УДК544.77

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.4.5

КИНЕТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЗОЛЬ БРОМИДА СЕРЕБРА И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

© И. Е. Стась¹, С. С. Павлова^{2*}

¹Алтайский государственный университет
Россия, Алтайский край, 656049 г. Барнаул, пр. Ленина, 61.

²Югорский государственный университет
Россия, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, 628012 г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16.

Тел.: +7 (3467) 377 000.
Email: Pavlova_SS@mail.ru

Методом турбидиметрии изучено влияние электромагнитного поля ультравысоких частот на кинетическую устойчивость золь бромид серебра. Проведено сравнение эффективности воздействия поля непосредственно на золь и на воду, используемую для его приготовления. Показано, что воздействие поля на золь более эффективно – величина светопропускания облученного золь превышает светопропускание необлученного на 19–22%. При облучении воды светопропускание возрастает не более чем на 12%. Действие поля носит избирательный характер – максимальное изменение свойств и устойчивости золь независимо от способа воздействия наблюдается при облучении объекта полем частотой 100 МГц. Увеличение времени облучения и времени хранения воды после облучения приводит к нарастанию эффекта. При воздействии поля уменьшается средний радиус частиц дисперсной фазы, что приводит к повышению кинетической устойчивости золь.

Ключевые слова: золь, бромид серебра, электромагнитное поле, частота, кинетическая устойчивость, термодинамическая устойчивость.

Введение

Нанодисперсные системы с жидкой дисперсионной средой получают преимущественно методами химической конденсации, для чего применяют химические реакции почти всех известных типов: реакции обмена, восстановления, окисления, гидролиза и т.д. [1]. Основными условиями получения золь, независимо от применяемых методов синтеза, являются нерастворимость или достаточно малая растворимость дисперсной фазы в дисперсионной среде. Формирование кристалликов дисперсной фазы при конденсационном получении золь протекает в две стадии. На первой стадии в пересыщенных растворах образуются кристаллические зародыши (флуктуационный механизм). Вторая стадия заключается в их росте. Соотношение скоростей указанных процессов определяет тип образующейся системы: мелкие кристаллы остаются во взвешенном состоянии – образуется золь, крупные кристаллы выпадают в осадок [2–3]. Направленное регулирование скорости образования зародышей и их роста позволяет влиять на кинетическую устойчивость дисперсных систем и на их разрушение [4–5].

Устойчивость дисперсных систем представляет главную проблему коллоидной химии. Создание устойчивых свобододисперсных систем необходимо при получении из них различных изделий, связующих материалов, лекарственных средств, в т.ч. аэрозольных и т.д. Устранение устойчивости необходимо для того, чтобы вызвать структурообразование в материалах, для получения осадков при разделении фаз, очистки промышленных выбросов и т.д. [3]. Поэтому

возможность управления устойчивостью дисперсных систем, например, путем воздействия физическим полем, является актуальной задачей. Исследования по влиянию магнитного и электромагнитного полей на свойства и устойчивость дисперсных систем различной природы весьма многочисленны [6–17].

В предыдущих работах нами было установлено изменение физико-химических свойств гидрофобных золь и повышение их термодинамической и кинетической устойчивости при воздействии на них электромагнитного поля (ЭМП) ультравысоких частот (30–200 МГц) [18–25]. При этом воздействию поля подвергались свежеприготовленные дисперсные системы. Представляло интерес сравнить, что является более эффективным с точки зрения получения устойчивых золь – облучение воды, используемой для их приготовления, или самих золь. В качестве объекта исследования был выбран золь AgBr, т.к. ранее было установлено, что при воздействии на него ЭМП формируются более мелкие частицы дисперсной фазы, повышается порог электролитной коагуляции [14].

Экспериментальная часть

Очистку воды проводили на мембранном дистилляторе ДМЭ-1/Б (удельная электропроводность воды $\kappa = 1.0$ мкСм/см). Электромагнитную обработку воды осуществляли с помощью генератора высокочастотных (ВЧ) сигналов ГЗ-19А, позволяющего варьировать частоту поля в диапазоне 30–200 МГц. Выходная мощность генератора –

1 Вт, напряжение на ВЧ-электродах – 20–22 В. В работе использована стеклянная ячейка емкостного типа объемом 140 мл с аксиально расположенными электродами. Частоту ЭМП варьировали в указанном диапазоне с шагом 10–20 МГц. Время воздействия поля заданной частоты – от 1 до 3-х ч.

