

УДК 544.77-022.532

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА С ПОЛИМЕРНЫМ ЯДРОМ

Горчев В.Ф.<sup>1</sup>, Чунихин А.Ю.<sup>1</sup>, Дидикин Г.Г.<sup>2</sup>, Литвин С.Е.<sup>2</sup>, Андрусихина И.Н.<sup>3\*</sup>, Ковинский И.С.<sup>2</sup>, Романенко С.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биохимии им. А.В. Палладина Национальной академии наук Украины  
ул. Леонтовича, 9, Киев, 01601, Украина

<sup>2</sup> Институт электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины  
ул. Горького, 68, Киев, 03150, Украина

<sup>3</sup> ГУ «Институт медицины труда Национальной академии медицинских наук Украины»,  
ул. Саксаганского, 75, Киев, 01033, Украина

Показана возможность получения нанокompозита с регулируемым размером частиц на примере покрытия серебра на порошках поливинилпирролидона (ПВП) посредством использования технологии электронно-лучевого осаждения. Определено влияние таких параметров как время, концентрация серебра и молекулярная масса ПВП на стабильность коллоидной системы, полученной растворением нанокompозита в воде. Изучена структура гетерогенной коллоидной системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O с помощью методов электронной микроскопии и спектральных (фотон-корреляционной спектроскопии (ФКС) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП)) методов. Получены седиментационно-устойчивые коллоидные системы ультрадисперсных частиц серебра, пригодные для применения в медицине и сельском хозяйстве.

### ВВЕДЕНИЕ

Интерес к изучению наноразмерных частиц, проявляемый в последние годы, связан с тем, что у частиц нанометровых размеров обнаружены особые механические, оптические, электрические и магнитные свойства, отличные от свойств обычных макрочастиц [1–8]. Исследования, проводимые в течение последних десяти лет, показали высокую эффективность применения коллоидных растворов наноразмерных частиц биологически активных металлов в медицине, биологии, ветеринарии и сельском хозяйстве [2–4, 6–10]. В числе наноматериалов, которые производятся отечественной промышленностью, особое внимание привлекают препараты наночастиц (НЧ) биоцидных металлов как альтернатива традиционным антимикробным, противогрибковым и дезинфицирующим средствам. НЧ металлов уже используются как маркеры в диагностике и лечении различных (в том числе онкологических) заболеваний, в иммунохимических методах, при создании искусственных костных имплантов, для повышения

эффективности и уменьшения побочных эффектов в радиотерапии опухолей, в генной инженерии, в качестве сорбентов, стимуляторов роста растений, входят в состав минеральных удобрений [2, 6, 9, 20]. При этом актуален поиск органических коллоидных дисперсий, стабилизированных поверхностно-активными веществами (ПАВ), пригодных для применения в медицине, и обеспечение их химической и агрегативной стабильности в процессе синтеза и последующем использовании.

Одним из перспективных направлений в технологии получения металлических порошков, наночастиц металлов, их оксидов являются процессы электронно-лучевого испарения металлов в вакууме и конденсации их паров на подложке (ЕВ-PVD) с образованием частиц требуемой дисперсности [11]. Нанокompозит металла получают в процессе электронно-лучевого вакуумного испарения серебра и осаждения (ЕВ-PVD) его парового потока в виде наночастиц в материале носителя.

Целью настоящего исследования было получение коллоидной системы, состоящей из

\*контактный автор [irina\\_andrei@voliacable.com](mailto:irina_andrei@voliacable.com)  
ХФТП 2013. Т. 4. № 4

металлической частицы (серебра) и полимерной матрицы и изучение параметров стабильности дисперсной системы – времени, концентрации серебра и молекулярной массы матрицы.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для синтеза нанокompозита использовали полимеры Пласдон® (ПВП) из серии синтетических гомополимеров. Эти полимеры обладают поверхностно-активными свойствами, растворимы в воде при комнатной температуре. Гидрофобный/гидрофильный баланс полимера делает его растворимым во многих органических растворителях при комнатной температуре [5, 6]. Данный полимер совместим с широким спектром веществ, о чем свидетельствует его толерантность к изменению уровня pH и солям. Это предполагает отсутствие взаимодействия его с ионными активными лекарственными веществами и их солями. В медицине ПВП используется в роли как вспомогательного, так и активного фармацевтического ингредиента. В частности, как заменитель плазмы используют 3–5 %-ные растворы ПВП с м.м. от 25 000 до 40 000.

Использованные в работе полимеры производятся с различными молекулярными массами. При этом число K является функцией среднего уровня полимеризации и характеристической вязкости полимера (таблица 1).

**Таблица 1.** Полимеры Пласдон® с различным молекулярным весом и числом K

Полимер	Число K	Среднемассовая молекулярная масса, м.м.
Пласдон® K-15	15.5–17.5	8 000
Пласдон® K-17	16–17.5	10 000
Пласдон® K-25	24–26	34 000

Исходными материалами для получения нанокompозитов служили полимеры ПВП K-15, ПВП K-17 и ПВП K-25. Средний размер их гранул составлял 30, 30 и 200 мкм K-25 соответственно. Вторым компонентом было серебро.

