

**КИНЕТИКА СОРБЦИИ УРАНА (VI) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
НАНОКОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ЦИРКОНИЯ
И ОКИСЛЕННОГО ГРАФЕНА**

Перлова О.В., Дзязько Ю.С., Иванова И.С., Огенко В.М., Мартовий И.С.

Перлова О.В., Иванова И.С., Мартовий И.С. – Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, Украина, г. Одесса, e-mail olga_perlova@onu.edu.ua

Дзязько Ю.С., Огенко В.М. – Институт общей и неорганической химии им. В.И.Вернадского НАН Украины, Украина, г. Киев.

Актуальной проблемой современной химической науки и смежных с ней отраслей знания (физика, материаловедение и др.) является поиск эффективных методов и инновационных материалов для извлечения небольших количеств высокотоксичных веществ, в частности, соединений урана (VI), из водных растворов, в том числе, из природных, производственных и сточных вод. Перспективным в этом отношении является сорбционный метод. Ранее [1-3] нами было показано, что органо-

неорганические сорбенты на основе ионообменных смол, содержащие наночастицы гидратированного диоксида циркония (ГДЦ) или гидрофосфата циркония (ГФЦ), достаточно эффективно поглощают соединения урана (VI) из модельных растворов. Применение неорганических нанокompозитов позволит повысить селективность сорбентов по сравнению с ранее изученными материалами. Для рационального использования сорбентов необходима информация о кинетике сорбционного процесса.

Данная работа посвящена изучению кинетики сорбции соединений урана (VI) композитами на основе соединений циркония и углеродных наноматериалов.

Сорбатами являлись катионы уранила (UO_2^{2+}), присутствующие в растворах, содержащих 0,01-0,20 ммоль/л $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ и 20 ммоль/л HNO_3 и имеющих pH 2.

В качестве сорбентов использовали ГДЦ и ГФЦ и их нанокompозиты (ГДЦ/ГО, ГФЦ/ГО) с окисленным графеном (ГО) [4]. ГО синтезирован по модифицированному методу Хаммера. Композиты состояли из наночастиц цирконийсодержащего сорбента (до 20 нм), на поверхности которого располагались наночастицы ГО (до 4 нм) или агрегаты из наночастиц ГО. Часть поверхности ГДЦ (ГФЦ) была свободной от частиц ГО. Удельная поверхность исследуемых сорбентов была близка к 400 м²/г.

Сорбцию урана изучали в статических условиях при расходе сорбентов 2 г/л, температурах 18 и 30⁰С, pH растворов 2 и 4.

Показано, что большая часть урана (55-70%) сорбируется за первые 4-6 часов проведения сорбции. Для достижения максимальной степени извлечения (90- 99%) уранил-ионов необходимо 24-90 часов в зависимости от условий проведения эксперимента. При изменении pH растворов от 2 до 4 скорость сорбции урана всеми изученными сорбентами возрастает.

При изучении кинетики сорбции использовали уравнения формальной кинетики, диффузионные модели (Бойда и Вебера-Морриса), модели псевдопервого и псевдовторого порядков. Расчеты с использованием уравнения формальной кинетики

$$\ln W_0 = n \cdot \ln C_0 + \ln k,$$

где W_0 – скорость сорбции при исходной концентрации урана C_0 ; n – кинетический порядок процесса; k – константа скорости сорбции, показали (табл.), что процесс сорбции урана всеми исследуемыми сорбентами описывается кинетическим уравнением первого порядка.

Таблица. Кинетические характеристики сорбции урана (VI)

Сорбент	$k, \text{ч}^{-1}$	n	R^2
ГДЦ	0,061	1,13	0,979
ГДЦ/ГО	0,051	1,06	0,981
ГФЦ	0,034	1,39	0,962
ГФЦ/ГО	0,198	1,05	0,998

R^2 - коэффициент линейной корреляции прямой

Численные значения энергии активации процесса, рассчитанные с использованием уравнения Аррениуса, лежат в пределах от 15,9 до 73,4 кДж/моль и свидетельствуют о том, что данный процесс происходит в диффузионной ($C_0(U)=0,02$ и $0,04$ ммоль/л), переходной ($C_0(U)=0,1$ ммоль/л) или кинетической области ($C_0(U)=0,2$ ммоль/л). Полученные результаты согласуются с расчетами, проведенными с применением диффузионных и кинетических моделей. Установлено, что сорбция урана из $0,02$ и $0,04$ мМ растворов протекает во внешнедиффузионном режиме и подчиняется модели псевдопервого порядка. Повышение концентрации растворов, из которых осуществляется сорбция урана, до $0,2$ ммоль/л, сопровождается увеличением вклада внутренней диффузии и, соответственно, переходом сорбции в смешаннодиффузионный режим. Вместе с этим наблюдается подчинение кинетики сорбции модели псевдодвухго порядка. Наиболее перспективным сорбентом для извлечения урана при данных условиях опытов является ГФЦ/ГО (табл.).

Литература

- [1] Perlova O., Dzyazko Yu., Halutska I. et. al. // Springer Proceedings in Physics. 2018. V. 210. P. 3-15.
- [2] Perlova N., Dzyazko Y., Perlova O. et. al. // Nanoscale Research Letters. 2017. V. 12. P. 209-217.
- [3] Dzyazko Yu.S., Perlova O.V., Perlova N.A. et. al. // Desalination and Water Treatment. 2017. V. 69. P. 142-152.