

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ СИЛИКАГЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

А.В. Семченко, В.В. Сидский, О.И. Тюленкова

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины*

## THE INVESTIGATION OF THE SORPTION PROPERTIES OF SILICA GELS SYNTHESIZED BY SOL-GEL METHOD

A.V. Semchenko, V.V. Sidsky, O.I. Tyulenкова

*F. Scorina Gomel State University*

Проведены исследования сорбционных свойств силикагелей, полученных золь-гель методом. Синтезированные золь-гель методом силикагели с магнитными свойствами обладают высокой сорбционной ёмкостью по отношению к ионам  $\text{Sn}^{2+}$  и небольшой сорбционной ёмкостью по отношению к ионам  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  и обеспечивают глубокое извлечение ионов  $\text{Sn}^{2+}$  из жидких сред. С увеличением концентрации карбоната железа сорбционные свойства синтезированных образцов снижаются, что связано с возникновением десорбции.

**Ключевые слова:** золь-гель метод, сорбционная ёмкость, ионы стронция, ионы меди, ионы свинца, жидкие среды, глубокое извлечение.

The sorption properties of silica gels synthesized by sol-gel method were studied. Silica gel with magnetic properties possesses high sorption capacity in relation to  $\text{Sn}^{2+}$  ions and small sorption capacity to  $\text{Sr}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  ions and provides deep extraction of  $\text{Sn}^{2+}$  ions from liquid phases. With increasing of the concentration of iron carbonate the sorption properties of the synthesized samples are reduced, which is associated with the appearance of desorption.

**Keywords:** sol-gel method, sorption capacity, strontium ions, copper ions, plumbum ions, liquid phases, deep extraction.

### Введение

В последнее время большое внимание уделяется использованию неорганических сорбентов. Данные материалы превосходят органические смолы по своей механической, термической и радиационной стойкости, а также проявляют высокую селективность по отношению к различным радионуклидам. В качестве сырья для синтеза сорбентов могут использоваться акриловая и метакриловая кислоты и их эфиры, а также фенолоальдегидные полимеры, полиамины и др. Посредством направленного синтеза удаётся придавать ионам точно рассчитанные технологические характеристики. Технология получения смол из кислот и их эфиров довольно сложна, что приводит к увеличению стоимости конечного продукта. Кроме того, использование указанных исходных реагентов является экологически небезопасным.

Среди большого числа неорганических сорбентов, отличающихся друг от друга сорбционными, поверхностными свойствами и соответственно областью применения, особое место занимают пористые сорбенты с магнитными свойствами. Для мониторинга водной и парогазовых сред требуются адсорбенты с различной пористой структурой, среди которых магнитные пористые вещества, полученные золь-гель методом, занимают основное положение. Во-первых, они во много раз дешевле, доступны и их синтез [1] не требует специального оборудования и

дефицитного сырья, не наносит вреда окружающей среде. Во-вторых, методы получения данных адсорбентов, в том числе и с магнитными свойствами, позволяют в широких пределах регулировать их структуру. Это свидетельствует о необходимости расширения исследований по синтезу адсорбентов, выявлению закономерностей механизма их структурообразования, природы поверхности, магнитных и адсорбционно-структурных свойств. Данная работа посвящена синтезу и изучению свойств магнитных сорбентов, полученных золь-гель методом.

### 1 Методы исследования

Исследования сорбционной ёмкости полученных золь-гель методом силикагелей с магнитными свойствами проводили на спектрофлуориметре СМ 2203 путём определения концентрации веществ в анализируемом растворе. Для этого в дистиллированной воде растворяли азотнокислые соли металлов стронция, свинца и меди, затем в полученные растворы равными долями вводили силикагели с магнитными свойствами. Измерения проводили до добавления силикагелей с магнитными свойствами и через сутки после введения силикагелей.

### 2 Экспериментальная часть

Технология получения материалов с определёнными химическими и физико-механическими свойствами, включающая получение золя и последовательное перевод его в гель.

Рассмотрим процесс подробнее [2]–[3]:

1. На первой стадии золь-гель процесса формируется продукт определенного состава в виде высокодисперсного коллоидного раствора – золя. Размер частиц дисперсной фазы в стабильном золе  $10^9$ – $10^7$  м. Увеличение концентрации дисперсной фазы приводит к появлению коагуляционных контактов между частицами и началу структурирования – гелеобразованию.