Схема получения нанокompозита ПВП–Ag включала: испарение серебра, формирование его направленного атомно-молекулярного потока и последующее осаждение в виде наноразмерного покрытия на гранулы ПВП. Детально этот процесс описан в [11].

Полученные нанокompозиты ПВП–Ag использовали для приготовления водных коллоидных систем.

Морфологию покрытия серебра на гранулах ПВП исследовали с помощью растрового электронного микроскопа TEScan (ТЭМ). Статистический анализ и обработку полученных изображений микроструктуры проводили с помощью специализированного комплекса программ компьютерного анализа изображений «Media cybernetics image analysis program» Image-Pro Plus version 6.0.

Распределение частиц по размеру в коллоидных системах ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O определяли методом фотон-корреляционной спектроскопии (ФКС) [12, 13] на лазерном корреляционном спектрометре “Zeta Sizer-3” (Malvern, Великобритания).

Концентрацию серебра определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) на приборе Optima 2 100 DV фирмы Perkin Elmer (США) в соответствии с методами [14, 15]. Методом трансмиссионной электронной микроскопии в режиме на просвет были исследованы осадки, полученные после удаления ПВП и воды из коллоида ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O.

Математическую обработку полученных результатов осуществляли, используя методы вариационной статистики, с помощью программ статистического анализа Microsoft Excel [16].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Характеристика коллоидных водных растворов ПВП–H<sub>2</sub>O.** Традиционно в медицине, как заменители плазмы, используются препараты на основе ПВП с молекулярной массой не ниже 20 000–25 000 и не выше 40 000 [4, 10, 17]. Поливинилпирролидон с водой образует коллоидные растворы, которые содержат стабильную во времени смесь молекул и их ассоциатов. Размер молекулярных и бимолекулярных комплексов (для удобства назовём их частицами) составляет от 4–6 нм до сотен и тысяч нанометров, если в растворе образуются полимолекулярные ассоциаты.

При исследовании методом ФКС интенсивность рассеивания света на ПВП–H<sub>2</sub>O примерно в 100 раз меньше, чем в растворах, содержащих наночастицы серебра. Поэтому вклад ПВП в распределение наночастиц в

коллоидных системах ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O выражен незначительно.

Важно было оценить вклад ПВП в распределение наночастиц при различной его концентрации в водном растворе. Был приготовлен 5 %-ный водный раствор ПВП (м.м. 34 000) на водяной бане при температуре 45 °С в режиме ламинарного перемешивания в течение 15 мин. Эти условия позволяют сохранить вязкость полученного раствора ПВП.

Средний размер частиц в дисперсной системе изменялся во времени в диапазоне от 7.6±0.15 до 4.6±0.09 нм (рис. 1); масса составляет 99.9 % от общей массы частиц. Минимум размера частиц ПВП наблюдался между 3 и 6 сутками, когда устанавливалось динамическое равновесие частиц в коллоидной системе.

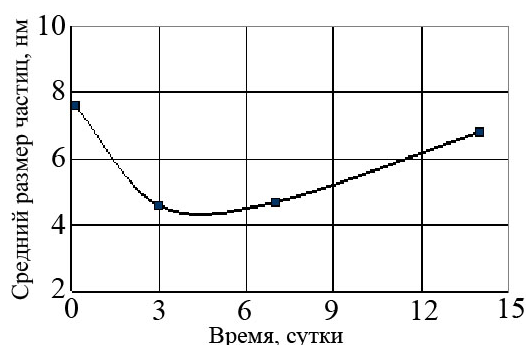


Рис. 1. Зависимость размера частиц в 5 %-м водном растворе ПВП (м.м. 34 000) от времени наблюдения

Как видно из рис. 2, при увеличении концентрации ПВП в растворе средний размер частиц уменьшается, что вероятно обусловлено увеличением вязкости полученного модельного раствора.

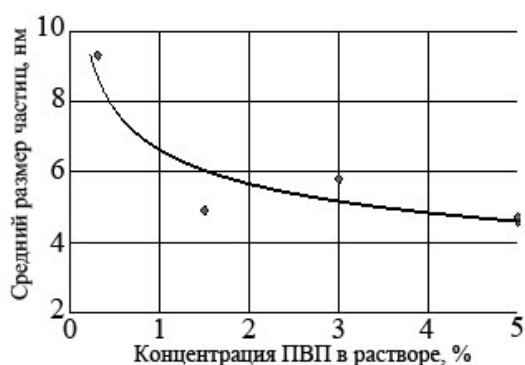


Рис. 2. Зависимость размера частиц в водном растворе от концентрации ПВП (м.м. 34 000)

Рис. 3 показывает, что 1.5 %-й раствор ПВП (м.м. 8 000) содержал стабильную во времени смесь молекул и ассоциатов. Размер частиц составил от 4.0±0.10 нм до 6.0±0.12 нм, а масса 99.5 % общей массы. Полимолекулярные ассоциаты, образующиеся в растворе, имели размер от 200 до 8000 нм, средний размер около 2500 нм, а масса их около 0.5 % общей массы. В то же время 1.5 %-й раствор ПВП (м.м. 34 000) содержал молекулярные и бимолекулярные комплексы размером от 4.0±0.08 нм до 14.0±0.30 нм, их масса составила 99.9 % общей массы. Более крупные комплексы, образующиеся в растворе, имели средний размер около 830 нм.

