

Гетте И.Ф.¹, Остроушко А.А.², Данилова И.Г.¹, Тонкушина М.О.²

Сравнение токсического действия железо-молибденовых полиоксометаллатов и смеси составляющих их компонентов

¹ФБГУН «Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук», 620049, Екатеринбург, Российская Федерация;

²ФГАУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина», 620002, Екатеринбург, Российская Федерация

Введение. Физико-химические свойства и воздействие на живые организмы наночастиц и компонентов, входящих в состав наночастиц, могут радикально отличаться, однако сравнительному исследованию токсичности наночастиц и составляющих наночастицы компонентов уделяется недостаточно внимания.

Материал и методы. Определяли биохимические и гематологические параметры в крови 50 крыс-самцов Wistar при однократном, семикратном и тридцатикратном внутримышечном введении водного раствора железо-молибденовых нанокластерных полиоксометаллатов (ПОМ) и смеси, составляющих ПОМ компонентов, дозой 1,5 мг/кг. Раствор смеси компонентов ПОМ получали деструкцией ПОМ при увеличении pH с последующей нейтрализацией, поскольку ПОМ неустойчивы в щелочной среде.

Результаты. Введение ПОМ не вызывало отклонения от нормы активности АСТ, АЛТ, щелочной фосфатазы общей и ее костного изофермента, α -амилазы, содержания белка, мочевины и креатинина, что свидетельствует об отсутствии цитолитического синдрома, в том числе в печени и миокарде, отсутствии повреждения ацинарной части поджелудочной железы, изменений в костной ткани, сохранности белоксинтетической функции печени и фильтрующей способности почек. Введение раствора компонентов ПОМ (молибден, железо) после 7 инъекций сопровождалось увеличением активности АСТ, щелочной фосфатазы, коэффициента АСТ/АЛТ и увеличением последних двух параметров после 30 инъекций. Действие ПОМ характеризуется увеличением содержания гемоглобина и эритроцитов в крови и менее выраженной лейкопенией, в отличие от составляющих ПОМ компонентов.

Заключение. Менее выраженное отклонение от нормы биохимических показателей и меньшая степень лейкопении позволяют оценить действие наночастиц ПОМ как менее токсичное по сравнению с действием компонентов ПОМ, не организованных в наночастицы.

Ключевые слова: железо-молибденовые нанокластерные полиоксометаллаты; токсичность; биохимические параметры; гематологические параметры

Для цитирования: Гетте И.Ф., Остроушко А.А., Данилова И.Г., Тонкушина М.О. Сравнение токсического действия железо-молибденовых полиоксометаллатов и смеси составляющих их компонентов. *Токсикологический вестник*. 2021; 29(6): 54-59. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-6-54-59>

Для корреспонденции: Гетте Ирина Федоровна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории морфологии и биохимии, ФБГУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, 620049, г. Екатеринбург. E-mail: i.goette@yandex.ru

Участие авторов: Остроушко А.А. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Гетте И.Ф. – сбор и обработка материала, написание статьи; Данилова И.Г. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Тонкушина М.О. – синтез полиоксометаллатов, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проекты № АААА-А20-120061990010-7 и № АААА-А21-121012090094-7).

Поступила в редакцию: 18.10.2021 / Принята в печать: 23.11.2021 / Опубликовано: 30.12.2021

Gette I.F.¹, Ostroushko A.A.², Danilova I.G.¹, Tonkushina M.O.²

Comparison of toxic effects of iron-molybdenum polyoxometalates and mixture of their components

¹Institute of Immunology and Physiology UB RAS, Ekaterinburg, 620049, Russian Federation;²Ural Federal University named after the first president of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation

Introduction. The physicochemical properties and the impact on living organisms of nanoparticles and components that make up nanoparticles may differ radically, however, insufficient attention is paid to a comparative study of the toxicity of nanoparticles and constituents of nanoparticles.

Material and methods. Biochemical and hematological parameters in the blood of 50 male Wistar rats were determined after a single, seven-fold and thirty-fold intramuscular injection of an aqueous solution of iron-molybdenum nanocluster polyoxometalates (POM) and a mixture of the POM components at a dose of 1.5 mg/kg. A solution of a POM components' mixture was obtained by the destruction of POM with an increase in pH, followed by neutralization, since POM are unstable in an alkaline medium.

