



## ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ, ЛАБОРАТОРНЫЙ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ХИМИИ

Елена С. Телеш, Татьяна Н. Воробьева

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем,  
Белорусь

### Абстракт

Представлены методики проведения химического эксперимента по восстановлению металлов из водных растворов путем электролиза и контактного вытеснения (цементации), которые могут быть использованы преподавателем при изучении таких разделов школьного курса химии, как «Металлы», «Электролиз», «Окислительно-восстановительные реакции». Показано, как предлагаемый химический эксперимент может быть реализован на различных уровнях познавательной деятельности учащихся: при проведении демонстрационных и лабораторных опытов, факультативных практических работ по химии, а также при реализации исследовательских проектов.

**Ключевые слова:** химический эксперимент, исследовательские проекты.

### Введение

Общеобразовательная подготовка учащихся должна обеспечивать как возможность теоретического осмысления ими содержания школьного курса химии, так и применение полученных знаний в знакомых и незнакомых ситуациях, развитие творческих способностей, интересов и склонностей, умений и навыков самообразования. Химия как один из естественно-научных предметов обладает большим потенциалом для общего интеллектуального развития и формирования мировоззрения учащихся, овладения доступными для них методами научного познания. Огромную роль в реализации этого потенциала играет химический эксперимент, который может обеспечивать создание мотивационных установок, продвижение школьников от элементарного удовлетворения природного любопытства к осознанному усвоению теории, овладение навыками и умениями, в том числе умением получать, преобразовывать и применять информацию. Для реализации таких возможностей в общеобразовательной школе при изучении химии используют разные виды практической деятельности учащихся: демонстрационный эксперимент, сопровождающий объяснения учителя по теме; лабораторные работы, выполняемые учащимися во время уроков; исследовательский практикум на факультативных занятиях; выполнение исследовательских проектов. В соответствии с предлагаемыми видами школьного эксперимента могут быть реализованы такие уровни познавательной деятельности учащихся, как рецептивный, репродуктивный, эвристический, креативный (Цобкало, 2003, Братенникова, 2000, Пархоменко, 2004).

В данной статье предлагается разноуровневый химический эксперимент, развивающий навыки и умения проведения не только лабораторных опытов по химии, но и исследовательской работы, обеспечивающий углубление и расширение знаний учащихся по разделам школьной программы, связанным с изучением металлов и окислительно-восстановительных реакций получения металлов восстановлением в водных растворах. Эксперимент охватывает процессы восстановления ионов металлов электрическим током и другими более электроотрицательными металлами, позволяет сопоставить окислительно-восстановительную активность металлов в водных растворах и расположить металлы в ряд активности.

Разработанные опыты и задания исследовательского характера были апробированы студентами и школьниками кружка «Юный химик» химического факультета Белорусского государственного университета.

Для мотивации выполнения учениками экспериментальной работы учителю важно подчеркнуть практическую значимость химических процессов восстановления металлов из растворов, а также необходимость регулирования как химического состава продуктов, так и их структуры и морфологии. Здесь лишь отметим, что методами химического и электрохимического восстановления осаждают защитные, декоративные, жаростойкие, коррозионноустойчивые, износостойкие, токопроводящие, способные к пайке и сварке покрытия, получают готовые изделия нужной формы (процесс гальванопластики), извлекают металлы из растворов, регенерируя таким способом металлы и очищая электролиты, получают порошки для последующего формирования из них металлоизделий или восстановления изношенных деталей, изготавливают проводящие селективно нанесенные элементы (печатные платы, антенны, волноводы, различные наноструктуры). Чтобы реализовать процессы восстановления металлов с заданным составом и структурой, следует уметь целенаправленно регулировать условия проведения процессов синтеза. К таким условиям относятся природа ионов металлов, их концентрация, наличие других катионов и анионов в растворе, кислотность среды, модифицирующие добавки, температура, природа подложки, плотность тока при электролизе, а также природа анодов и многие другие.