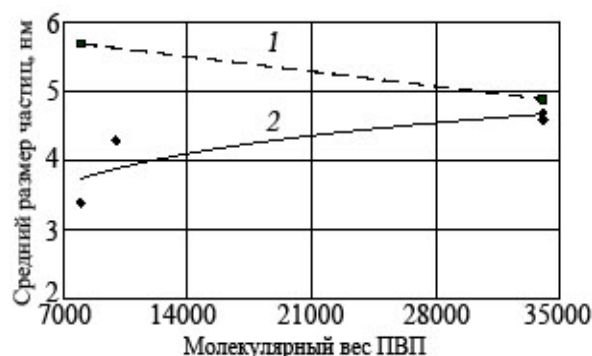


Рис. 3. Зависимость среднего размера частиц в водных растворах ПВП от м.м. ПВП: 1–1.5 % ПВП; 2–5 % ПВП

5 %-й раствор ПВП (м.м. 8 000) содержал комплексы размером около 3.4±0.07 нм. В 5 %-м растворе ПВП (м.м. 10 000) размер мелких комплексов был около 4.3±0.08 нм. Более крупные комплексы размером от 300 до 1300 нм составляли около 0.1 % общей массы. 5 %-й раствор ПВП (м.м. 34 000) был стабилен во времени и содержал две фракции молекулярных комплексов: первая имела размеры от 2.0±0.04 до 60.0±1.20 нм, их средний размер 4.6±0.09 нм, вторая – от 300 до 1500 нм, при этом средний размер 730 нм, а ее масса 0.1 % общей массы. Таким образом, водные растворы ПВП содержали, в основном, стабильную во времени смесь молекулярных и бимолекулярных комплексов размером от 4 до 6 нм.

**Общая характеристика коллоидных систем ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O методом ТЭМ.** Общеизвестной особенностью НЧ, полученных как физическим, так и химическим методом, является их склонность к объединению в агрегаты, поэтому необходимо учитывать не

только размеры отдельных НЧ, но и размеры их объединений. Как видно из рис. 4 а, серебро нанесено довольно равномерно. На гистограмме (рис. 4 б) представлено распределение по размерам отдельных островков покрытия, которые имеют размер от 4 до 40 нм. При этом средний их размер составлял  $15 \pm 0.30$  нм.

С помощью метода ТЭМ был исследован осадок полученной коллоидной системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O. Было установлено, что в осадке присутствуют частицы серебра (рис. 5 а),

которые имели размер от 5 до 100 нм. Представленная на гистограмме (рис. 5 б) зависимость распределения по размерам частиц показывает, что они имеют две фракции. Для удобства назовём их фракцией мелких частиц (диапазон размеров частиц от 5–8 до 40–60 нм) и фракцией крупных частиц или их агломератов (от 200 нм). В ряде исследованных коллоидных систем фракция крупных частиц составляла менее 0.1 % от всей массы частиц.

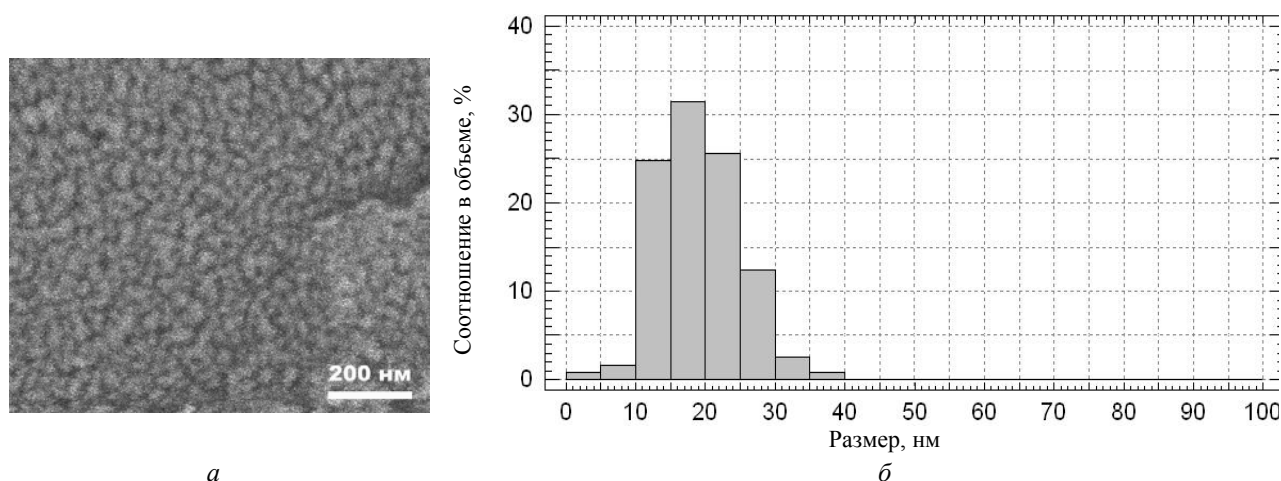


Рис. 4. Распределение наночастиц серебра на поверхности порошка ПВП: структура серебряного покрытия на поверхности порошка ПВП (ув. 150 000) (а), гистограмма распределения частиц по размерам (б)