Results. The introduction of POM did not cause deviations from the norm in the activity of AST, ALT, total alkaline phosphatase and its bone isoenzyme, α -amylase, protein content, urea and creatinine, which indicates the absence of cytolytic syndrome, including in the liver and myocardium, no damage to the acinar part of pancreas, changes in bone tissue, preservation of the protein-synthetic function of the liver and the filtering ability of the kidneys. The introduction of a solution of POM components (molybdenum, iron) was accompanied by an increase in the activity of AST, alkaline phosphatase, the AST / ALT ratio after 7 injections and an increase in the last two parameters after 30 injections. The impact of POM is characterized by an increase in the content of hemoglobin and erythrocytes in the blood and less pronounced leukopenia, in contrast to the mixture of POM components.

Conclusion. A less pronounced deviation from the norm of biochemical parameters and a lower degree of leukopenia make it possible to assess the effect of POM nanoparticles as less toxic than the action of POM components not organized into nanoparticles.

Keywords: *iron-molybdenum nanocluster polyoxometalates; toxicity; biochemical parameters; hematological parameters*

For citation: Gette I.F., Ostroushko A.A., Danilova I.G., Tonkushina M.O. Comparison of toxic effects of iron-molybdenum polyoxometalates and mixture of their components. *Toksikologicheskii vestnik (Toxicological Review)*. 2021; 29(6): 54-59. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-29-6-54-59> (In Russian)

For correspondence: *Irina F. Gette*, PhD, Candidate of Biol. Sci., Senior Researcher, Laboratory of Morphology and Biochemistry, Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation. E-mail: i.goette@yandex.ru

Information about the authors:

Gette I.F., <https://orcid.org/0000-0003-3012-850X>; WOS ID AAX-2079-2021Ostroushko A.A., <https://orcid.org/0000-0003-0206-5513>Danilova I.G., <https://orcid.org/0000-0001-6841-1197>; WOS ID A-7952-2015Tonkushina M.O., <https://orcid.org/0000-0003-4371-3900>; WOS ID D-8463-2012

Author contributions: *A.A. Ostroushko* – research concept and design, editing; *Gette I.F.* – collection and processing of material, writing an article; *Danilova I.G.* – research concept and design, editing; *Tonkushina M.O.* – synthesis of polyoxometallates, editing. *All co-authors* – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

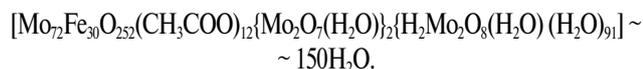
Acknowledgments. The studies were carried out as part of the fulfillment of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (projects No. 4.6653.2017 / 8.9 and No. AAAA-A21-121012090094-7).

Received: October 18, 2021 / Accepted: November 23, 2021 / Published: December 30, 2021

Введение

Практическое применение наночастиц, содержащих оксиды металлов, включает регенеративную медицину, адресную доставку лекарственных веществ, визуализацию клеток, противоопухолевое действие [1]. Физико-химические свойства и воздействие на живые организмы наночастиц и компонентов, входящих в состав наночастиц, могут радикально отличаться, однако сравнительному исследованию токсичности наночастиц и составляющих компонентов посвящены единичные работы. Так, LD₅₀ наночастиц, содержащих оксид меди, в три раза превышала LD₅₀ сульфата меди вследствие более выраженного оксидативного стресса [2]. Наночастицы, содержащие никель и оксид никеля, проявляли более высокую генотоксичность по сравнению с растворами солей никеля [3]. Ранее нами выявлено менее выраженное токсическое действие железо-молибденовых полиоксометаллатов (ПОМ) на нуклеиновые кислоты и гистоновые белки лимфоцитов крови по сравнению с действием смеси отдельных компонентов ПОМ, не организованных в наночастицы [4].

Ниже представлена формула железо-молибденового ПОМ:



Перспективность использования ПОМ в медицине связана с их малой токсичностью, способностью образовывать ассоциаты с биологически активными соединениями и транспортироваться электрофоретически, распадаться на составляющие элементы, утилизируемые организмом, с отсутствием аккумуляции в печени, почках и костной ткани при субхроническом введении [5]. В то же время сравнение действия ПОМ и составляющих компонентов остаётся малоизученным. Унифицированные биохимические и гематологические методы исследования считаются достаточно информативными и предлагаются в качестве диагностических параметров токсического действия наночастиц [6].

