

**АДСОРБЦИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ЗОЛЕ УГЛЯ КАРА – КЕЧЕ****Оор металлдардын иондорунун Кара-Кече көмүрүнүн****күлүнө адсорбциялынышы****Adsorption of heavy metals ions on the ash of Kara - Keche coal**

**Аннотация:** исследована изотермическая адсорбция из водных растворов хлоридов меди (II), никеля (II) и кадмия (II) на золе угля Кара - Кече, полученной из механохимически диспергированного угля Кара-Кече.

**Аннотация:** жез (II), никель (II), кадмий (II) хлориддеринин механохимиялык жол менен диспергиленген Кара-Кече көмүрүнөн алынган күлүндөгү изотермиялык адсорбциясы изилденди.

**Annotation:** the isothermal adsorption from aqueous solution chlorides of copper (II), nickel (II), cadmium (II) on the ash of mechano chemical dispersed Kara - Keche coal have been studied.

**Ключевые слова:** изотермическая адсорбция; зола угля Кара-Кече; уравнение Ленгмюра; лиотропный ряд; ионы тяжелых металлов

**Негизги сөздөр:** изотермиялык адсорбция; Кара-Кече көмүрүнүн күлү; Ленгмюр теңдемеси; лиотроптук катар; оор металлдардын иондору.

**Keywords:** the isothermal adsorption; ash of Kara - Keche coal; Langmuir equation; lyotropic raw; heavy metals ions.

Использование отходов тепловых электростанций (ТЭС) имеет большое экономическое и экологическое значение. Ежегодно для захоронения большого количества шлаков требуются огромные площади [1]. В связи с этим возникает необходимость утилизации золы. Среди основных направлений использования золы выделяют следующие: производство концентратов редких металлов, таких как Ge, Ga, Sc, Re, производство некоторых видов сплавов типа ферросилиция, силумина, ферроалюмосилиция, производство глинозема, сульфата или хлорида алюминия; производство строительных материалов (цемент, кирпич, каменное литье, пенозол и т.д.); известкование кислых почв [2].

Для настоящей работы представляет большой интерес возможность использования золы угля Кара -Кече в качестве адсорбента. Согласно литературным данным, по составу зола близка к неорганическим катионообменникам — цеолитам, имеющим формулу  $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot k\text{Al}_2\text{O}_3$ . Несгоревшие частицы угля, присутствующие в золе, также являются активным адсорбентом по отношению к органическим малодиссоциирующим веществам [1]. Благодаря этим свойствам золу можно применять для очистки слабозагрязненных сточных вод.

**Эксперимент.** В настоящей работе выбор адсорбатов обусловлен тем, что ионы никеля, кадмия и меди относятся к так называемым ионам тяжелых металлов, довольно распространенным загрязнителям природных вод и оказывают негативное влияние на экологию и здоровье человека. К примеру, в организме человека избыток ионов меди может вызвать гемолиз, диарею, повредить печень, почки и дыхательные органы.

В предшествующих работах [3] обсуждалась адсорбционная способность таких составных частей угля Кара-Кече, как гуминовая кислота и гумин по отношению к ионам тяжелых металлов. В настоящей статье изучается адсорбционная способность золы угля Кара -Кече по отношению к ионам меди, никеля и кадмия.

Экспериментальная часть работы заключалась в проведении изотермической адсорбции из водных растворов хлоридов меди, никеля и кадмия на золе угля Кара-Кече при температуре 25<sup>0</sup>С. К растворам хлоридов исследуемых металлов (NiCl<sub>2</sub>, CdCl<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>) с заданными концентрациями объемом 50 мл, добавлялась навеска адсорбента (зола угля Кара – Кече) массой 0,1г. Гетерогенное равновесие в системе адсорбент – адсорбат (водные растворы хлоридов исследуемых металлов) устанавливалось в течение 24 часов в суховоздушном термостате марки ТС – 80М при T=298<sup>0</sup> К. При этом первые 2 часа фазы перемешивали через каждые 15 минут. После установления равновесия, адсорбаты отделяли от адсорбентов при помощи шприцевого фильтра с размерами

пор 5 мкм. Фильтрат использовали для определения равновесной концентрации растворов хлоридов исследуемых металлов (NiCl<sub>2</sub>, CdCl<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>) титрованием 0,1н раствором трилона Б [4]. Аликвота составляла 5 мл.

Количество вещества, адсорбированного из растворов (величина адсорбции), определялось по формуле [5-7]:

$$a = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m} \cdot 1000 \quad (1)$$

где  $C_0$  и  $C_p$  – начальные и равновесные концентрации адсорбата, М;  $V$  – объем раствора, из которого происходит адсорбция, л;  $m$  – количество адсорбента, г; 1000 – переводной множителей, применяемый для того, чтобы полученные в результате величины выражались в ммоль/г.