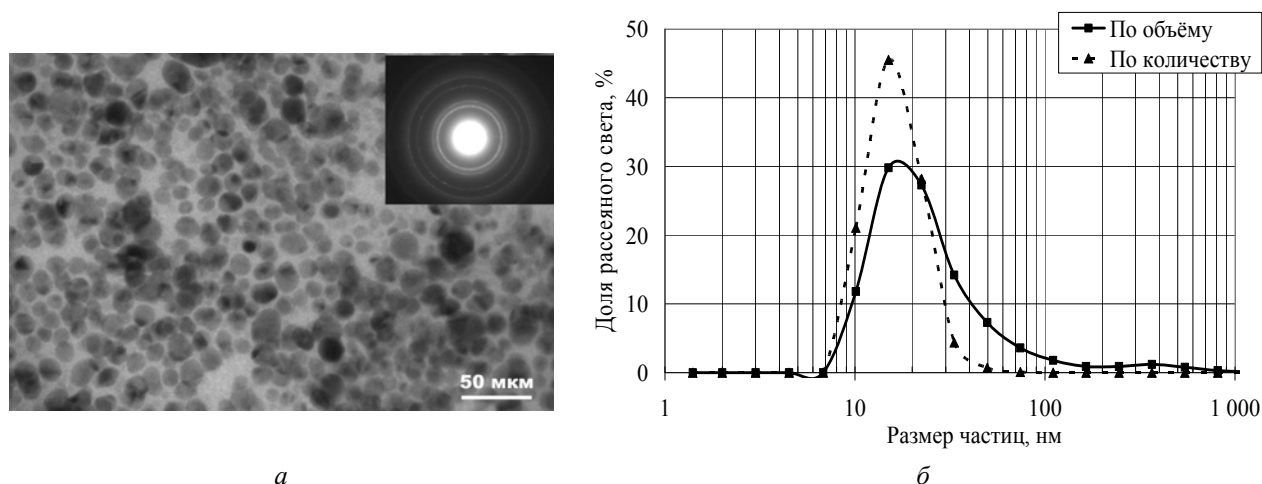


Рис. 5. Распределение наночастиц серебра в объеме коллоидной системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O: частицы серебра, снятые с помощью ТЭМ (а); кривая распределения частиц по размерам в коллоидной системе по данным измерения методом ФКС (б)

**Стабильность во времени коллоидной системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O, оцененная методами ФКС и АЭС-ИСП.** Важно было оценить стабильность полученных коллоидных

растворов системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O во времени. Для этого были приготовлены системы с концентрацией ПВП (м.м. 10 000), равной 1, 1.5 и 5 %; для приготовления использовали

наноккомпозит ПВП–Ag с содержанием 0.065 масс. % Ag. Распределение по количеству и объему частиц в коллоидных растворах определяли с помощью метода ФКС (рис. 6). Исследованные коллоидные системы, независимо от концентрации ПВП, в основном содержали частицы от  $2.0 \pm 0.04$  до  $50.0 \pm 1.02$  нм, а их количество составляло около 99.9 % от общей массы частиц. При этом имелось различие по величине среднего размера частиц, которое зависело от концентрации ПВП.

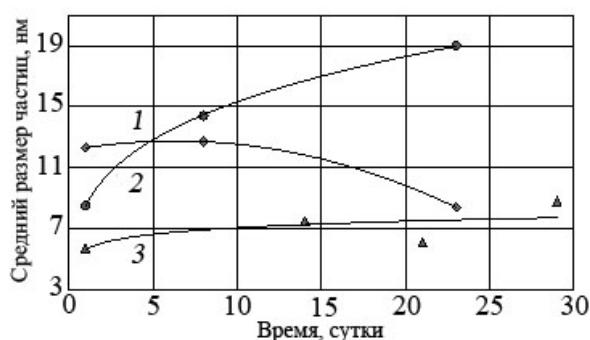


Рис. 6. Зависимость среднего размера частиц в коллоидных системах ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O от времени с момента их приготовления и от концентрации ПВП. 1 – 1%; 2 – 1.5%; 3 – 5% ПВП

Для системы с 1.5% ПВП прослеживалась динамика изменений размеров частиц во времени. Так, если на 1-е сутки после приготовления средний размер частиц первой фракции составил  $8.5 \pm 0.17$  нм, то при хранении коллоидных растворов на 8-е и 23-и сутки размер этих частиц составил  $14.0 \pm 0.28$  нм и  $19.0 \pm 0.38$  нм соответственно. Наиболее вероятный размер частиц второй фракции около 170 нм. Таким образом, при хранении коллоидов наблюдали увеличение размеров частиц.