Теоретическое обоснование процессов, демонстрируемых или изучаемых в предлагаемых экспериментах, дано в школьных учебниках по химии в разделах «Вода. Растворы», «Металлы», «Электролиз», «Химические способы получения металлов». При необходимости углубить знания по данной тематике рекомендуем использовать работы (Реми, 1972, Рэмсен, 1989).

При выполнении рассматриваемых работ школьники приобретут навыки приготовления растворов солей заданной концентрации, определения кислотности среды, проведения процессов электролиза с использованием растворимых и инертных электродов, визуальных и микроскопических наблюдений структуры продукта. опыты по электролизу водных растворов солей продемонстрируют тесную межпредметную связь между химией и физикой.

Перед проведением химического эксперимента школьники должны получить представление о технике безопасности и экологических аспектах процессов восстановления металлов из растворов. Кроме того, следует иметь ввиду токсичность ряда ионов металлов в растворах и особенности безопасной работы с электроприборами.

Предлагаемый эксперимент разделен на две части: восстановление металлов электрическим током (электролиз) и восстановление более активным металлом (контактное вытеснение, цементация).

#### ***Электролиз водных растворов солей.***

Опыты по электролизу водных растворов солей можно легко поставить в школьной химической лаборатории, продемонстрировать на уроках химии. Наблюдаемые явления (изменение окраски, газовыделение, выпадение осадков, рост металлического покрытия на электродах) наглядны, протекают быстро (от нескольких секунд до нескольких минут). Электродами могут служить металлические или графитовые стержни, пластины, толстая проволока. Если конечной целью экспериментальной работы является получение покрытия, площадь анода не должна быть меньше площади катода, на котором идет восстановление металла. Кажущуюся площадь анода при отсутствии необходимого металла можно увеличить, сделав из проволоки плоскую спираль. В качестве источника электропитания можно использовать стационарный источник постоянного тока, электрическую батарейку или аккумулятор, которые дают напряжение в пределах 4–10 В.

При проведении электролиза электроды должны быть погружены в растворы, содержащие ионы, т. е. электропроводящие электролиты. Чистая вода имеет высокое удельное сопротивление (8–20 МОм·см) и для ее электролиза с выделением водорода (на катоде) и кислорода (на аноде) необходимо приложить высокое напряжение, что нецелесообразно и опасно в лабораторных условиях. При растворении в воде солей, диссоциирующих на ионы, электролиз может быть легко осуществлен, причем продуктами, выделяющимися на катоде, могут быть металлы и водород. Напомним, что состав продуктов зависит от положения металла в ряду напряжения. Так, самые активные металлы, расположенные в ряду активности левее цинка, из водных растворов не выделяются. Из их растворов на катоде восстанавливается лишь водород. Металлы, расположенные в ряду активности между цинком и водородом, восстанавливаются из водных растворов вместе с водородом. Металлы, расположенные правее водорода, легко восстанавливаются из растворов солей, выделение водорода при этом менее эффективно, хотя и возможно.

При наличии в растворе катионов металлов, способных к восстановлению в водных растворах, т. е. начиная с цинка и правее него в электрохимическом ряду напряжения, на катоде происходит восстановление металлов. Примером могут быть реакции (1, 2):



В результате поверхность катода покрывается пленкой осаждающегося металла, меняется ее цвет, увеличивается масса катода. Как уже отмечалось, реакции такого типа широко применяются в промышленности для получения покрытий различного назначения. Используемые электролиты, как правило, содержат не только соль осаждаемого металла, но и различные добавки (соли, кислоты, щелочи, органические вещества), которые сильно влияют на качество получаемых осадков. В табл. 1 приведены составы электролитов, которые позволяют получить покрытия из цинка, никеля, меди в условиях школьной лаборатории. Например, для осаждения покрытий из меди, необходима гальваническая ванна с раствором медного электролита. В качестве гальванической ванны можно использовать любую стеклянную или полиэтиленовую емкость такого размера, чтобы покрываемый металлом предмет свободно размещался в ней, и при этом не находился слишком близко от анодов.