**Обсуждение результатов.** На рисунке 1 приведены экспериментально определенные при 25<sup>0</sup>С изотермы адсорбции из водных растворов хлоридов меди, никеля и кадмия, соответственно, на золе угля Кара–Кече.

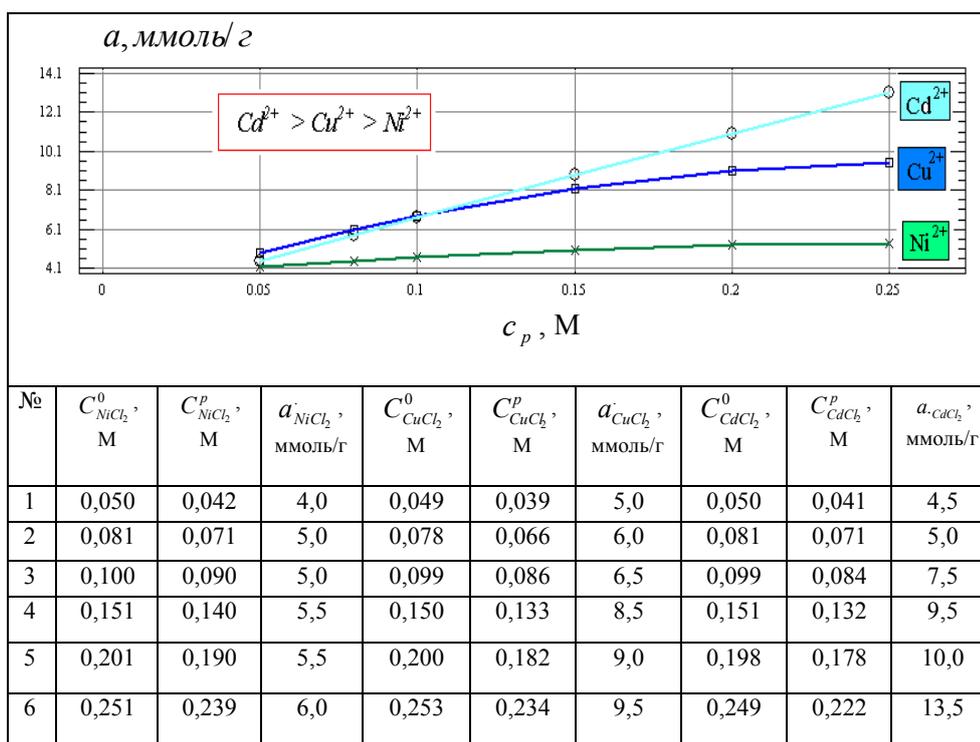


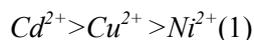
Рис.1 Изотермы адсорбции из водных растворов хлоридов никеля, меди и кадмия на золе угля Кара -Кече, определенные при 298<sup>0</sup>К

Сильные электролиты, к числу которых принадлежат хлориды меди, никеля и кадмия, адсорбируются в виде ионов. Ионная адсорбция может идти по двум основным механизмам:

- 1) эквивалентная или ионообменная адсорбция;
- 2) избирательная адсорбция ионов на кристаллах [5-7].

В связи с этим важными задачами настоящего исследования является установление типа и механизма адсорбции хлоридов меди (II), никеля (II) и кадмия (II) на золе угля Кара -Кече.

Из рисунка 1 видно, что изотермы носят классический ленгмюровский характер. Известно, что в ряду одинаково заряженных ионов их адсорбционная способность зависит от величины радиуса и степени гидратации [8]. В соответствии с проведенным экспериментом, по своей адсорбционной способности на золе угля Кара –Кече, исследуемые катионы можно расположить в следующий ряд:

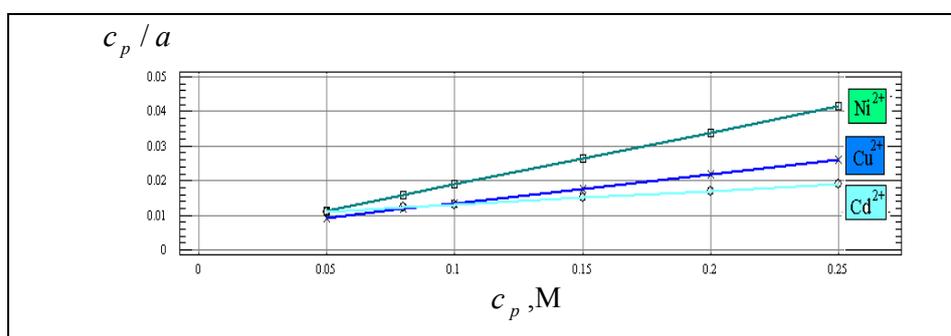


Данный ряд, полученный на основе экспериментальных измерений для адсорбции на золе угля Кара – Кече, находится в полном соответствии с лиотропными рядами. Подобную зависимость в соответствии с литературными данными объясняют таким образом, что чем больше кристаллографический радиус, тем выше поляризуемость ионов и тем лучше

они адсорбируются [5,6]. В нашем случае исследуемые ионы по кристаллографическим радиусам можно расположить в ряд:  $r_{Cd^{2+}} > r_{Cu^{2+}} > r_{Ni^{2+}}$ . Большие по размерам ионы кадмия и меди менее гидратированы, по сравнению с ионами никеля, что усиливает их адсорбционные свойства, поскольку гидратная оболочка ослабляет электростатическое притяжение [8].