Цель исследования — выявить влияние однократного и многократного субхронического действия железо-молибденовых полиоксометаллатов и смеси составляющих ПОМ компонентов на биохимические и гематологические показатели крыс.

Материал и методы

Получение ПОМ подробно изложено в работе [4].

В эксперименте использовали 50 крыс-самцов Wistar массой 220–280 г, содержание животных и манипуляции соответствовали Директиве Совета ЕС 2010/63/EU. Животных содержали по 5 крыс в клетке при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ со свободным доступом к воде и корму. Выделили группы животных: 1-я — интактная, 2-я — введение ПОМ, 3-я — введение продуктов деструкции ПОМ. 2-я и 3-я группы были разделены на подгруппы по 5 крыс, которые находились в эксперименте 1, 7 и 30 сут и получали соответственно 1, 7 и 30 внутримышечных инъекций раствора ПОМ или компонентов ПОМ в воде для инъекций дозой 1,5 мг/кг. Раствор компонентов ПОМ или дериватов ПОМ получали деструкцией ПОМ при увеличении pH с последующей нейтрализацией, поскольку ПОМ неустойчивы в щелочной среде [7]. Животных выводили из эксперимента передозировкой эфира, предварительно брали кровь из хвостовой вены. Активность аланинаминотрансферазы (АЛТ, К.Ф.2.6.1.2), аспаратаминотрансферазы (АСТ, К.Ф.2.6.1.1), щелочной фосфатазы (ЩФ, К.Ф.3.1.3.1.), α-амилазы (КФ 3.2.1.1), содержание общего белка, глюкозы, мочевины и креатинина в плазме крови определяли с использованием готовых наборов реагентов (Витал диагностика, Россия) и спектрофотометра DU-800 (Beckman Coulter, США). Определение гематологических параметров в крови проводили на автоматизированном гематологическом анализаторе Celly 70 Biocode Husel. Статистический анализ проводили с помощью программ Statistica 6.0 (Stat.Soft.Inc., США), Excel 2003 (Microsoft, США) и непараметрического критерия Манна–Уитни. При проверке статистических гипотез использовался уровень значимости 5% ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Однократная инъекция ПОМ не вызвала изменения исследованных биохимических показателей в плазме крови по сравнению с теми же параметрами интактных крыс, но после семи инъекций увеличилось содержание глюкозы в 1,3 раза и соотношение АСТ/АЛТ (табл. 1). Гипергликемию на 7-е сутки после введения ПОМ можно считать незначительной, так как уровень глюкозы не превысил

Таблица 1 / Table 1

Биохимические показатели в плазме крови крыс после внутримышечного введения ПОМ и составляющих компонентов ПОМ**Biochemical parameters in blood plasma of rats after intramuscular injection of polyoxometals and polyoxometals constituents**

Показатель	Интактные	ПОМ			Компоненты ПОМ		
		сутки эксперимента					
		1	7	30	1	7	30
Глюкоза, ммоль/л	6,4 ± 0,2	6,4 ± 0,5	8,2 ± 0,2*	6,6 ± 0,2	6,5 ± 0,4	8,0 ± 0,1*	7,0 ± 0,4
АСТ, мкмоль/мин · л	16,5 ± 1,0	17,9 ± 1,2	18,5 ± 0,9	17,0 ± 1,1	18,8 ± 0,9	21,2 ± 0,3* •	19,4 ± 0,9
АЛТ, мкмоль/мин · л	12,9 ± 0,9	12,9 ± 1,1	10,8 ± 1,4	11,8 ± 0,7	13,1 ± 2,2	11,7 ± 0,7	11,2 ± 0,7
АСТ/АЛТ	1,29 ± 0,09	1,49 ± 0,13	1,80 ± 0,18*	1,50 ± 0,07	1,51 ± 0,24	1,82 ± 0,09*	1,73 ± 0,04* •
ЩФ общая, мкмоль/мин · л	77,0 ± 10,7	78,2 ± 3,9	95,8 ± 7,1	83,3 ± 10,2	88,1 ± 12,0	104,8 ± 5,0*	118,5 ± 10,3* •
ЩФ костная, мкмоль/мин · л	38,2 ± 0,5	39,6 ± 2,8	45,9 ± 10,4	49,5 ± 8,1	34,9 ± 7,3	30,6 ± 8,4	45,2 ± 10,8
α-Амилаза, мг/с · л	31,8 ± 3,7	30,7 ± 1,1	26,3 ± 2,8	33,2 ± 2,9	27,6 ± 1,1	29,5 ± 1,0	33,2 ± 1,5
Общий белок, г/л	62,4 ± 3,7	62,1 ± 3,8	62,7 ± 0,7	62,6 ± 3,1	61,0 ± 1,4	64,5 ± 4,6	59,6 ± 1,9
Мочевина, ммоль/л	6,2 ± 0,1	6,8 ± 1,0	7,1 ± 0,5	6,8 ± 0,5	6,3 ± 0,2	6,0 ± 0,3	6,4 ± 0,4
Креатинин, мкмоль/л	64,8 ± 2,0	71,0 ± 3,0	66,7 ± 2,9	63,3 ± 1,4	69,7 ± 3,3	80,3 ± 3,6* •	69,7 ± 5,9