Таблица 1

**Составы электролитов для осаждения покрытий цинка, никеля, меди (Шлугер, 1985)**

Осаждаемое покрытие	Состав электролита		Катодная плотность тока, А/дм <sup>2</sup>
	Компонент	Концентрация, г/дм <sup>3</sup>	
Цинк	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	450–700	10
	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	25–30	
Никель	NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	140–200	0,5–2
	NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	30–40	
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	25–40	
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	60–80	
Медь	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	200–250	5–8
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	35–70	

Покрываемый медью электропроводящий предмет (монетка, стальная пластинка, кусочек графита) с помощью проволоки необходимо подсоединить к отрицательному

пололю источника питания. С положительным полюсом соединяют кусочек меди, равный по площади катоду или чуть больше него. Расстояние между электродами должно составлять 8–10 см. Плотность тока  $i$  при электролизе определяется по формуле:

$$i = \frac{I}{S}, \quad (3)$$

где  $I$  – сила тока, А;  $S$  – площадь покрываемого образца,  $\text{дм}^2$ . Силу тока можно регулировать, увеличивая или уменьшая напряжение, добиваясь при этом светлого красноватого оттенка осаждающейся меди. Тонкое покрытие будет заметно уже через 1–2 минуты после начала электролиза. Для получения более толстого слоя меди электролиз проводят в течение нескольких часов.

В промышленности при электролизе растворов с целью получения покрытий, как правило, используют аноды, состоящие из того металла, осаждение которого проводят. В этом случае при растворении анода раствор пополняется ионами осаждаемого металла, например:



Опыты по электролизу можно продемонстрировать на уроке при объяснении свойств металлов, растворов, рассмотрении электролиза. Особенно интересные опыты можно показать при использовании растворяющихся анодов, например, из стали. Если два стальных электрода погрузить в раствор поваренной соли и подключить к источнику питания, то ионы железа (II), образующиеся при растворении анода, придают электролиту вблизи анода зеленоватую окраску. В растворе без подкисления образуется зеленоватый гелеобразный осадок  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , который быстро окисляется до  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , изменяя при этом окраску на коричневую. При наличии в растворе ионов хлора, брома, йода параллельно с образованием осадка выделяется газ ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ) со специфической окраской и запахом.

Такие опыты легко трансформировать в лабораторные работы с элементами исследования. Для этого можно ставить задачи по определению природы растворенного металла, анионов в электролите, природы процессов протекающих в прикатодной области (окрашивание раствора с фенолфталеином вблизи катода), влияния плотности тока на скорость выделения газов и металла, на морфологию металла и т. д.

#### ***Контактное вытеснение металлов из растворов.***

При изучении реакций замещения с участием металлов и водных растворов солей преподаватели часто ограничиваются демонстрацией реакции взаимодействия соли меди (II) с железом или цинком:



Однако с помощью микроскопа, можно превратить простой лабораторный опыт в увлекательное путешествие в мир кристаллов.

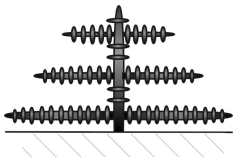

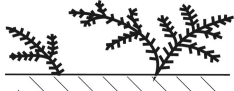


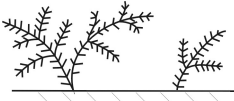

Рассмотрим серию опытов по вытеснению металлов из растворов солей, используя вещества, доступные в школьной лаборатории: гранулы магния, цинка, олова, медную проволоку или фольгу и слегка подкисленные растворы солей олова (II), меди (II) и серебра (I) концентрацией (0,01–0,1) моль/ $\text{дм}^3$ . Опыты лучше всего проводить в чашках Петри. Наблюдения за ростом кристаллов можно осуществлять с помощью иммерсионного или обычного оптического микроскопа.