В дальнейшем с целью определения адсорбционной емкости золы угля Кара-Кече и константы адсорбционного равновесия экспериментальные данные по адсорбции исследуемых электролитов на золе и гумине угля Кара-Кече обработаны в координатах линеаризованного уравнения Ленгмюра.

Соответствующие зависимости, а также параметры адсорбции, полученные методом линейной регрессии при использовании прикладного пакета программ «Statgraphicsplus» [9], приведены на рис.2. Отметим, что все зависимости носят линейный характер с высоким коэффициентом корреляции. Учитывая малые величины констант адсорбционного равновесия, можно предположить, что адсорбция исследуемых ионов на золе угля Кара -Кече является физической, обусловленной, например, электростатическим притяжением на соответствующем адсорбционном



## 20 Химия

центре  
исследуемого  
адсорбента,  
имеющем  
отрицательный  
заряд. Для  
определения  
механизма  
адсорбции  
исследуемых ионов  
двухзарядных  
металлов на золе  
угля Кара -Кече  
осуществлялся

контроль pH растворов  
исследуемых электролитов до и после адсорбции. Соответствующие данные  
представлены в таблице.

Рис.2. Определение констант линеаризованного уравнения Ленгмюра для адсорбции из водных растворов хлоридов никеля, кадмия и меди на золе угля Кара –Кече

Электролит		$\frac{c_p}{a} = \frac{1}{K \cdot a_\infty} +$			$a_\infty$ , ммоль/г	К
NiCl <sub>2</sub>		$\frac{c_p}{a} = 0.0039 + 0.15 \cdot c_p$			6.67	38.44
№	$pH_{NiCl_2}^0$	$pH_{NiCl_2}^p$	$\frac{c_p}{a} = 0.0052 + 0.083 \cdot c_p$	$pH_{CuCl_2}^p$	$pH_{CdCl_2}^0$	$pH_{CdCl_2}^p$
1	6,2	7,2	4,2	4,8	6,2	7,3
2	6,0	7,3	4,0	4,5	6,8	7,2
3	5,8	7,3	4,0	4,3	6,7	7,0
4	5,8	7,2	4,0	4,2	6,7	7,0
5	5,6	7,1	4,0	4,0	6,6	6,7
	5,8	6,9	3,8	4,0	6,6	6,7

Из таблицы видно незначительное защелачивание исследуемых растворов электролитов после адсорбции на золе угля Кара-Кече, что обусловлено свойствами самой золы.

Для того чтобы делать выводы о механизме адсорбции,

необходима информация о физико-химических свойствах, морфологии поверхности золы угля Кара-Кече. Исходя из имеющихся литературных данных о кристаллическом характере золы, можно предположить специфический механизм адсорбции исследуемых ионов тяжелых металлов на золе угля Кара-Кече. Например, ионы Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> электростатически закрепляются на отрицательных адсорбционных центрах адсорбента и притягивают противоионы, находящиеся в жидкой фазе со стороны раствора, формируя двойной электрический слой.

#### Литература

1. Переработка мусора. Инвестиции в будущее [Электронный ресурс]. Режим доступа:
2. <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/pererabotka-promishlennix-otxodov/utilizaciya-zoli-itoplivnix-shlakov> – Утилизация золы и топливных шлаков.
3. Золы природных углей – нетрадиционный сырьевой источник редких элементов / Г.Л. Пашков, С.В. Сайкова, В.И. Кузьмин, М.В. Панталева, А.Н. Кокорина //
4. Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии.– 2012. - № 2012 5 (5) – С. 521 – 523.
5. Сопоставительная характеристика адсорбции ионов тяжелых металлов из водных растворов на исходных и механохимически диспергированных природных углеродных матрицах / С.О. Карабаев, И.П. Гайнулина, А.К. Джунушалиева, С. Луговская, И.М. Локшина, А.А. Чугуев // Вестник КРСУ.- 2014.- Т.14.-№7. - С.54-60
6. Барсукова З.А. Аналитическая химия. - М.: Высш. шк.,1990. - 320 с.
7. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии - М.: Химия, 1964.-574с.
8. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368с.
9. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1989.- 463с.
10. Садовничая Л.П., Хухрянский В.Г., Цыганенко А.Я. Биофизическая химия – К.: Высшая школа, 1986. - 271 с.
11. Прикладной пакет статистических программ «Stat graphics plus for Windows 2.1». Демонстрационная версия.