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: * – различия достоверны при $p < 0,05$; * – с группой интактных крыс; • – различия с группой ПОМ соответствующего срока.

почечный порог реабсорбции 10 ммоль/л. Причиной увеличения концентрации глюкозы могла быть процедура внутримышечных инъекций. Активность ферментов АСТ и АЛТ на уровне показателей интактной группы свидетельствует об отсутствии цитолиза в различных органах и тканях, в том числе в печени и миокарде, а небольшое увеличение коэффициента АСТ/АЛТ на 7-е сутки эксперимента также может быть следствием процедуры внутримышечных инъекций (табл. 1).

Общая активность щелочной фосфатазы и её костного изофермента и активность α-амилазы в пределах нормы указывают соответственно на отсутствие холестатического синдрома, нарушения процесса минерализации в костной ткани и отсутствие повреждения ацинарной части поджелудочной железы (см. табл. 1). Количество общего белка и мочевины на уровне нормы подтверждает сохранность белоксинтетической функции печени.

Снижения уровня общего белка и накопления мочевины и креатинина в плазме крови не обнаружили, что свидетельствует об отсутствии нарушения фильтрующей функции почек (см. табл. 1). После 30 инъекций ПОМ все исследованные биохимические показатели в плазме крови не отличались от таковых у интактной группы.

Семикратное введение компонентов ПОМ также сопровождалось увеличением содержания глюкозы и соотношения АСТ/АЛТ, но, в отличие от ПОМ, вызвало повышение активности АСТ, щелочной фосфатазы и содержания креатинина относительно контроля. Высокая суммарная активность ЩФ и превышающий уровень нормы коэффициент де Ритиса сохранялись к 30-м суткам эксперимента (см. табл. 1).

Как однократное введение, так и многократные введения ПОМ сопровождалось достоверным увеличением содержания гемоглобина в крови, количества эритроцитов, величины гематокрита, содержания гемоглобина в пересчете на один эритроцит (МСН) и концентрации гемоглобина в эритроцитах (МСНС) без изменения объёма эритроцитов (MCV) и их однородности (RDW) (табл. 2). Введение смеси компонентов ПОМ во все сроки эксперимента также способствовало увеличению МСН и МСНС, но содержание гемоглобина в крови и гематокрит оставались на уровне нормы, так как накопление гемоглобина в эритроцитах происходило без увеличения их количества. Различие действия ПОМ и дериватов ПОМ на показатели эритроцитов может быть связано с более эффективным проникновением наночастиц в

Таблица 2 / Table 2

Эритроцитарные показатели и количество тромбоцитов в крови крыс после внутримышечного введения ПОМ и составляющих компонентов ПОМ
Erythrocyte indices and the number of platelets in the blood of rats after intramuscular injection of polyoxometals and polyoxometals constituents

