОА-сигнала на нескольких линиях генерации лазера. Разброс в значениях ОА-сигнала для поверочной газовой смеси не более 5% наблюдался на 11 линиях генерации в области 10 мкм. По данным этих линий был выполнен расчет концентрации CO_2 в пробах и выбрано наименьшее значение. Полученные таким образом значения концентрации углекислого газа в пробах воздуха из помещения, где проводились измерения, и помещений, где содержались лабораторные животные, из носа всех 38 животных, участвовавших в исследовании, а также 17 животных до и после ингаляции представлены на рис. 3.

Концентрация CO_2 в воздухе рабочей комнаты составила 1070 ± 180 ppm, в воздухе помещений, где содержались лабораторные животные, – 2100 ± 1500 ppm (столь большой разброс данных получен вследствие аномально высоких значений в один из дней наблюдения). В пробах воздуха из носа всех лабораторных животных концентрация CO_2 была 35000 ± 12000 ppm (т.е. $3,5 \pm 1,2\%$), в том числе у 17 животных, которые в дальнейшем прошли курс ингаляции нанопорошками, – 37000 ± 9000 ppm. При анализе проб из носа лабораторных животных после ингаляции в ряде слу-

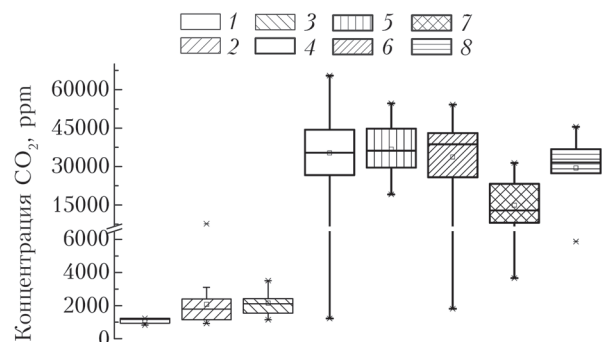


Рис. 3. Значения концентрации CO_2 в пробах воздуха из носа 38 лабораторных животных (4), 17 животных до ингаляции (5), 8 животных после ингаляции CoFe_2O_4 (6), 6 животных после ингаляции Fe_3O_4 (7) и 3 животных после ингаляции SnO_2 (8), а также из помещений, где животные содержались (2, 3) и где проводились измерения (1)

чаев (в пробах одного животного после ингаляции CoFe_2O_4 , трех животных после ингаляции Fe_3O_4 и одного животного после ингаляции SnO_2) были получены значения концентрации $\text{CO}_2 < 1\%$. Несмотря на то, что содержание CO_2 как в воздухе рабочей комнаты, так и в помещениях, где животные содержались, было значительно ниже 1%, мы полагаем, что столь низкие значения концентрации CO_2 в пробах из носа животных обусловлены ошибками при заборе проб.

Результаты сравнения концентраций углекислого газа в пробах из носа лабораторных животных при ингаляции нанопорошками различного состава представлены в таблице для всех животных и после удаления проб с концентрацией $\text{CO}_2 < 1\%$. Значимость различий в содержании CO_2 до и после ингаляции была определена по двухвыборочному t -критерию Стьюдента для независимых выборок (равенство дисперсий не предполагалось). Различия считались значимыми при уровне $p < 0,05$.

Значения концентрации CO_2 в пробах воздуха из носа лабораторных животных до и после ингаляции

Группа наблюдения	Количество животных	CO_2 , %		p
		До ингаляции	После ингаляции	
Все животные	38	$3,5 \pm 1,2$		
CoFe_2O_4	8	$4,0 \pm 0,8$	$3,4 \pm 1,4$	0,106
	7	$3,9 \pm 0,8$	$3,7 \pm 1,0$	0,483
Fe_3O_4	6	$3,5 \pm 1,0$	$1,5 \pm 0,9$	$5 \cdot 10^{-5}$
	4	$3,2 \pm 0,9$	$2,1 \pm 0,7$	0,025
SnO_2	3	$3,2 \pm 0,8$	$3,0 \pm 1,5$	0,732
	2	$3,0 \pm 0,5$	$3,5 \pm 0,8$	0,303

После ингаляции CoFe_2O_4 концентрации углекислого газа в пробах воздуха из носа двух животных несколько повысились, у пяти сохранились на прежнем уровне или несколько снизились и составили в среднем $3,7 \pm 1,0\%$.

