

**Щуренкова Софья Витальевна**

студентка

*Научный руководитель*

**Молчатский Сергей Львович**

канд. физ.-мат. наук, канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Самарский государственный

социально-педагогический университет»

г. Самара, Самарская область

## **ВЫЯВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАГНИЯ В ВОЛГЕ**

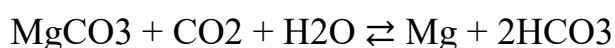
***Аннотация:** статья посвящена методике проведения учебного занятия для учащихся 8–11 классов. В теоретической части рассматриваются природные и антропогенные источники поступления магния в волжскую воду, механизмы формирования карбонатной и некарбонатной жёсткости, а также роль магния в экосистеме реки. Прослежена пространственная динамика концентрации магния от истока Волги до её низовий с опорой на реальные гидрохимические данные. Практическая часть содержит подробное описание лабораторной работы по количественному определению ионов магния методом комплексонометрического титрования с Трилоном Б, адаптированное для условий школьной лаборатории. Материал выстроен по принципу интеграции химии и направлен на формирование у учащихся естественно-научной грамотности и исследовательских навыков.*

***Ключевые слова:** Волга, содержание магния, жёсткость воды, карбонатная жёсткость, некарбонатная жёсткость, гидрохимия, комплексонометрическое титрование, Трилон Б, эриохром чёрный Т, школьный химический эксперимент, межпредметные связи, экология Волги, методика обучения химии, лабораторный практикум, исследовательская деятельность учащихся.*

Когда речь заходит о химическом составе воды, внимание обычно концентрируется на загрязнителях – нефтепродуктах, тяжёлых металлах, нитратах. Однако для понимания того, что такое «здоровая река», необходимо начинать с

фундамента: макрокомпонентов, формирующих естественный гидрохимический фон. Среди них магний занимает особое место. Он не только определяет жёсткость воды и её потребительские свойства, но и выступает важнейшим биогенным элементом, от которого зависит жизнь речной экосистемы. Волга, крупнейшая река Европы, представляет собой уникальную химическую систему, простирающуюся почти на три с половиной тысячи километров и охватывающую водосборный бассейн площадью почти полтора миллиона квадратных километров. Эта колоссальная территория пересекает несколько геологических провинций с принципиально разным составом горных пород, поэтому химический состав воды по мере продвижения от истока к устью претерпевает значительные изменения.

Ионы магния поступают в воду преимущественно при растворении доломитов ( $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ ), мергелей или продуктов выветривания коренных пород (биотит, оливин, амфибол и др.). Растворение карбоната магния идет при этом совершенно аналогично  $CaCO_3$ , но растворимость  $MgCO_3$  значительно выше [1].



Магний попадает в речную воду двумя основными путями, которые необходимо разграничивать. Первый, природный путь – это выщелачивание магнийсодержащих минералов. В осадочных породах магний присутствует главным образом в виде двух минералов: доломита и магнезита, представляющих собой двойной и простой карбонаты магния. Сами по себе они плохо растворимы в чистой воде, однако природные воды никогда не бывают химически нейтральными: они содержат растворённый углекислый газ, источником которого служит дыхание почвенных микроорганизмов и разложение органики. При взаимодействии углекислого газа с водой образуется слабая угольная кислота, которая ступенчато диссоциирует с образованием протонов. Эти протоны атакуют кристаллическую решётку доломита, переводя ионы магния и кальция в раствор в виде хорошо растворимых гидрокарбонатов. Именно эта реакция и является фундаментальным механизмом формирования естественной гидрохимии Волги. Помимо

карбонатов, определённый вклад вносят магнийсодержащие силикаты – оливин, пироксены, биотит, – однако их растворение происходит значительно медленнее и контролируется уже не углекислотой, а процессами химического выветривания на геологических масштабах времени.

Второй путь – антропогенный. В современных условиях существенную добавку магния создаёт человек: это сточные воды металлургических и машиностроительных производств, где используются магниевые сплавы и литейное дело; сбросы предприятий по производству минеральных удобрений, поскольку магний входит в состав калимагнезии и доломитовой муки; сельскохозяйственные стоки с полей, где магниевые удобрения вымываются дождями в речную сеть; наконец, коммунально-бытовые стоки, несущие в себе магний из водопроводной воды и растворимые комплексы, образующиеся при использовании моющих средств.

Для понимания поведения магния в речной воде критически важно представлять, что жёсткость воды – это интегральный показатель, отражающий суммарное содержание ионов кальция и магния, и она классифицируется на три вида. Карбонатная, или временная, жёсткость, создаваемая  $Mg(HCO_3)_2$ , обусловлена присутствием гидрокарбонатов кальция и магния и устраняется кипячением благодаря реакции термического разложения, при которой гидрокарбонат магния распадается с образованием нерастворимого карбоната, углекислого газа и воды. Однако здесь есть важный нюанс: если кипятить воду с преобладанием кальция, выпадает накипь из карбоната кальция; если же магния много, осадок будет содержать основные карбонаты магния, и при длительном нагреве реакция может протекать сложнее с образованием гидроксида магния. Некарбонатная, или постоянная, жёсткость, представленная  $MgSO_4$  и  $MgCl_2$ , определяется сульфатами и хлоридами магния, которые кипячением не устраняются. Эти соли попадают в Волгу преимущественно антропогенным путём, а также при растворении гипсовых и галогенных отложений в районах Предуралья, откуда берёт начало Кама. Общая жёсткость представляет собой арифметическую сумму этих двух составляющих. В России она нормируется в градусах жёсткости, где один

градус соответствует одному миллиграмм-эквиваленту на литр, что эквивалентно двадцати миллиграммам кальция или двенадцати с небольшим миллиграммам магния. Для питьевой воды централизованного водоснабжения предельно допустимая концентрация составляет семь миллиграмм-эквивалентов на литр, однако по органолептическим показаниям магний ограничен более строго: его содержание не должно превышать пятидесяти миллиграммов на литр, поскольку именно он придаёт воде характерный горьковатый привкус. Порог вкусового ощущения для сульфата магния, известного как «английская соль», составляет около ста-ста пятидесяти миллиграммов на литр в пересчёте на ион магния, а для хлорида магния – и того ниже, около пятидесяти миллиграммов на литр.