Золи бромида серебра получали по реакции:

Для приготовления золь к 50 мл необлученной или облученной ЭМП заданной частоты воды добавляли 5 мл 0.1 М раствора KBr и при непрерывном перемешивании постепенно добавляли определенный объем 0.1 М раствора AgNO₃. Концентрацию золя рассчитывали, исходя из 100% выхода AgBr. Строение мицеллы в данном случае может быть представлено следующей схемой:

Контроль за кинетикой образования и разрушения золь осуществляли с помощью измерения пропускания света в разные моменты времени после их приготовления на фотоэлектроколориметре КФК-2 при $\lambda = 750$ нм и длине кюветы 5.0 см.

Обсуждение результатов

Были приготовлены золи бромида серебра различной концентрации (0.02; 0.03 и 0.1%). Начальные значения светопропускания (Т, %) составили соответственно 84 ± 2 ; 78 ± 3 и $58 \pm 1\%$. Со временем пропускание света золями снижается, причем в более концентрированных системах процесс протекает быстрее из-за более частых столкновений частиц. В табл. 1 приведены значения скорости роста кристаллических зародышей дисперсной фазы, найденные из наклона кинетических кривых в координатах Т, % – время.

Таблица 1

Скорость роста кристаллических зародышей AgBr ($\Delta T/\Delta t$) в зависимости от концентрации золя	
Концентрация AgBr, %	($\Delta T/\Delta t$)
0.02	0.24 ± 0.04
0.03	0.41 ± 0.06
0.1	0.84 ± 0.03

Для дальнейших исследований была выбрана самая низкая из рассмотренных концентрация золя, чтобы можно было наблюдать за развитием процессов, протекающих в дисперсной системе, во времени.

Проведены исследования по воздействию ЭМП различной частоты на 0.02% золи AgBr. Для этого свежеприготовленный золь делили на две части. Одну часть облучали ЭМП заданной частоты, другую часть использовали для сравнения. Об-

лучали золь в течение 30 мин полем заданной частоты и измеряли его светопропускание (Т, %), а также светопропускание необлученного золя. Измерения повторяли каждые 30 мин на протяжении 2.5 ч. Было показано, что Т, % облученных золь выше, чем у контрольных образцов. Со временем оно снижается, но для облученных систем процесс протекает медленнее. Величина ΔT , % зависит от частоты ЭМП. Наибольшая разница в светопропускании достигается в результате воздействия поля частотой 100 МГц и составляет 19–22% (рис. 1). При воздействии поля других частот величина ΔT , % не превышает 3–5%.

Рис. 1. Изменение во времени светопропускания необлученного и облученного ЭМП полем $f = 100$ МГц золя AgBr ($C = 0.02\%$).

Представляло интерес сравнить, что является более эффективным – облучение золя или облучение воды, которая используется затем для приготовления золя. Ранее на примере золя AgI было показано, что максимальный эффект достигается не при облучении золя, а при использовании облученной ЭМП частотой 180 МГц воды [16].

Об эффективности полевого воздействия на воду судили по изменению ее удельной электропроводности κ . Установлено повышение электропроводности воды во всем исследованном диапазоне частот. Наибольшее увеличение κ наблюдается в результате воздействия поля частотой 100, 110 и 150 МГц и составило 5.0, 5.0 и 6.7 раз соответственно (табл. 2).

Далее были приготовлены золи AgBr с концентрацией $C = 0.02\%$ на необлученной ($f = 0$) и облученной электромагнитным полем деионизованной воде ($f = 30$ –190 МГц). Светопропускание свежеприготовленных золь, полученных с помощью воды, подвергшейся электромагнитной обработке, отличается от светопропускания контрольных образцов.

Таблица 2

Зависимость удельной электропроводности воды от частоты ЭМ поля (время облучения воды – 3 ч)

f, МГц	0	30	50	70	90	100	110	130	150	170	190
κ , мкСм/см	1.0	1.6	1.4	2.7	2.7	5.0	5.0	4.5	6.7	2.2	3.1

Рис. 2. Изменение светопропускания 0.02% золя AgBr в зависимости от частоты электромагнитного поля ($f = 30\text{--}190$ МГц).