Ингаляция SnO_2 также не привела к существенным изменениям: концентрация CO_2 после ингаляции оказалась $3,5 \pm 0,8\%$.

После ингаляции Fe_3O_4 средняя концентрация углекислого газа в пробах из носа животных значительно уменьшилась до $2,1 \pm 0,7\%$ ($p = 0,025$).

Обсуждение

В литературе представлены результаты исследований влияния наноразмерных частиц на состояние различных органов лабораторных животных, и выводы разных авторов не всегда согласуются. Наблюдался очень слабый легочный фиброз к концу первого месяца после однократной интратрахеальной инстилляцией лабораторных животных суспензией наночастиц оксидов железа (II, III) [9]. Вместе с тем не было обнаружено легочной токсичности при назальном воздействии на крыс аэрозолем, содержащим наночастицы оксидов железа с концентрациями, превосходящими их содержание в окружающем воздухе, хотя и отмечена цитотоксичность таких частиц и более высокая токсичность Fe_3O_4 по сравнению с другими оксидами [10]. Отмечался также нейротоксический потенциал наночастиц оксида железа [17] и нейропротекторный эффект при имплантации таких частиц крысам в место поражения при моделировании болезни Паркинсона и при последующем воздействии магнитным полем [18]. Было установлено, что наночастицы CoFe_2O_4 тоже токсичны для биологических систем: вызывают у лабораторных мышей воспаление печени [19] и почек [20].

Ранее при определении содержания CO_2 в выдыхаемом воздухе пациентов с различными бронхолегочными заболеваниями нами были получены меньшие концентрации, чем у здоровых лиц [21], поэтому можно предположить, что ингаляция Fe_3O_4 также приводит к воспалению дыхательных путей животных. Это предположение согласуется с ранее полученными результатами [22] и данными о последствиях неспецифического воспаления, вызванного ингаляционным поступлением наночастиц в организм, полученными при исследованиях сократительной активности гладких мышц воздухоносных путей [23].

В настоящей работе не обнаружено изменения содержания углекислого газа в выдыхаемом воздухе лабораторных животных при ингаляционном воздействии нанопорошками CoFe_2O_4 и SnO_2 : возможно это обусловлено тем, что повреждения при таком воздействии происходят во внутренних органах и в меньшей степени касаются дыхательной системы.

Заключение

Установлено, что ингаляция наночастицами магнетита приводит к снижению концентрации углекислого газа в пробах выдыхаемого воздуха лабораторных животных с $3,2 \pm 0,9\%$ до $2,1 \pm 0,7\%$ ($p = 0,025$). Это может свидетельствовать о негативном влиянии наночастиц магнетита на организм.

Не обнаружено изменения содержания углекислого газа в выдыхаемом воздухе лабораторных животных при ингаляционном воздействии нанопорошками феррита кобальта и диоксида олова.

Предлагаемая методика исследования является неинвазивной, сохраняет жизнь лабораторным животным и позволяет проводить наблюдения в динамике.

Благодарности. Авторы выражают благодарность к.м.н. Т.Н. Зайцевой и З.Р. Петлиной за подготовку проб и участие в экспериментах.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН (рег. № ЕГИСЦ: 21031500340-6; № МН: FWRU-2021-0009).