2. Коагуляционные структуры характеризуются низкой прочностью, определяемой ван-дер-ваальсовыми силами, при этом взаимодействие частиц осуществляется через равновесную по толщине прослойку дисперсионной среды. В этом случае сила взаимодействия частиц составляет  $10^{11}$ – $10^{10}$  Н/контакт, а расстояние между ними –  $10^8$ – $10^7$  м. Такие структуры характеризуются полным самопроизвольным восстановлением после механического разрушения. Дальнейшее повышение объёмной концентрации и поверхности дисперсной фазы приводит к постепенному исчезновению способности к тиксотропному восстановлению, а по мере снижения содержания дисперсионной среды теряются также эластичные и пластичные свойства.

3. Далее в полученный золь при постоянном перемешивании добавляли аэросил А175 и тонкодисперсный порошкообразный углерод. После полного прохождения реакции поликонденсации в золь был добавлен карбонат железа. Всего были изготовлены три образца с различным содержанием карбоната железа: 7,5 масс. % (образец № 1), 12,5 масс. % (образец № 2), 17,5 масс. % (образец № 3).

В качестве катализатора процесса гелеобразования был выбран аммиак.

4. Сушка гелей – наиболее критичная и самая длительная стадия в технологической цепочке получения ксерогелей (рисунок 2.1). Для проведения сушки контейнер с силикагелем помещали в сушильный шкаф и выдерживали при температуре  $55 \pm 5^\circ \text{C}$  (в зависимости от размера заготовок) 5–0 часов. Об окончании операции сушки судили по изменению цвета заготовки и достижению ею постоянной массы.

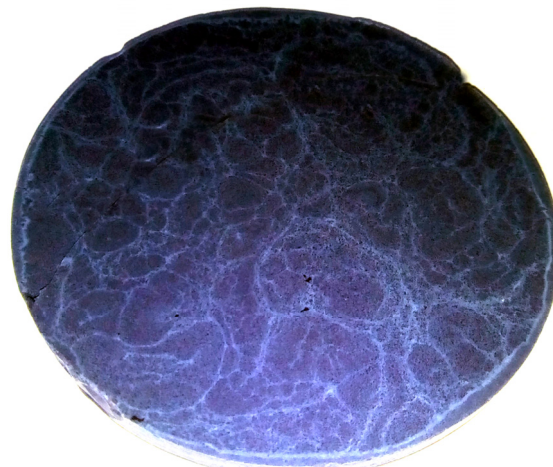


Рисунок 2.1 – Внешний вид ксерогеля, полученного золь-гель методом, с использованием карбоната железа