Показатель	Интактные	ПОМ			Компоненты ПОМ		
		сутки эксперимента					
		1	7	30	1	7	30
Гемоглобин, г/л	129,8 ± 3,3	151,6 ± 1,4*	155,0 ± 3,6*	152,0 ± 4,1*	129,3 ± 3,0 •	143,0 ± 1,5* •	138,7 ± 2,6 •
Эритроциты, млн/мкл	6,8 ± 0,2	8,54 ± 0,07*	8,06 ± 0,19*	8,25 ± 0,10*	6,60 ± 0,20 •	7,10 ± 0,30 •	7,10 ± 0,10 •
Гематокрит, %	36,8 ± 0,6	43,6 ± 0,4*	41,1 ± 1,0*	43,3 ± 0,8*	33,2 ± 1,1 •	35,8 ± 1,5 •	36,3 ± 0,9 •
MCV, фл	51,6 ± 1,5	51,1 ± 0,1	51,1 ± 0,1	50,7 ± 0,1	50,6 ± 0,3	50,7 ± 0,4	51,0 ± 0,9
MCH, пг	16,2 ± 0,2	19,8 ± 0,2*	19,2 ± 0,3*	19,1 ± 0,6*	19,7 ± 0,3*	20,3 ± 0,8*	19,4 ± 0,2*
MCHC, г/дл	34,5 ± 0,4	38,8 ± 0,4*	37,7 ± 0,6*	37,7 ± 1,1*	39,0 ± 0,8*	40,1 ± 1,5*	38,2 ± 0,5*
RDW, %	16,3 ± 0,2	16,3 ± 0,1	16,3 ± 0,2	16,8 ± 0,2	16,0 ± 0,5	16,0 ± 0,2	16,4 ± 0,4
Тромбоциты, тыс./мкл	602,0 ± 26,7	597,8 ± 25,7	654,2 ± 22,6	627,0 ± 114,0	631,3 ± 27,9	473,7 ± 41,7* •	592,3 ± 23,6

костный мозг по сравнению с оксидами железа, что подтверждается ранее проведенным исследованием влияния ПОМ на предшественников эритроцитов в костном мозге при геморрагической анемии [8].

Инъекции ПОМ не оказывали влияния на содержание тромбоцитов, в отличие от действия компонентов ПОМ, сопровождавшегося на 7-е сутки уменьшением показателя (см. табл. 2).

Однократная и семикратная инъекции ПОМ сопровождались уменьшением общего количества лейкоцитов и фракций лимфоцитов, гранулоцитов и средних клеток, содержащих преимущественно моноциты (табл. 3).

Причиной лейкопении на 1-е и 7-е сутки эксперимента, вероятно, является усиленное образование эритроцитов и гемоглобина, но к 30-м суткам происходит адаптация, и количество лейкоцитов и их фракций не отличается достоверно от показателей интактной группы. При действии компонентов ПОМ уменьшение количества лейкоцитов, лимфоцитов и средних клеток выражено в большей степени, чем при действии ПОМ, и лейкоцитарная формула не нормализуется к 30-м суткам. Не обнаруженное увеличение количества лейкоцитов и их фракций свидетельствует об отсутствии воспалительного процесса при действии ПОМ и компонентов ПОМ.

Таблица 3 / Table 3

Лейкоциты и их фракции в крови крыс после внутримышечного введения ПОМ и составляющих компонентов ПОМ
Leukocytes and their fractions in rat blood after intramuscular injection of polyoxometals and polyoxometals constituents

Показатель	Интактные	ПОМ			Компоненты ПОМ		
		сутки эксперимента					
		1	7	30	1	7	30
Лейкоциты, тысяч/мкл	13,04±0,60	6,2±0,5*	6,2±0,8*	9,3±1,7	4,67±0,42*	3,33±0,79* •	3,80±0,60* •
Лимфоциты, тысяч/мкл	8,95±0,97	4,54±0,41*	4,20±0,48*	6,20±1,10	2,47±0,35* •	1,93±0,54* •	2,40±0,51* •
Средние клетки, тысяч/мкл	2,13±0,47	0,58±0,07*	0,56±0,11*	1,10±0,30	0,37±0,22*	0,13±0,07* •	0,23±0,19* •
Гранулоциты, тысяч/мкл	1,96±0,39	1,08±0,08*	1,48±0,40*	2,00±0,40	1,83±0,37	1,27±0,23	1,17±0,30

Выводы

1. Токсическое действие ПОМ существенно ниже, чем действие отдельных компонентов ПОМ, не организованных в наночастицы.

2. Наиболее выраженные отклонения исследованных биохимических и гематологиче-

ских показателей от нормы наблюдаются при семикратном внутримышечном введении, к 30-м суткам происходит адаптация организма.

3. Внутримышечное введение ПОМ, в отличие от составляющих ПОМ компонентов, позволяет увеличить содержание гемоглобина и эритроцитов в крови и сопровождается менее выраженной лейкопенией.