Наилучшую стабильность во времени, имела система с 5% ПВП. Наиболее вероятный размер частиц её первой фракции около  $7.5 \pm 0.15$  нм (рис. 6, кривая 3). Вторая фракция частиц была порядка от  $40.0 \pm 0.80$  до  $800 \pm 16.0$  нм, масса их составляла 0.1% от общей массы частиц, а наиболее вероятный размер частиц равен 160 нм.

Стабильность во времени гетерогенной коллоидной системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O также была исследована на примере коллоидной системы, содержащей 1% ПВП (м.м. 34 000) с концентрацией серебра  $5.0 \pm 0.12$ ,  $7.5 \pm 0.15$ ,

$10.0 \pm 0.20$  и  $30.0 \pm 0.61$  мг/л определенной методом АЭС-ИСП (рис. 7).

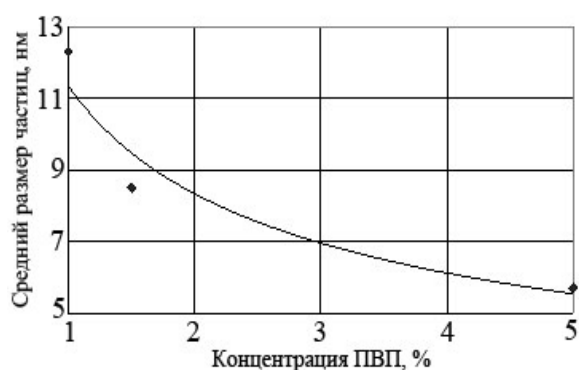
В свежеприготовленных коллоидах с увеличением концентрации серебра средний размер частиц уменьшается. Так, при концентрации серебра  $7.5 \pm 0.20$  и  $30.0 \pm 0.60$  мг/л средний размер частиц составил  $40.0 \pm 0.80$  и  $32.0 \pm 0.64$  нм соответственно (рис. 6, кривая 1). Через 8 суток после приготовления средний размер частиц увеличился и составил  $50.0 \pm 1.12$  и  $52.0 \pm 1.04$  нм для растворов, содержащих  $7.5 \pm 0.15$  и  $30.0 \pm 0.61$  мг/л.



Рис. 7. Зависимость среднего размера частиц в коллоидной системе ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O, содержащей 1% ПВП через: 1 – 1 сутки; 2 – 8 суток

Таким образом, при хранении коллоидов системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O с различной концентрацией серебра было установлено, что в первые сутки после их приготовления с увеличением концентрации серебра размер частиц меньше по сравнению с таковым на 8-е сутки наблюдения. Увеличение среднего размера частиц на 8-е сутки, вероятно, есть следствием агрегации, что подтверждается и данными литературы [5, 17–19].

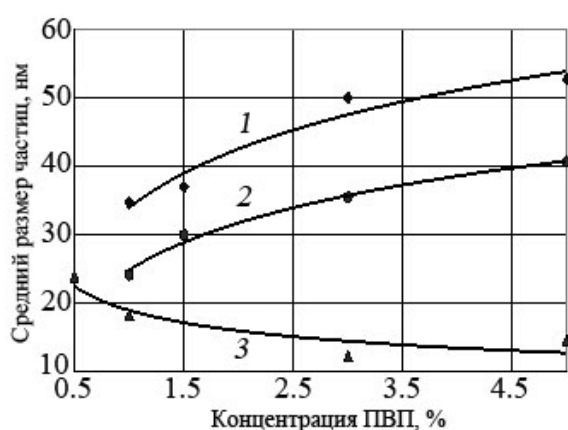
**Характеристика коллоидных систем ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O с различной концентрацией ПВП.** Влияние концентрации ПВП в гетерогенной коллоидной системе ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O было исследовано на системах с концентрацией ПВП 1, 1.5 и 5% (м.м. ПВП – 10 000). Для их приготовления использовали наноккомпозит ПВП–Ag с 0.065 масс. % Ag. Содержание серебра в коллоидах составляло  $6.0 \pm 0.12$ ,  $9.7 \pm 0.19$  и  $30.5 \pm 0.61$  мг/л соответственно при определении методом АЭС-ИСП. На рис. 8 показана зависимость среднего размера частиц от концентрации ПВП в исследованных системах через 1 сутки после приготовления.



**Рис. 8.** Зависимость среднего размера частиц в системе ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O от концентрации ПВП

Так, коллоидные растворы системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O содержат частицы в диапазоне от  $2.0 \pm 0.04$  до  $50.0 \pm 1.02$  нм. С увеличением концентрации ПВП средний размер частиц уменьшается.