Для частот 50, 70, 170 и 190 МГц наблюдаются более низкие по сравнению с контрольными образцами значения светопропускания ($\Delta T_{\text{нач}} = 3\text{--}4\%$). Для остальных частот зафиксированы более высокие значения T , %, что свидетельствует о том, что в воде, подвергшейся электромагнитной обработке данных частот, формируются более мелкие кри-

сталлики дисперсной фазы. Причиной данного явления может быть снижение растворимости AgBr в облученной воде. Зависимость начальной величины светопропускания золей от частоты поля представлена на рис. 2. Из данной зависимости можно сделать вывод, что самые мелкие частицы AgBr образуются в воде, облученной ЭМП частотой 100 МГц ($\Delta T_{\text{нач}} = 7 \pm 2\%$).

Получены кинетические кривые светопропускания золей, приготовленных на необлученной и облученной воде. Со временем во всех изученных системах наблюдается снижение пропускания света (рис. 3), что свидетельствует о постепенном укрупнении частиц дисперсной фазы. Скорость роста частиц в облученной воде несколько замедляется для частот 100 и 110 МГц – конечная величина ΔT , % возрастает до 10–11%. Для частоты 150 МГц различия в кинетических кривых выражены незначительно (рис. 3 в), а для частоты 170 МГц практически отсутствуют (рис. 3 г). Таким образом, можно говорить об избирательности действия электромагнитного поля.

Рис. 3. Изменение во времени светопропускания золей AgBr ($C = 0.02\%$), приготовленных на необлученной воде (контрольный образец) и воде, облученной ЭМП частотой а) 100 МГц; б) 110 МГц; в) 150 МГц; г) 170 МГц.

Таблица 3

Средний размер частиц золя AgBr в зависимости от частоты электромагнитного поля через час после приготовления

f, МГц	0	90	100	110	130	150	170
r, нм	46 ± 2	32 ± 2	23 ± 4	25 ± 3	37 ± 2	41 ± 3	45 ± 4

Сравнивая полученные результаты, можно отметить, что, независимо от способа воздействия (облучение воды или золя), максимальное увеличение пропускания света золем AgBr наблюдается при частоте 100 МГц. Однако воздействие ЭМП непосредственно на золь оказалось значительно эффективнее.

Сразу после приготовления золя AgBr подчиняются уравнению Релея [3], т.е. имеют радиус частиц менее 20 нм. Со временем частицы золя укрупняются. В этом случае возможно определение размера частиц по уравнению Геллера [1]. В табл. 3 приведены рассчитанные по методу Геллера средние радиусы частиц AgBr. Для золя, приготовленного на воде, облученной полем частотой 100 МГц, частицы имеют радиус в 2.0 раза меньше по сравнению с необлученным золем.

Экспериментально установлено, что эффективность электромагнитного воздействия на любой объект зависит не только от частоты поля, но и от времени. С его увеличением изменение измеряемого свойства нарастает до определенного предела. Дальнейшее облучение не приводит к возрастанию эффекта [13]. В данном эксперименте также наблюдалась подобная картина – 3-часовое облучение воды приводит к более выраженному увеличению начального значения светопропускания золя по сравнению с 1–2-часовым облучением (рис. 4). Величина $\Delta T_{\max}$ также возрастает.

Рис. 4. Изменение светопропускания 0.02% золя AgBr в зависимости от времени воздействия электромагнитного поля на воду и времени после облучения воды ($f = 100$ МГц).

Впервые установлено, что эффективность электромагнитного воздействия возрастает не только со временем облучения воды, но и зависит от времени, прошедшего после ее облучения (рис. 4). Эксперимент проводили следующим образом. Облучали воду ЭМП частотой 100 МГц в течение 1, 2 и 3-х ч. Отбирали необходимый объем воды для приготовления золей и определяли их светопропускание. Через неделю из очередной порции ранее облученной воды снова готовили золь и определяли его светопропускание. Аналогичные эксперименты

проводили на протяжении 3–4-х недель. Светопропускание золей, приготовленных с использованием воды, хранившейся после облучения в течение 4-х недель, отличалось от контрольных образцов в гораздо большей степени ($\Delta T = 12\%$). Т.е. за время хранения вода не только не утрачивает свои измененные свойства, но в ней происходят дальнейшие процессы изменения структурной организации, что визуализируется в оптических свойствах золя.

