

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО УРАНА СЕРОВОДОРОДОМ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

*Пастухов А.М., Скрипченко С.Ю.*

Уральский федеральный университет  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

При скважинном подземном выщелачивании урана происходит растворение сульфидных минералов тяжелых металлов, которые содержатся во вмещающих породах продуктивного горизонта, что ведет к образованию сероводорода в выщелачивающих растворах. В период закисления по мере продвижения кислых растворов в пласте происходит их нейтрализация, что создает благоприятные условия для восстановления шестивалентного урана сероводородом до четырехвалентного состояния. Для оценки термодинамической возможности протекания данных процессов был проведен расчёт изменения свободной энергии ( $\Delta G_p$ ) и значений окислительно-восстановительного потенциала ( $E_h$ ) для системы  $U-H_2S-H_2O$ .

На стадии закисления в зависимости от pH раствора возможны следующие реакции восстановления шестивалентного урана сероводородом:

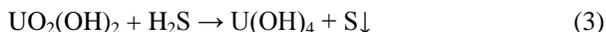
при  $pH \leq 4$



при  $4 < pH \leq 5,5$



$pH > 5,5$



Стандартные значения свободной энергии исходных веществ и продуктов реакции были взяты из справочной литературы. Расчёт  $\Delta G_p$  данных реакций проведен для реальных выщелачивающих растворов, содержащих  $10^{-6}$ - $10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>  $H_2S$ ,  $10^{-6}$ - $10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>  $U(VI)$  и  $10^{-6}$ - $10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>  $U(IV)$ .

Согласно расчетам, величина  $\Delta G_p$  реакции (1) принимает отрицательные значения не зависимо от солевого состава выщелачивающего раствора, следовательно, в реальных условиях при  $pH \leq 4$  возможно восстановление шестивалентного урана до четырехвалентного состояния. При этом на фронте переноса растворов при  $pH > 4$  возможно осаждение четырехвалентного урана в виде гидроксида. Эффективность восстановления окисленных форм урана сероводородом при  $pH \leq 4$  была подтверждена и в ходе определения значений окислительно-восстановительного потенциала для реакций системы  $U-H_2S-H_2O$ .

Результаты термодинамических расчетов показали, что протекающие реакции (2) и (3) в условиях подземного выщелачивания невозможно. Также маловероятно восстановление соединений шестивалентного урана сероводородом на стадии активного выщелачивания при  $\text{pH} \leq 4$ . В этих условиях сероводород будет восстанавливать ионы трехвалентного железа, которые являются окислителем для минеральных форм четырехвалентного урана.

Таким образом, при скважинном подземном выщелачивании урана из продуктивного горизонта, вмещающие породы которого содержат сульфидные минералы, растворимые в кислой среде, возможно восстановление образующимся сероводородом шестивалентного урана до четырехвалентного состояния с последующим его осаждением в виде  $\text{U}(\text{OH})_4$ . Для снижения степени осаждения урана за счет восстановительных реакций вплоть до устранения этого явления необходимо создание окислительной обстановки на фронте продвижения кислых растворов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-00552 мол\_а.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ МОЛИБДАТОВ ВИСМУТА, ЗАМЕЩЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАМИ ПА ГРУППЫ**

*Посохова С.М., Михайловская З.А.*

Уральский федеральный университет  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

Изучение соединений на основе  $\text{Bi}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$  представляет большой интерес как для теоретического исследования, так и для практического применения. Данные материалы проявляют большое разнообразие физических свойств, которое позволяет использовать данные соединения как ионные проводники, фотопроводники, катализаторы.

В данной работе был проведен синтез твердых растворов системы  $\text{Bi}_{2-x}\text{Me}_x\text{Mo}_3\text{O}_{12\pm\delta}$  (при  $x=0.4$ ). В качестве заместителей были выбраны  $\text{Me}=\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Sr}, \text{Ba}$ . Синтез был осуществлен по стандартной керамической технологии (из оксидов висмута ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), молибдена ( $\text{MoO}_3$ ) и карбонатов металла-допанта ( $\text{MeCO}_3$ )), методом соосаждения (растворимые соли были осаждены путем образования гидросоединений) и механоактивационным методом (из оксидов и карбонатов аналогично керамической технологии). Полученные данные РФА указывают на образование шеелитоподобных твердых растворов состава  $(\text{Bi}, \text{MeII})\text{MoO}_4$  и на наличие примесей. Морфология и состав образцов были исследованы с