Было исследовано также влияние концентрации ПВП в коллоидных системах ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O, содержащих 1, 1.5 и 3 % ПВП полученных разбавлением исходного 5 %-го раствора ПВП с м.м. 34 000 (рис. 9). Исходные коллоидные системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O с 5 и 0.5 % ПВП были приготовлены на деионизованной воде после прогрева на водяной бане с температурой 45 °С в течение 15 мин. Через 1 сутки после приготовления коллоидного раствора его разбавляли до требуемой концентрации ПВП и определяли размеры частиц методом ФКС.



**Рис. 9.** Зависимость среднего размера частиц в коллоидных системах ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O от концентрации ПВП. Исходная концентрация ПВП: 1 – 5 % (ПВП м.м. 34 000); 2 – 5 % (ПВП м.м. 10 000); 3 – 0.5 % (ПВП м.м. 34 000)

Для получения данных, представленных на рис. 9 (кривая 1) был использован 5 %-ный раствор ПВП (м.м. 34 000) и композит ПВП–Ag, содержащий 0.086 масс. % Ag. Концентрация серебра в коллоидном растворе составила  $43.0 \pm 0.90$  мг/л. Методом ФКС было установлено, что исходный 5 %-ный раствор содержит две фракции частиц со средним размером  $53.0 \pm 1.06$  нм и масса 37 % от общей массы частиц, а также частиц размером от  $300 \pm 6.09$  до  $2000 \pm 40.11$  нм, их масса – 63 % от общей массы частиц, а средний размер составил 800 нм.

С понижением концентрации ПВП в системе уменьшается средний размер частиц первой фракции (рис. 9, кривая 1). Их масса составила 87, 87.4 и 61 % от общей массы частиц при концентрации ПВП в коллоиде 1, 1.5 и 3 % соответственно.

Для сравнения был приготовлен коллоид ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O с 1 % ПВП (м.м. 34 000) прямым растворением в воде нанокompозита ПВП–Ag, содержащего 0.086 масс. % Ag. Через 1 сутки после его приготовления средний размер частиц первой фракции составил  $40.0 \pm 0.83$  нм, их масса – 77.6 % от общей массы частиц. Следовательно, система с 1 % ПВП, полученная разбавлением исходного коллоида с 5 % ПВП, имеет более мелкие частицы первой фракции и большую их массу в сравнении с исходным коллоидом, содержащим 1 % ПВП.

Кривая 2 на рис. 9 получена при концентрации серебра  $31.6 \pm 0.63$  мг/л. Для приготовления системы использовали композит ПВП–Ag, содержащий 0.065 масс. % Ag. Исходный коллоид имел средний размер частиц первой фракции  $40.0 \pm 0.80$  нм, их масса – 97 % от общей массы частиц. По мере разбавления средний размер частиц первой фракции уменьшался и составил  $24.0 \pm 0.48$ ,  $30.0 \pm 0.60$  и  $36.0 \pm 0.72$  нм, а их масса составила 99, 99.9 и 90 % от общей массы частиц для коллоидов с 1, 1.5 и 3 % ПВП соответственно.

На рис. 9 (кривая 3) представлена зависимость среднего размера частиц первой фракции в системе ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O, полученной из исходной с 0.5 % ПВП посредством увеличения концентрации ПВП. Содержание серебра составляло  $5.0 \pm 0.11$  мг/л. Средний размер частиц первой фракции в исходной системе равен  $24.0 \pm 0.48$  нм. С увеличением концентрации ПВП средний размер частиц составил  $18.0 \pm 0.36$ ,  $12.0 \pm 0.24$  и  $15.0 \pm 0.30$  нм в

коллоидах с 1, 3 и 5 % ПВП, а их масса увеличилась с 46 % (0.5 % ПВП) до 82, 86 и 95 % соответственно.

Таким образом, разбавление исходной коллоидной системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O сопровождалось уменьшением среднего размера частиц первой фракции. Увеличение концентрации ПВП в исходной коллоидной системе также приводило к уменьшению среднего размера частиц первой фракции.

**Характеристика коллоидных систем ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O с различной м.м. ПВП.** Были приготовлены коллоидные системы ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O с 1.5 % ПВП. Для этого использовали композиты ПВП–Ag, содержащие 0.065, 0.072, 0.10 масс. % Ag. Молекулярная масса ПВП в них составляла 8 000, 10 000 и 34 000. Концентрация серебра в коллоидах, определенная методом АЭС-ИСП, составляла 10.0±0.22 мг/л.

Как видно из рис. 10, коллоидные системы содержали фракцию мелких частиц, составляющую от 87 % (м.м. 34 000) до 99.9 % (м.м. 10 000) от общей их массы. С повышением м.м. ПВП средний размер частиц первой фракции увеличивался от 15.0±0.30 до 40.0±0.80 нм. Вторая фракция частиц имела размер от 80.0±1.60 до 1000±20.09 нм, а средний размер частиц – от 170 до 510 нм соответственно.

Таким образом, было выявлено, что использование ПАВ в качестве матрицы для частиц серебра позволяет простым и эффективным способом получать нанокомпозиты, уже содержащие стабилизатор, препятствующий агрегации частиц серебра при их растворении. Изменяя параметры процесса электронно-лучевого испарения серебра, можно получать нанокомпозиты с различным его содержанием.