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что в результате воздействия ЭМП частотой 100 МГц повышается кинетическая устойчивость золя AgBr, что обусловлено формированием более мелких частиц дисперсной фазы. Данное явление может быть обусловлено снижением растворимости соли в результате реорганизации структуры водной среды. Наибольшего эффекта можно достичь, оказывая воздействие непосредственно на золь, а не на воду. При этом для достижения заметного результата требуется гораздо меньше времени (30 мин), тогда как при облучении воды достоверно определяемое различие в светопропускании исследуемого золя и контрольного образца наблюдается при 3-х часовом воздействии поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Улитин М. В., Филиппов Д. В., Лукин. М. В. Физико-химические свойства, устойчивость и коагуляция лиофильных дисперсных систем // Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2007. 108 с.
2. Гаева Г. Л. Теория образования и роста кристаллических галогенидов серебра // Монография. Л.: ЛИКИ, 1985. 100 с.
3. Гельфман М. И., Ковалевич О. В., Юстратов В. П., Коллоидная химия. СПб.: Лань, 2010. 336 с.
4. Савицкая Т. А. Строение двойного электрического слоя, получение и устойчивость дисперсных систем // Коллоидная химия: учеб. пособие. Минск: БГУ, 2013. 76 с.
5. Зонтаг Г. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. Л.: «Химия», 1973. 252 с.
6. Крупнова Т. Г., Ракова О. В. Действие внешних силовых полей на неорганические дисперсные системы (обзор) // Исследования в области естественных наук, 2014. №2(26). С. 5.
7. Забулонов Ю. Л., Кадошников В. М., Литвиненко Ю. Л. О влиянии электромагнитного поля на устойчивость коллоидов на примере гидроксида железа // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища, 2009. №17. С. 63–66.
8. Галимов Р. А. Влияние внешних воздействий на размеры частиц нефтяных дисперсных систем // Известия Томского политех. ун-та, 2015. Т. 18. №4. С. 120–124.
9. Лесин С. В., Лесин В. И. Механизм влияния переменного электромагнитного поля на нефтяные дисперсные системы // Наногетерогенный катализ, 2018. Т. 3. №1. С. 36–39.
10. Саркисов Ю. С., Сафронов В. Н., Кутаевская С. А. Влияние магнитного поля на свойства дисперсных систем // Известия вузов. Строительство. 2015. №7. С. 111–117.
11. Kim H. Y., Kim H. C., Moravec P., Smolik J. Influence of Electromagnetic Radiation on Transfer Processes in Disperse Systems // Heat Transfer Research. 2003. Vol 34. №1. P. 101–107.
12. Ганиев Р. Ф., Булычев Н. А., Фомин В. Н., Арутюнов И. А., Eisenbach C. D., Зубов В. П. Влияние механоактивации на процесс модификации поверхности в водных дисперсных системах пигментов // Доклады академии наук. 2006. №4(407). С. 35–43.