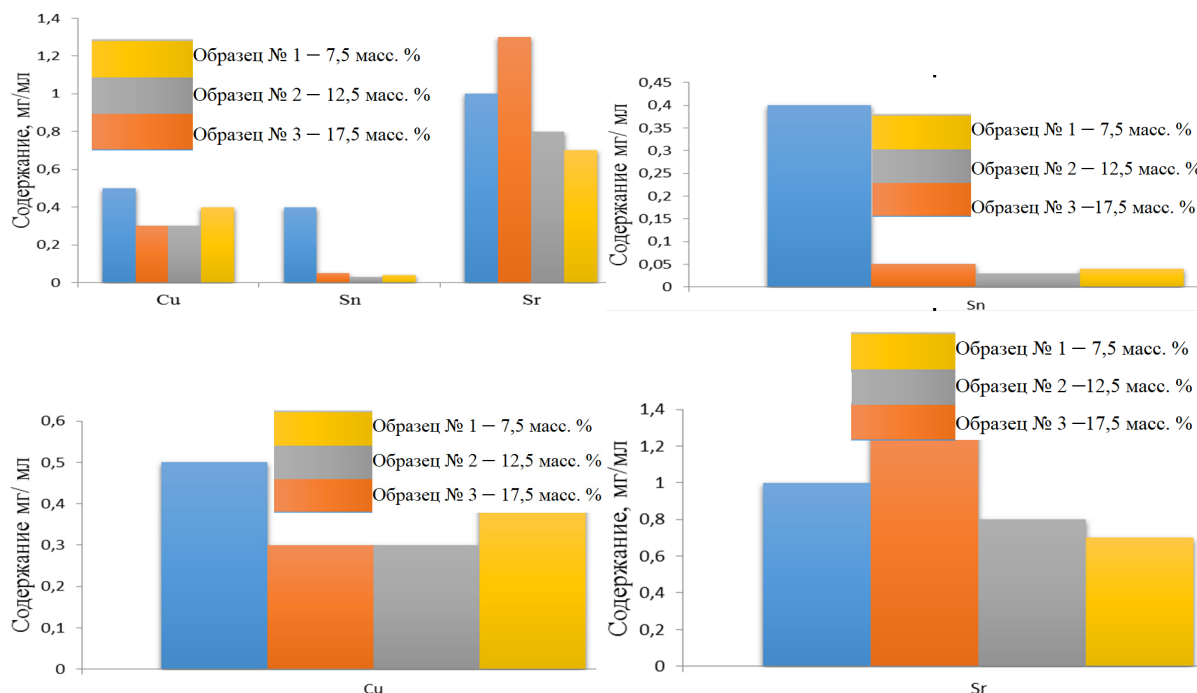


Рисунок 3.1 – Зависимость содержания металлов до сорбции и после сорбции (выдержка в растворе сорбентов в течение одних суток)

### 3 Результаты и обсуждение

Полученные золь-гель методом силикагели с магнитными свойствами обладают высокой сорбционной ёмкостью по отношению к ионам  $\text{Sn}^{2+}$  и небольшой сорбционной ёмкостью по отношению к ионам  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  и обеспечивают глубокое извлечение ионов  $\text{Sn}^{2+}$  из жидких сред (рисунок 3.1).

Атомы металлов, входящие в матрицу сорбента, определяющим образом влияют на состояние входящих в сорбент гидроксильных и аквагрупп, могут также участвовать в реакциях обмена с ионами других металлов, находящихся в жидкой среде, тем самым не очищая, а загрязняя воду. В процессе формирования частиц оксигидратных сорбентов возможно образование структурных пустот, заполненных катионами (в том числе  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) или анионами. Пустоты могут включать атомы, имеющие некомпенсированный электростатический заряд или координационную ненасыщенность. В некоторых случаях возникновение заряда может быть сопряжено с изменением степени окисления элемента, входящего в состав матрицы сорбента. Изоморфное замещение ионов матрицы на ионы, отличающиеся от них величиной заряда, могут также изменить заряд поверхности частиц [3].

Как видно из рисунка 3.1, с увеличением концентрации карбоната железа сорбционные свойства синтезированных образцов снижаются. Это связано с тем, что при высоких концентрациях примесей часть металлов, входящих в матрицу сорбента, диффундируют в воду, то есть наблюдается явление десорбции.

### Заключение

Полученные золь-гель методом силикагели с магнитными свойствами обладают высокой сорбционной ёмкостью по отношению к ионам  $\text{Sn}^{2+}$  и небольшой сорбционной ёмкостью по отношению к ионам  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  и обеспечивают глубокое извлечение ионов  $\text{Sn}^{2+}$  из жидких сред. С увеличением концентрации карбоната железа сорбционные свойства синтезированных образцов снижаются, что связано с возникновением десорбции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Hehch, L.L.* The Sol-Gel Process / L.L. Hehch, J.K. West // Chem. Rev. – 1990. – Vol. 90. – P. 33–72.
2. *Влияние условий обработки на структуру и сегнетоэлектрические свойства SBTN-плёнок, полученных золь-гель методом* / В.В. Сидский, А.В. Семченко, В.В. Колос, А.Н. Петлицкий, В.А. Солодуха, Н.С. Ковальчук // Проблемы физики, математики и техники. – 2017. – № 1 (30). – С. 17–21.
3. *Нано-структурированные фотокаталитические золь-гель покрытия на основе титана* / В.В. Васильевич, Д.Л. Коваленко, А.В. Семченко, В.В. Сидский, М.А. Ковалевич // Проблемы физики, математики и техники. – 2015. – № 4 (25). – С. 7–10.

Поступила в редакцию 04.12.17.