В ряде работ [1, 3, 5, 6, 9, 20] детально проанализированы аспекты физической химии металлов в ультрадисперсном состоянии. Помимо благородных металлов, изученных в коллоидном состоянии, круг металлов существенно расширился. Фундаментальными задачами остаются установление электронной структуры, характера взаимодействия со средой, изучение состояния поверхности и устойчивость наночастиц в коллоидных средах. Мы надеемся, что настоящая работа дополнит сведения о физико-химических свойствах ультрадисперсных порошков серебра и новых

свойствах наночастиц серебра в водных растворах, столь важных для их дальнейшего использования.

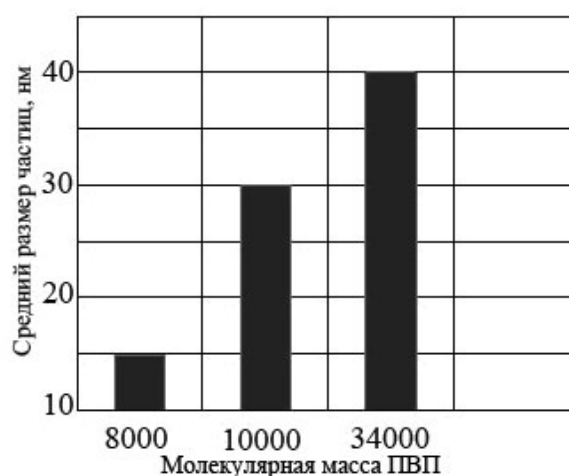


Рис. 10. Зависимость среднего размера частиц первой фракции в системе ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O с 1.5 % ПВП от м.м. ПВП

#### ВЫВОДЫ

При диспергировании конденсатов нанокомпозита ПВП–Ag в воде, полученных методом электронно-лучевой технологии в вакууме, в жидких коллоидных системах можно получить стабильную во времени смесь молекулярных и бимолекулярных комплексов с размером частиц от 4 до 6 нм.

На переход системы ПВП–Ag в жидкую фазу влияет как концентрация внесенного конденсата НЧ Ag, так и молекулярная масса ПВП.

С увеличением концентрации ПВП в растворе средний размер частиц понижается, а при разбавлении водного раствора ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O происходит увеличение массы наноразмерных частиц первой фракции.

При хранении дисперсных систем в течение 1–30 дней наблюдалось увеличение концентрации металла в жидкой фазе в присутствии 1.5 % ПВП. Наилучшую стабильность во времени имеет система с 5 % ПВП.

Наличие в изученных дисперсных системах частиц размерами менее 100 нм позволяет характеризовать их как коллоидные растворы, стабилизированные и/или модифицированные ПВП.

Использование ПВП в качестве матрицы для частиц серебра позволяет простым и эффективным способом получать нанокомпо-

зит, который уже содержит стабилизатор в виде ПАВ, препятствующий агрегации частиц

серебра при его растворении в дисперсионной среде.

### **Фізико-хімічні властивості колоїдних розчинів на основі наночастинок срібла з полімерним ядром**

**Горчев В.Ф., Чуніхін А.Ю., Дідікін Г.Г., Литвин С.Є., Андрусихина І.М., Ковинський І.С., Романенко С.М.**

*Інститут біохімії ім. О.В. Палладіна Національної академії наук України  
вул. Леонтовича, 9, Київ, 01601, Україна*

*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України  
вул. Горького, 68, Київ, 03150, Україна*

*ДУ «Інститут медицини праці Національної академії медичних наук України»  
вул. Саксаганського, 75, Київ, 01033, Україна, irina\_andrei@voliacable.com*

*Показана можливість одержання нанокмполімера з регульованим розміром частинок на прикладі покриття срібла на порошках полівінілпіролідону (ПВП) за допомогою використання технології електронно-променевого осадження. Визначено вплив таких параметрів як час, концентрація срібла та молекулярна маса ПВП на стійкість колоїдних систем нанокмполімерів, які були розчинені у воді. Було вивчено структуру гетерогенної колоїдної системи ПВП–Ag–H<sub>2</sub>O за допомогою методів електронної мікроскопії та спектральних (ФКС та АЕС-ІЗП) методів. Отримано седиментаційно стійкі колоїдні системи ультрадисперсних частинок срібла, придатні для застосування в медицині і сільському господарстві.*

### **Physico-chemical properties of colloid solutions based on silver nanoparticles with a polymeric core**

**Gorchev V.F., Chynishin A.Yu, Didikin G.G., Litvin S.E., Andrusyshyna I.N., Kovinsky I.S., Romanenko S.M.**

*Palladin Institute of Biochemistry National Academy of Sciences of Ukraine  
9 Leontovich Str., Kyiv, 01601, Ukraine*

*Paton Institute of Electro-Welding National Academy of Sciences of Ukraine  
68 Gorky Str., Kyiv, 03150, Ukraine*

*GA «Institute of Occupational Health of Medicine of National Ministry of Health of Ukraine»  
75 Saksagans'kogo Str., Kyiv, 01033, Ukraine, irina\_andrei@voliacable.com*