Перед проведением эксперимента можно предложить ученикам составить всевозможные пары ион металла/металл, для которых возможно протекание реакции замещения. Для удобства можно заполнить таблицу, в верхней строке которой

исследуемые металлы расположены в соответствии с их положением в ряду активности и значением стандартного окислительно–восстановительного потенциала ( $E^\circ$ ) металлов (табл. 2), а в левом столбце записаны ионы металлов. Школьники должны отметить знаком „+“ те реакции, которые возможны.

Таблица 2

**Микроструктура продуктов, получаемых при контактном вытеснении металлов из растворов простых солей**

Металл	Mg	Zn	Sn	(H <sub>2</sub> )	Cu	Ag
$E^\circ_{Me^{n+}/Me}$ , мВ	-2,37	-0,76	-0,14	0	+0,34	+0,80
Sn <sup>2+</sup>	+	+	–		–	–
						
Cu <sup>2+</sup>	+	+	+		–	–
						
Ag <sup>+</sup>	+	+	+		+	–
						

При проведении опытов следует обратить внимание учеников на скорость выделения металла (например, меди) при использовании различных восстановителей (Mg, Zn, Sn), что позволяет сделать вывод о восстановительных свойствах металлов и их положении в электрохимическом ряду напряжений. Важно оценить цвет и структуру выделяющегося осадка (губка, дендриты), по возможности рассмотреть в микроскоп, проследить, как изменяется форма кристаллов выделяющегося металла в зависимости от природы взятого металла–восстановителя.

Наиболее интересно наблюдать в микроскоп дендриты, выращенные из водных растворов серебра (I) и меди (II) (см. рисунок). В растворах солей олова (II) на магнии и цинке образуется густая пушистая “шуба” из тонких иглообразных кристаллов. В табл. 2 схематично представлена структура формирующихся осадков.