ЛИТЕРАТУРА

(пп. 2–5, 8 см. в References)

1. Шурыгина И.А., Шурыгин М.Г. Перспективы применения наночастиц металлов для целей регенеративной медицины. *Сибирское медицинское обозрение*. 2018; 4: 31-7.
6. Зейналов О.А., Комбарова С.П., Багров Д.В., Петросян М.А., Толибова Г.Х., Феоданов А.В. и соавт. О влиянии наночастиц оксидов металлов на физиологию

живых организмов. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2018; 14(4): 42-51.

7. Остроушко А.А., Тонкушина М.О., Коротаев В.Ю., Прокофьева А.В., Кутяшев И.Б., Важенин В.А. и соавт. Стабильность полиоксометаллата Mo_2Fe_{30} со структурой типа букибола в растворах. *Журн. неорганической химии*. 2012; 57(9): 1292-5.

REFERENCES

1. Shurygina I.A., Shurygin M.G. Perspectives of metal nanoparticles application for the purposes of regenerative medicine. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie*. 2018; 4: 31-7. (in Russian)
2. Kadamattil A.V., Sajankila S.P., Prabhu S., Rao B.N., Rao B.S.S. Systemic toxicity and teratogenicity of copper oxide nanoparticles and copper sulfate. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2018; 18(4): 2394-404.
3. Åkerlund E., Cappellini F., Di Bucchianico S., Islam S., Skoglund S., Derr R. et al. Genotoxic and mutagenic properties of Ni and NiO nanoparticles investigated by comet assay, γ -H2AX staining, Hprt mutation assay and ToxTracker reporter cell lines. *Environ. Mol. Mutagen.* 2018; 59(3): 211-22.
4. Gette I.F., Danilova I.G., Tonkushina M.O., Ostroushko, A.A. The impact of iron-molybdenum polyoxometalates and a mixture of nanoparticle components on the content of nucleic acids and histone proteins in rat blood lymphocytes. *Nanotechnologies in Russia*. 2020; 15(2): 191-7.

5. Ostroushko A.A., Grzhegorzhevskii K.V., Medvedeva S.Y., Gette I.F., Tonkushina M.O., Gagarin I.D. et al. Physicochemical and biochemical properties of the Keplerate-type nanocluster polyoxomolybdates as promising components for biomedical use. *Nanosystems: physics, chemistry, mathematics*. 2021; 12 (1): 81-112.
6. Zeinalov O.A., Kombarova S.P., Bagrov D.V., Petrosian M.A., Tolibova G.Kh., Feofanov A.V. et al. About the influence of silver nanoparticles on living organisms' physiology. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii*. 2018; 14(4): 42-51. (In Russian)
7. Ostroushko A.A., Tonkushina M.O., Korotaev V.Ju., Prokofeva A.V. Kutiashev I.B. Vazhenin V.A. et al. Stability of polyoxometalate Mo_2Fe_{30} with a buckyball-type structure in solutions. *Zhurnal neorganicheskoi khimii*. 2012; 57(9): 1292-5. (in Russian)
8. Ostroushko A.A., Gette I.F., Brilliant S.A., Danilova I.G. Application of nanocluster iron-molybdenum polyoxometalates for correction of experimental posthemorrhagic anemia. *Nanotechnologies in Russia*. 2019; 14(3-4): 159-64.

ОБ АВТОРАХ:

Гетте Ирина Федоровна (Gette Irina Fedorovna), кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории Морфологии и биохимии, ФБГУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, 620041, г. Екатеринбург, i.goette@yandex.ru

Остроушко Александр Александрович (Ostroushko Aleksandr Aleksandrovich), доктор химических наук, профессор, зав. Отделом химического материаловедения НИИ физики и прикладной математики, ФGAOU ВО Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, alexander.ostroushko@urfu.ru

Данилова Ирина Георгиевна (Danilova Irina Georgievna), доктор биологических наук, доцент, зав. лабораторией Морфологии и биохимии, ФБГУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, 620041, г. Екатеринбург, ig-danilova@yandex.ru

Тонкушина Маргарита Олеговна (Tonkushina Margarita Olegovna), кандидат химических наук, научный сотрудник Отдела химического материаловедения, ФGAOU ВО Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, rita-zar@yandex.ru