13. Забулонов Ю. Л., Кадошников В. М., Литвиненко Ю. Л. О влиянии электромагнитного поля на устойчивость коллоидов на примере гидроксида железа // *Збірник наук о вихпраць Інституту геохімії навколишнього середовища*. 2009. №17. С. 63–66.
14. Галимов Р. А. Влияние внешних воздействий на размеры частиц нефтяных дисперсных систем // *Известия Томского политех. ун-та*. 2015. Т. 18. №4. С.120–124.
15. Комаров В. С. Влияние продолжительности действия электрического поля на структуру полученных адсорбентов // *Журнал прикладной химии*. 1995. Т. 68. №5. С. 854–856.
16. Комаров В. С. Усиление коалесценции капель жидкости под действием электрического поля // *Весці АН Беларусі. Сер. хім. н.* 1995. №3. С. 18–22.
17. Грушко И. М., Бирюков В. А., Селиванов И. И., Киселев И. Ф. Исследование влияния параметров комплексной химической и электрофизической активации на прочность цементного камня // *Изв. вузов. Стр-во и архитект.* 1986. №2. С. 44–48.
18. Стась И. Е., Репейкова Л. Ю. Физико-химические закономерности эволюции коллоидных наносистем в жидкой дисперсионной среде под влиянием электромагнитных полей. Барнаул: АлтГУ, 2013. 100 с.
19. Стась И. Е., Свиридова И. А., Чиркова В. Ю. Влияние природы аниона и электромагнитного поля на устойчивость золей галогенидов серебра // *Известия АлтГУ*. 2014. №3(2). С. 187–191.
20. Репейкова Л. Ю., Стась И. Е. Исследование влияния электромагнитного поля на оптические свойства и устойчивость золей гидроксида алюминия // *Известия АлтГУ*. 2011. №3(1). С. 194–195.
21. Стась И. Е., Бауэр Г. М., Михайлова О. П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на устойчивость гидрофобных золей // *Матер. IX Междунар. конф. «Физико-химические процессы в неорганических материалах» (ФХП-10)*. Кемерово. 2004. Т. 1. С. 629–631.
22. Стась И. Е., Бессонова А. П. Влияние электромагнитного поля радиочастотного диапазона на физико-химические свойства золей гидроксида железа // *Мат-лы X Междунар. конф. «Физико-химические процессы в неорганических материалах» (ФХП-10)*. Кемерово. 2007. Т. 1. С. 269–271.
23. Стась И. Е., Шипунов Б. П., Репейкова Л. Ю. Изменение размера и формы частиц гидрофобных золей в результате воздействия низкочастотного электромагнитного поля // *Тез. докл. Первой междунар. конф. «Развитие нанотехнологий: задачи международных и региональных научно-образовательных и научно-производственных центров»*. Барнаул. 2012. С. 213–215.
24. Стась И. Е., Шипунов Б. П., Михайлова О. П. Воздействие высокочастотного электромагнитного поля на процессы мицеллообразования в растворах поверхностно-активных веществ // *Известия АлтГУ*. №3(2). 2013. С. 74–79.
25. Stas I. Ye. The effect of the electromagnetic field on the stability of silver iodide sol // *Bulletin of Karaganda State University. Ser. Chemistry*, 2018. № 3(91). Pp. 84–91.

Поступила в редакцию 24.05.2021 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.4.5

**KINETIC STABILITY OF SILVER BROMIDE SOL AND ITS CHANGE
AS A RESULT OF EXPOSURE TO AN ELECTROMAGNETIC FIELD**© I. E. Stas¹, S. S. Pavlova^{2*}¹*Altai State University**61 Lenin Avenue, 656049 Barnaul, Altai Krai, Russia.*²*Yugra State University**16 Chekhov Street, 628012 Khanty-Mansiysk, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia.**Phone: +7 (3467) 37 70 00.***Email: pavlova_ss@mail.ru*

The influence of the electromagnetic field of ultrahigh frequencies on the kinetic stability of silver bromide sols was studied by the method of turbidimetry. The kinetics of the nuclei formation of a new phase in unirradiated sols and in sols irradiated by electromagnetic field of various frequencies (frequency range of 30–200 MHz) for 30 min was studied. Water exposed to the field is characterized by higher values of electrical conductivity, depending on its frequency. The maximum increase in the electrical conductivity of water is observed for frequencies of 100–150 MHz and is 5.0–6.7 times with an exposure time of 3 hours. Comparison of the effectiveness of the field action directly on the sol and on the water used for its preparation was made. It is shown that the effect of the field on the sol is more effective – the light transmission of the irradiated sol exceeds the light transmission of the unirradiated one by 19–22%. When water is irradiated, light transmission increases by no more than 12%. The field action is selective – the maximum change in the properties and stability of the sol, regardless of the exposure method, is observed when the object is irradiated with a field of 100 MHz. An increase in the irradiation time and the storage time of water after irradiation leads to an increase in the effect. As a result of the field action, the average radius of the particles of the dispersed phase decreases by half, which leads to an increase in the kinetic stability of the sols.