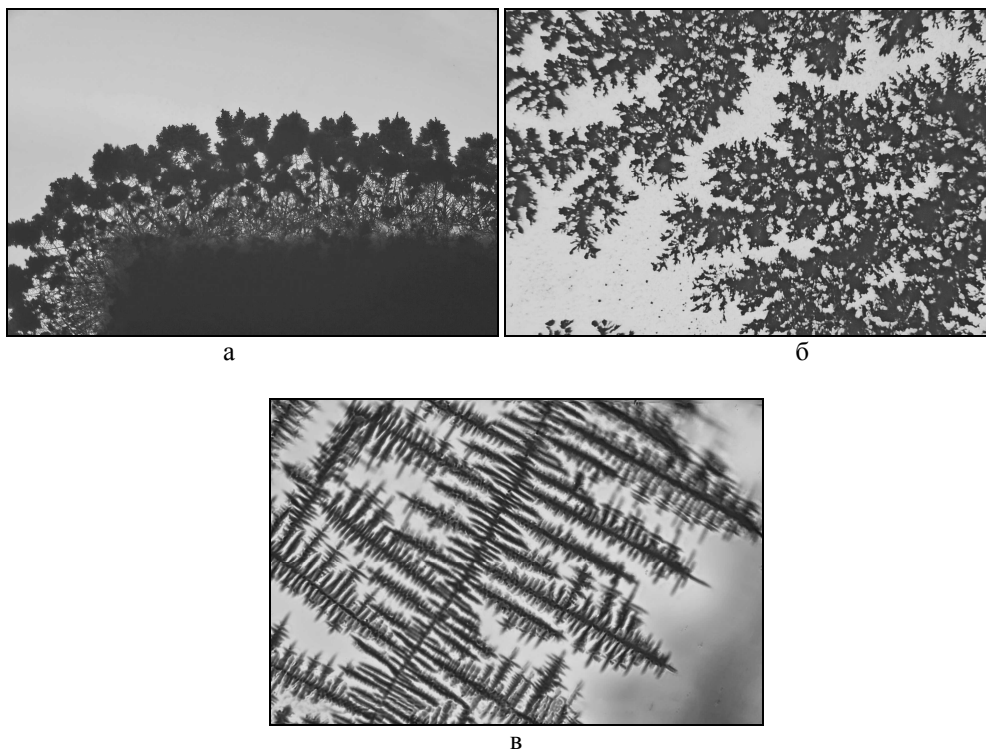


Рисунок. Структуры, полученные при контактном вытеснении: *а* – серебра медью из раствора 0,1 М  $\text{AgNO}_3$ , *б* – серебра цинком из раствора 0,01 М  $\text{AgNO}_3$ , *в* – меди цинком из раствора 0,01 М  $\text{CuSO}_4$

Реакции контактного вытеснения металлов из растворов солей более активными металлами могут проводиться на лабораторных или практических занятиях. Наблюдаемые эффекты будут достаточно наглядными и при проведении опытов в пробирках. Эксперимент в более полном объеме в сочетании с микроскопическим исследованием может быть осуществлен на факультативных занятиях. Можно предложить учащимся исследовательскую работу, в которой изучается влияние концентрации солей и кислотности растворов на структуру выделяющегося металла. Научно-исследовательские задачи по проектам школьников могут включать: 1) разработку условий регенерации металла из раствора; 2) выявление условий синтеза порошков и покрытий; 3) электролитическую очистку растворов, содержащих ионы цветных металлов.

Новым в теоретическом плане для школьников является положение о том, что условия проведения окислительно-восстановительных процессов оказывают влияние не только на скорость образования продукта реакции, но и кардинальным образом могут изменить его структуру.

#### Благодарность

Авторы выражают благодарность В. А. Журавкову за помощь, оказанную при фотосъемке образцов.

#### Литература

Братенникова А. Н. (2000). Занятия химией как воспитание творческой личности. *Хімія: проблеми викладання*, 4, стр. 33–44.

Гальванические покрытия в машиностроении. Т. 1. Справочник /Под ред. М. А. Шлугера. (1985). М. : Машиностроение.

Пархоменко В. П., Братенникова А. Н., Шиманович И. Е. (2004). Обучающе–исследовательский принцип и его реализация в общеобразовательной средней школе. *Адукацыя і выхаванне*, 1, стр. 36–46.

Реми Г. (1972). Курс неорганической химии. Т. 1, 2. М. : Мир.

Рэмсен Э. Н. (1989) Начала современной химии. Л. : Химия.

Цобкало Ж. А., Кунцевич З. С. (2003). Развитие исследовательской деятельности учащихся при изучении естественнонаучных дисциплин. Методическое пособие – Витебск, ВГМУ.

#### Summary

### DEMONSTRATIVE, LABORATORY AND RESEARCH EXPERIMENT ON THE REACTIONS OF METAL REDUCTION FROM SOLUTIONS IN CHEMISTRY COURSE IN THE SECONDARY SCHOOL

**Elena S. Tselesh, Tatyana N. Vorobyova**

The methods of realization of chemical experiment dealing with the reactions of metal reduction from solutions by electrolysis and cementation are discussed. Teachers can use the presented experiments in such sections of school chemistry course as "Metals", "Electrolysis", "Oxidation-reduction reactions". It is shown that given chemical experiment can be realized at various levels of pupil cognitive activity including demonstration and laboratory experiments, facultative and practical works in chemistry and school research projects.

**Key words:** chemical experiment, research projects.

*Received 01 June 2006; accepted 12 July 2006.*



**Elena S. Tselesh**

Faculty of Chemistry Education,  
Belarus State University  
Leningradskaya Street 14, BY-220050, Minsk  
E-mail: tselesh@bsu.by



**Tatyana N. Vorobyova**

Faculty of Chemistry Education,  
Belarus State University  
Leningradskaya Street 14, BY-220050, Minsk