*A possibility has been showed of obtaining nanocomposites with adjustable particle size, silver coating with polyvinylpyrrolidone powder (PVP) using technology electron beam deposition being an example. The influence of parameters such as time, concentration of silver and a molecular weight of PVP on the stability of colloidal systems nanocomposites dissolved in water. The structure of heterogeneous colloidal system PVP–Ag–H<sub>2</sub>O was examined using the electron microscopy and spectral (PCS and AES-ICP) methods. The sedimentation-stable colloid systems of ultrafine silver particles have been obtained. They are suitable for use in medicine and agriculture.*

**Keywords:** *nanocomposites, electron beam deposition, sedimental-stable colloid systems, ultrafine silver particles, polyvinylpyrrolidone powder*



ЛИТЕРАТУРА

1. *Сергеев Г.Б.* Нанохимия металлов // Успехи химии. – 2001. – Т. 70, № 10. – С. 915–933.
2. *Ульберг З., Грузина Т., Карпов О.* Нанотехнології в медицині: роль колоїдно-хімічних процесів // Вісник НАН України. – 2008. – № 8. – С. 28–41.
3. *Губин С.П., Юрков Г.Ю., Катаева Н.А.* Наночастицы благородных металлов и материалы на их основе. – Москва: ИОНХ РАН. – 2006. – 155 с.
4. *Чекман И.С., Мовчан Б.А., Загородний М.И. и др.* Наносеребро: технологии получения, фармакологические свойства, показания к применению // Препарати і технології. – 2008. – № 3. – С. 32–34.
5. *Ершов Б.Г.* Наночастицы металлов в водных растворах: электронные, оптические и каталитические свойства // Журнал Рос. хим. общества им. Д.И. Менделеева. – 2001. – Т. 14, № 3. – С. 20–30.
6. *Christian P., Kammer V., Balousha P., Hofman Th.* Nanoparticles: structure, properties, preparation and behavior in environmental media // Ecotoxicology. – 2008. – V. 17. – P. 326–343.
7. *Hasselov M., Readmen J.W., Ranville J.F., Tiede K.* Nanoparticles and characterization methodologies in environmental risk assessment of engineering nanoparticles // Ecotoxicology. – 2008. – N 14. – P. 344–361.
8. *Chen J.Ch., Wiley B.J., Xia Yu.* One-dimensional nanostructures of metals: large-scale synthesis and some potential applications // Langmir. – 2007. – N 23. – P. 4120–4129.
9. *Лопатько К.Г., Афтандиянц Е.Г., Зауличный Я.В., Карпец М.В.* Получение и применение наночастиц, содержащих медь и серебро // Труды Института проблем материаловедения. – 2010. – № 1. – С. 232–243.
10. *Manhong L., Xiaoping Y., Hanfan L., Weiyong Y.* An investigation of the interaction between polyvinylpyrrolidone and metal cations // React. Funct. Polym. – 2000. – V. 44, N 1. – P. 55–64.
11. *Пат.75670 Україна, № 75670.* МПК В82В 3/00, С23С 14/24, В01J 13\00. Спосіб одержання колоїдного розчину срібла / Б.О. Мовчан, З.Р. Ульберг, В.П.Черних, В.А. Прокопенко, С.М. Коваленко Г.Г., Дідікін. Опубл. 10.12.12, бюл. №23.
12. *Лебедев А.Д., Левчук Ю.Н., Ломакин А.В., Носкин В.А.* Лазерная корреляционная спектроскопия в биологии. – Киев: Наук. думка, 1987. – 256 с.
13. *Henk G. Merkus.* Particle Size Measurements. Fundamentals, Practice, Quality. – Springer, 2009. – 533 p.
14. *Методические указания 4.1.1482-03* «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой». – Москва: Минздрав России, 2003. – 16 с.
15. *Томсон М., Уолли Д.Н.* Руководство по спектрометрическому анализу с индуктивно-связанной плазмой. – Москва: Недра, 1988. – 287 с.
16. *Антомонов М.Ю.* Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. – Киев: ФМД, 2006. – 558 с.
17. *Silva G.A.* Introduction to nanotechnology and its applications to medicine // Surg. Neurol. – 2004. – V. 61. – P. 216–220.
18. *Щерба А.А., Захарченко С.Н., Лопатько К.Г. и др.* Разрядно-импульсные системы производства нанокolloидных растворов биологически активных металлов методом объемного электроискрового диспергирования // Праці ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 26. – С. 152–160.
19. *Татарчук В.В., Булавченко А.И., Дружинина И.А.* Кинетика растворения наночастиц серебра азотной кислотой в обратных мицеллах Triton N-42 // Журн. неорган. химии. – 2009. – Т. 54, № 10. – С. 1755–1760.
20. *Zong-ming Xiu, Quing-bo Zhang, Hema L.Puppala et al.* Negligible particle-specific antibacterial activity of silver // Nano Lett. – 2012. – V. 40, N 30. – P. 301–305.

Поступила 30.05.2013, принята 13.09.2013