Список литературы

1. Кузнецова И.Н., Брусова Н.Е., Шалыгина И.Ю., Борисов Д.В., Лезина Е.А. Изменчивость концентрации $\text{PM}_{2,5}$ в некоторых европейских мегаполисах // XXVII Аэрозоли Сибири: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2020. С. 72.
2. Баранов Д.А., Губин С.П. Магнитные наночастицы: достижения и проблемы химического синтеза // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2009. Т. 1, № 1–2. С. 129–147.
3. Шапкин Н.П., Панасенко А.Е., Хальченко И.Г., Печников В.С., Майоров В.Ю., Маслова Н.В., Радов В.И., Папынов Е.К. Синтез и свойства магнитных композитов на основе феррита кобальта, вермикулита и рисовой шелухи // Журн. неорганической химии. 2020. Т. 65, № 10. С. 1416–1425.
4. Иванов В.В., Сидорак И.А., Шубин А.А., Денисова Л.Т. Получение порошков SnO_2 разложением термически нестабильных соединений // Журн. СФУ. Техника и технологии. 2010. Т. 3, № 2. С. 189–213.
5. Абаева Л.Ф., Шумский В.И., Петрицкая Е.Н., Рогаткин Д.А., Любченко П.Н. Наночастицы и нанотехнологии в медицине сегодня и завтра // Альманах клинической медицины. 2010. № 22. С. 10–16.
6. Губанова Д.П., Иорданский М.А., Кудерина Т.М., Скороход А.И., Еланский Н.Ф., Минашкин В.М. Элементный состав аэрозолей в приземном воздухе Москвы: сезонные изменения в 2019 и 2020 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 6. С. 400–407; Gubanova D.P., Iordanskii M.A., Kuderina T.M., Skorokhod A.I., Elansky N.F., Minashkin V.M. Elemental composition of aerosols in the near-surface air of Moscow: Seasonal changes in 2019 and 2020 // Atmos. Ocean. Opt. 2021. V. 34, N 5. P. 475–482.
7. Сакерин С.М., Голобокова Л.П., Кабанов Д.М., Калашикова Д.А., Козлов В.С., Круглинский В.А., Макаров В.И., Махитас А.П., Попова С.А., Радионов В.Ф., Симонова Г.В., Турчинович Ю.С., Ходжер Т.В., Хуриганова О.И., Чанкина О.В., Чернов Д.Г. Результаты измерения физико-химических характеристик атмосферного аэрозоля на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база “Мыс Баранова”» в 2018 г. // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 6. С. 421–429; Sakerin S.M., Golobokova L.P., Kabanov D.M., Kalashnikova D.A., Kozlov V.S., Kruglinsky I.A., Makarov V.I., Makshtas A.P., Popova S.A., Radionov V.F., Simonova G.V., Turchinovich Yu.S., Khodzher T.V., Khuriganova O.I., Chankina O.V., Chernov D.G. Measurements of physicochemical characteristics of atmospheric aerosol at research station ice base Cape Baranov in 2018 // Atmos. Ocean. Opt. 2019. V. 32, N 5. P. 511–520.
8. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН

- 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?section=text> (дата обращения: 4.04.2022).
9. Szalay B., Tátrai E., Nyirő G., Vezér T., Dura G. Potential toxic effects of iron oxide nanoparticles in *in vivo* and *in vitro* experiments // J. Appl. Toxicol. 2012. V. 32, N 6. P. 446–453.
10. Guo C., Weber R.J.M., Buckley A., Mazzolini J., Robertson S., Delgado-Saborit J.M., Rappoport J.Z., Warren J., Hodgson A., Sanderson P., Chipman J.K., Viant M.R., Smith R. Environmentally relevant iron oxide nanoparticles produce limited acute pulmonary effects in rats at realistic exposure levels // Intern. J. Mol. Sci. 2021. V. 22, N. 2. P. 556–580.
11. Sutunkova M.P., Katsnelson B.A., Privalova L.I., Gurvich V.B., Konysheva L.K., Shur V.Ya., Shishkina E.V., Minigalieva I.A., Solovjeva S.N., Grebenkina S.V. On the contribution of the phagocytosis and the solubilization to the iron oxide nanoparticles retention in and elimination from lungs under long-term inhalation exposure // Toxicology. 2016. V. 363–364. P. 19–28.
12. Кузнецов В.И., Тараканов С.А., Рыжаков Н.И., Коган В.Т., Козленок А.В., Рассадина А.А. Метод высокочувствительной неинвазивной диагностики функционального состояния организма // Вестн. новых медицинских технологий. 2013. № 1. URL: <http://vnmmt.ru/Bulletin/E2013-1/4167.pdf> (дата обращения: 10.03.2022).
13. Степанов Е.В. Диодная лазерная спектроскопия и анализ молекул-биомаркеров. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 416 с.
14. Зайцева Т.Н., Петлина З.Р., Носарев А.В., Агеев Б.Г., Капилевич Л.В., Дьякова Е.Ю., Огородова Л.М. Оптические свойства аэрозоля раствора нанопорошка феррита кобальта // Бюл. сибир. мед. 2009. Т. 8, № 1. С. 101–102.
15. Зайцева Т.Н., Носарев А.В., Агеев Б.Г., Капилевич Л.В., Дьякова Е.Ю., Магаева А.А., Терехова О.Г., Итин В.И. Оптические свойства аэрозолей растворов нанопорошков магнетита и диоксида олова // Бюл. сибир. мед. 2010. Т. 9, № 1. С. 143–145.
16. Карпузииков А.И., Шерстов И.В., Агеев Б.Г., Капитанов В.А., Пономарев Ю.Н. Лазерные сенсоры-газоанализаторы на основе интеллектуальных волноводных CO₂-лазеров и резонансных оптико-акустических детекторов // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 5. С. 453–458.
17. Imam S.Z., Lantz-McPeak S.M., Cuevas E., Rosas-Hernandez H., Liachenko S., Zhang Y., Sarkar S., Ramu J., Robinson B.L., Jones Y., Gough B., Paule M.G., Ali S.F., Binienda Z.K. Iron oxide nanoparticles induce dopaminergic damage: *in vitro* pathways and *in vivo* imaging reveals mechanism of neuronal damage // Mol. Neurobiol. 2015. V. 52. P. 913–926.
18. Umarao P., Bose S., Bhattacharyya S., Kumar A., Jain S. Neuroprotective potential of superparamagnetic iron oxide nanoparticles along with exposure to electromagnetic field in 6-OHDA rat model of Parkinson's disease // J. Nanosci. Nanotechnol. 2016. V. 16, N 1. P. 261–269.
19. Akhtar S., Khan Q., Anwar S., Ali G., Maqbool M., Khan M., Karim S. and Gao L. A comparative study of the toxicity of polyethylene glycol-coated cobalt ferrite nanospheres and nanoparticles // Nanoscale Res. Lett. 2019. V. 14, N 1. P. 386–397.
20. Cótica L.F., Freitas V.F., Silva D.M., Honjoia K., Honjoia K., Santos I.A., Fontanive V.C.P., Khalil N.M., Mainardes R.M., Kioshima E.S., Guo R., Bhalla A.S. Thermal decomposition synthesis and assessment of effects on blood cells and *in vivo* damages of cobalt ferrite nanoparticles // J. Nano Res. 2014. V. 28. P. 131–140.
21. Агеев Б.Г., Никифорова О.Ю. Оптико-акустическое определение концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе при различных заболеваниях человека // Журн. прикл. спектроскоп. 2016. Т. 83, № 5. С. 782–787.
22. Носарев А.В., Абраменко Е.Е., Капилевич Л.В., Дьякова Е.Ю., Селиванова В.С. Динамика элиминации наночастиц магнетита у морских свинок при ингаляционном введении // Бюл. сибир. мед. 2014. Т. 13, № 1. С. 62–66.
23. Зайцева Т.Н., Носарев А.В. Изменение сократительных ответов воздухоносных путей морских свинок при ингаляции наночастицами // Междунар. научно-исслед. журн. 2015. № 4. Часть 3. С. 32–33.

B.G. Ageev, O.Yu. Nikiforova. Investigation of changes in CO₂ concentration in breath of laboratory animals at the metal-oxide nanoparticle inhalation.

Fine and nanosize particles of both natural and anthropogenic origin can be present in the atmospheric air and affect the environment and human health. The effect of inhalation the cobalt ferrite CoFe₂O₄, magnetite Fe₃O₄, and tin dioxide SnO₂ nanopowders on the carbon dioxide content in air samples taken from the noses of laboratory animals is studied. The CO₂ concentration is determined from the absorption spectra of air samples recorded with a laser photoacoustic (PA) gas analyzer. It is ascertained that inhalation of magnetite nanoparticles leads to a decrease in the concentration of carbon dioxide in the samples of exhaled air of laboratory animals, which can indicate a negative effect of such exposure.