Keywords: sol, silver bromide, electromagnetic field, frequency, kinetic stability, thermodynamic stability.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Ulitin M. V., Filippov D. V., Lukin. M. V. Ivanovo: Ivan. gos. khim.-tekhnol. un-t. 2007.
2. Gaeva G. L. Monografiya. Leningrad: LIKI, 1985.
3. Gel'fman M. I., Kovalevich O. V., Yustratov V. P., Kolloidnaya khimiya [Colloidal chemistry]. Saint Petersburg: Lan', 2010.
4. Savitskaya T. A. Kolloidnaya khimiya: ucheb. posobie. Minsk: BGU, 2013.
5. Sontag G. Koagulyatsiya i ustoichivost' dispersnykh system [Coagulation and stability of dispersed systems]. Leningrad: «Khimiya», 1973.
6. Krupnova T. G., Rakova O. V. Issledovaniya v oblasti estestvennykh nauk, 2014. No. 2(26). Pp. 5.
7. Zabulonov Yu. L., Kadoshnikov V. M., Litvinenko Yu. L. Zbirnik naukovikh prats' Institutu geokhimiï navkolishn'ogo seredovishcha, 2009. No. 17. Pp. 63–66.
8. Galimov R. A. Izvestiya Tomskogo politekh. un-ta, 2015. Vol. 18. No. 4. Pp. 120–124.
9. Lesin S. V., Lesin V. I. Nanoeterogennyi kataliz, 2018. Vol. 3. No. 1. Pp. 36–39.
10. Sarkisov Yu. S., Safronov V. N., Kugaevskaya S. A. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2015. No. 7. Pp. 111–117.
11. Kim H. Y., Kim H. C., Moravec P., Smolik J. Heat Transfer Research. 2003. Vol. 34. No. 1. Pp. 101–107.
12. Ganiev R. F., Bulychev N. A., Fomin V. N., Arutyunov I. A., Eisenbach C. D., Zubov V. P. Doklady akademii nauk. 2006. No. 4(407). Pp. 35–43.
13. Zabulonov Yu. L., Kadoshnikov V. M., Litvinenko Yu. L. Zbirnik nauk o vikhprats' Institutu geokhimiï navkolishn'ogo seredovishcha, 2009. No. 17. Pp. 63–66.
14. Galimov R. A. Izvestiya Tomskogo politekh. un-ta. 2015. Vol. 18. No. 4. Pp. 120–124.
15. Komarov V. S. Zhurnal prikladnoi khimii. 1995. Vol. 68. No. 5. Pp. 854–856.
16. Komarov V. S. Vestsi AN Belarusi. Ser.khim. n. 1995. No. 3. Pp. 18–22.
17. Grushko I. M., Biryukov V. A., Selivanov I. I., Kiselev I. F. Izv. vuzov. Str-vo i arkhitekt. 1986. No. 2. Pp. 44–48.

18. Stas' I. E., Repeikova L. Yu. Fiziko-khimicheskie zakonomernosti evolyutsii kolloidnykh nanosistem v zhidkoi dispersionnoi srede pod vliyaniem elektromagnitnykh polei [Physicochemical laws of the evolution of colloidal nanosystems in a liquid dispersion medium under the influence of electromagnetic fields]. Barnaul: AltGU, 2013.
19. Stas' I. E., Sviridova I. A., Chirkova V. Yu. Izvestiya AltGU. 2014. No. 3(2). Pp. 187–191.
20. Repeikova L. Yu., Stas' I. E. Izvestiya AltGU. 2011. No. 3(1). Pp. 194–195.
21. Stas' I. E., Bauer G. M., Mikhailova O. P. Mater. IX Mezhdunar. konf. «Fiziko-khimicheskie protsessy v neorganicheskikh materialakh» (FKhP-10). Kemerovo. 2004. Vol. 1. Pp. 629–631.
22. Stas' I. E., Bessonova A. P. Mat-ly Kh Mezhdunar. konf. «Fiziko-khimicheskie protsessy v neorganicheskikh materialakh» (FKhP-10). Kemerovo. 2007. Vol. 1. Pp. 269–271.
23. Stas' I. E., Shipunov B. P., Repeikova L. Yu. Tez. dokl. Pervoi mezhdunar. konf. «Razvitie nanotekhnologii: zadachi mezhdunarodnykh i regional'nykh nauchno-obrazovatel'nykh i nauchno-proizvodstvennykh tsentrov». Barnaul. 2012. Pp. 213–215.
24. Stas' I. E., Shipunov B. P., Mikhailova O. P. IzvestiyaAltGU. No. 3(2). 2013. Pp. 74–79.
25. Stas I. Ye. The effect of the electromagnetic field on the stability of silver iodide sol. Bulletin of Karaganda State University. Ser. Chemistry, 2018. No. 3(91). Pp. 84–91.

Received 24.05.2021.