Лучший способ дать учащимся почувствовать связь химии с реальностью – провести анализ реальной пробы волжской воды. Метод комплексонометрического титрования, отработанный десятилетиями, позволяет надёжно определить суммарное содержание ионов кальция и магния.

Титрованием Mg в присутствии фосфат-ионов занимался Колье [55(58), 54(25)], который советует удалять большие количества этих ионов экстракцией. Иониты также являются хорошим средством для удаления фосфат-ионов. Часто бывает достаточно сильного разбавления анализируемого раствора, для того чтобы замедлить образование  $MgNH_4PO_4$ , так как это соединение легко образует пересыщенные растворы. Кроме того, опусклять Mg в присутствии фосфат-ионов можно путем обратного титрования. О титровании Mg в присутствии Ca будет сказано ниже. Здесь же можно отметить возможность отделения Ca в виде молибдата [56 (58)] и титрования Mg в фильтрате, если требуется определение одного только Mg [5].

Для работы потребуются: раствор Трилона Б с концентрацией 0,05 моль/л, аммиачный буферный раствор (pH около 10), индикатор эриохром чёрный Т и, что важно при анализе природной воды, маскирующий агент – сульфид натрия, который свяжет ионы железа и других тяжёлых металлов, способных исказить результат.

Пробу волжской воды необходимо отбирать в чистую пластиковую или стеклянную ёмкость, желательно не с поверхности, где вода обеднена солями из-за возможного разбавления дождевыми осадками, а с глубины 20–30 сантиметров. Если анализ проводится не сразу, воду следует хранить в холодильнике не более двух суток, иначе гидрокарбонаты могут начать разлагаться, и жёсткость пробы изменится.

Ход работы. Учащиеся отмеряют 50 мл исследуемой воды, добавляют маскирующий реагент и 5 мл аммиачного буфера, после чего вносят щепотку индикатора. В присутствии ионов кальция и магния раствор окрашивается в винно-красный цвет – это непрочные комплексы металлов с эриохромом. Затем начинается главное таинство анализа: по каплям добавляют Трилон Б, который «перехватывает» ионы металлов, образуя более прочные бесцветные хелаты. В точке эквивалентности последний ион магния освобождает индикатор, и раствор резко синееет. Зафиксировав объем пошедшего титранта, ученики рассчитывают общую жесткость  $J_{\text{общ}}$  по формуле

$$J_{\text{общ}} = V_{\text{тр}} \cdot C_{\text{тр}} \cdot 1000 / V_{\text{пробы}}$$

где  $V_{\text{тр}}$  – объём Трилона Б в мл,  $C_{\text{тр}}$  – его концентрация в моль/л,  $V_{\text{пробы}}$  – объём пробы воды в мл. Для определения именно магния нужно либо отдельно оттитровать кальций с мурексидом и вычесть его вклад, либо осадить кальций оксалатом и проанализировать оставшийся магний. При работе с реальной волжской водой можно ориентироваться на эмпирическую закономерность: в водах Средней и Нижней Волги на долю магния приходится примерно 30–40% от общей жёсткости.

Подводя итог занятию, важно резюмировать три ключевые идеи. Во-первых, содержание магния в Волге неоднородно: от мягких вод верховьев до умеренно-жестких в низовьях, где растёт доля сульфатов. Во-вторых, хотя токсикологические ПДК превышаются редко, даже умеренный рост концентрации магния в совокупности с фосфатами вызывает эвтрофикацию волжских водохранилищ – главную экологическую проблему бассейна. В-третьих, метод комплексонометрического титрования доступен в школьной лаборатории и позволяет учащимся

своими глазами увидеть «невидимый» химический портрет реки, соединяя формулы учебника с реальным миром. В качестве домашнего задания повышенной сложности можно предложить ученикам дома прокипятить волжскую воду и сравнить осадок с тем, что образуется при добавлении соды: в первом случае выпадет в основном карбонат кальция, а во втором – и карбонат магния, что даст почву для размышлений о разных механизмах устранения жесткости.

### *Список литературы*

1. Алёкин О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алёкин. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
2. Другов Ю.С. Экспресс-анализ воды в школьной лаборатории: методическое руководство / Ю.С. Другов, А.Г. Муравьев. – М.: Крисмас+, 2005. – 96 с.
3. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии: справ. изд. / Ю.Ю. Лурье. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1989. – 448 с.
4. Резников А.А. Методы анализа природных вод / А.А. Резников, Е.П. Муликовская, И.Ю. Соколов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1970. – 488 с.
5. Шварценбах Г. Комплексометрическое титрование / Г. Шварценбах, Г. Флашка; пер. с нем. – М.: Химия, 1970. – 360 с.