

УДК 544.72

СОРБЕНТЫ СО СЛОИСТОЙ И КАРКАСНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ SR И Y ИЗ КАРБОНАТНОЙ СРЕДЫ

Д. В. ТРУНОВ, А. Ю. ТОМАШПОЛЬСКАЯ

Научный руководитель Г. О. КАЛАШНИКОВА, канд. техн. наук
Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН»
Апатиты, Россия

Эффективность сорбционных процессов существенно зависит как от структурных особенностей сорбента, так и от состава жидкой фазы. В литературе описано применение слоистых минералов (например, каолинита и биотита) в нитратных и хлоридных средах, однако при изменении состава раствора их сорбционные свойства могут кардинально меняться. Интерес представляет изучение сорбции в карбонатных средах, которые используются в радиохимии (в качестве эффективных элюентов и мягких щелочных сред, совместимых с фармпрепаратами), гидрометаллургии (карбонатное выщелачивание) и т. д. При этом данные о поведении различных по структуре минеральных матриц в концентрированных карбонатных растворах в литературе практически отсутствуют.

Для оценки потенциала слоистых материалов в условиях карбонатной среды, в качестве объектов исследования были выбраны следующие объекты исследования: нормандит, куплетскит, квинтинит, лампрофиллит, шунгит и биотит.

Эксперимент с этими образцами заключался в обработке минералов смешанным раствором солей, содержащем Y^{3+} (1 мг/л), Sr^{2+} (1 мг/л), Na_2CO_3 (2 М), в течение 24 ч. Затем образцы обрабатывали раствором кислоты HCl (0,1 М) в течение 2 ч.

Для анализа химического состава образцов и их обработанных форм была проведена подготовка срезов препаратов в виде эпоксидных шайб, залитых в специальные формы. Перед анализом каждый образец подвергался полировке на алмазных пастах. Анализ химического состава полированных срезов слоистых минералов осуществляли при помощи сканирующего электронного микроскопа LEO-1450 (Carl Zeiss Microscopy, ГИ ФИЦ КНЦ РАН), оснащенного рентгеновской энергодисперсионной системой AZtec с детектором ULTIMAX 100 (Oxford Instruments, ГИ ФИЦ КНЦ РАН). Анализ показал, что содержание Sr и Y в них находится ниже предела обнаружения прибора. Это указывает на отсутствие существенной сорбционной активности слоистых минералов по отношению к исследуемым элементам в высококонцентрированных карбонатных средах.

Эксперименты с минералами, обладающими каркасной структурой (зорит (ETS-4), иванюкит (SIV), линтисит (AM-4), натисит (Natisite)), заключались в обработке порошков сорбентов в статических условиях раствором сложного состава YCl_3 (1 мг/л по Y^{3+}), $SrCl_2$ (1 мг/л по Sr^{2+}), Na_2CO_3 (2 М) в течение 24 ч при постоянном перемешивании на магнитной мешалке. После контакта

с данным раствором образцы были дополнительно обработаны раствором HCl (0,1 М) в течение 30 мин. Также была проведена дополнительная серия экспериментов, в которой порошки предварительно обрабатывали раствором NaOH (0,1 М) в течение 10 мин, затем раствором HCl (0,1 М) в течение 10 мин, и только после этого раствором, содержащим Sr и Y.

Для контроля сорбции Sr и Y для выбранных сорбентов был проведен анализ состава растворов после эксперимента при помощи атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) на приборе Perkin Elmer Optima 2100DV (ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН).

Для расчета коэффициента распределения использована формула

$$K_d = \left(\frac{C_o - C_e}{C_e} \right) \cdot \frac{V}{m}, \quad (1)$$

где C_o – исходная концентрация элемента в растворе, мг/л; C_e – равновесная концентрация элемента в растворе, мг/л; V – объем раствора, мл; m – масса сорбента, г.

Результаты расчета представлены в табл. 1.

Табл. 1. Значения K_d для сорбентов SIV, AM-4, ETS-4 и Natisite

Схема обработки	K_d , см ³ /г	Сорбент			
		SIV	AM-4	ETS-4	Natisite
YCl ₃ + SrCl ₂ + Na ₂ CO ₃	Sr	9,4·10 ³	1,3·10 ⁴	4,0·10 ³	4,7·10 ²
	Y	5,6·10 ²	7,1·10 ³	3,1·10 ³	2,3·10 ²
NaOH → HCl → (YCl ₃ + SrCl ₂ + Na ₂ CO ₃)	Sr	1,9·10 ⁵	2,2·10 ³	6,0·10 ²	7,4·10 ²
	Y	8,8·10 ²	1,9·10 ²	2,9·10 ²	1,9·10 ²

Минералы с каркасной кристаллической структурой продемонстрировали высокую сорбционную способность; также для некоторых образцов (SIV, Natisite) наблюдается увеличение сродства после предварительной подготовки – дополнительное насыщение кристаллической структуры катионами Na⁺ и последующая декатионизация.

Отсутствие сорбции на слоистых минералах, вероятно, связано с блокировкой межслоевого пространства крупными карбонат-ионами и образованием устойчивых карбонатных комплексов Y в растворе, а также осаждения карбоната Sr, что снижает их способность к ионному обмену. Напротив, микропористая структура каркасных цеолитов (SIV, AM-4, ETS-4, Natisite) обеспечивает молекулярно-ситовой эффект и высокую селективность.

Работа выполнена в рамках Хоз. договора № 1/24 от 24.09.2024 НИР «Поиск и исследование минералов – природных сорбентов редкоземельных элементов и стронция», заключенного между СПбГУ и ФИЦ КНЦ РАН в рамках гранта РНФ № 24-63-00006.