

энергии, моторного топлива (в процентном отношении), а также обеспеченности территорий собственными энергосточниками (в % отношении к потребности) [3, 4]. При этом базу значений целесообразно формировать по следующим уровням: нормальное, предкризисное и кризисное состояние. Нормальное состояние определено при параметрах лучше порогового значения (при вхождении в предкризисное состояние). Предкризисное состояние наступает в том случае, если один из параметров имеет значение ниже предкризисного порога (при всех других параметрах лучше значений порога кризиса). Кризисное состояние наступает при значении хотя бы одного из параметров ниже порога кризиса. При проведении оценки ЭБСР введем следующие условные обозначения потребления: ТЭР ( $x_1$ ), изменение потребления ТЭР в диапазоне от  $n_1$  (max) до  $n_6$  (min), пороговое значение  $n_{11}$  (предкризисное), пороговое значение  $n_{16}$  (кризисное); потребление электроэнергии ( $x_2$ ), изменение потребления электроэнергии в диапазоне от  $n_2$  (max) до  $n_7$  (min), пороговое значение  $n_{12}$  (предкризисное), пороговое значение  $n_{17}$  (кризисное); потребление тепловой энергии ( $x_3$ ), изменение потребления в диапазоне от  $n_3$  (max) до  $n_8$  (min), пороговое значение  $n_{13}$  (предкризисное), пороговое значение  $n_{18}$  (кризисное); потребление моторного топлива ( $x_4$ ), изменение потребления моторного топлива в диапазоне от  $n_4$  (max) до  $n_9$  (min), пороговое значение  $n_{14}$  (предкризисное), пороговое значение  $n_{19}$  (кризисное); собственные энергосточники ( $x_5$ ), изменение

потребления в диапазоне от  $n_5$  (max) до  $n_{10}$  (min), пороговое значение  $n_{15}$  (предкризисное), пороговое значение  $n_{20}$  (кризисное). Численные значения  $n_1 \dots n_{20}$  определяют экспертным путем для каждого исследуемого региона по годам. База данных в развернутой формулировке записывается в следующем виде:

$n_{11} < x_1, n_{12} < x_2, n_{13} < x_3, n_{14} < x_4, n_{15} < x_5$  – нормальное состояние;  $n_{16} < x_1 < n_{11}, n_{17} < x_2, n_{18} < x_3, n_{19} < x_4, n_{20} < x_5$  – предкризисное состояние или  $n_{16} < x_1, n_2 < x_2 < n_{12}, n_{18} < x_3, n_{19} < x_4, n_{20} < x_5$  или  $n_{16} < x_1, n_{17} < x_2, n_{18} < x_3, n_{17} < x_2, n_{18} < x_3, n_{19} < x_4, n_{19} < x_4 < n_{14},$  и  $n_{20} < x_5,$  и  $n_{20} < x_5$  или  $n_{16} < x_1, n_{18} < x_3, n_{19} < x_4,$  и  $n_{20} < x_5 < n_{15}$ ; кризисное состояние  $x_1 < n_{16}$  и  $x_2 = x_3 = x_4 = x_5 =$  безразлично или  $x_1 =$  безразлично и  $x_2 < n_{17}$  и  $x_3 = x_4 = x_5 =$  безразлично или  $x_1 = x_2 =$  безразлично и  $x_3 < n_{18}$  и  $x_4 = x_5 =$  безразлично или  $x_1 = x_2 = x_3 =$  безразлично и  $x_4 < n_{19}$  и  $x_5 =$  безразлично, или  $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 =$  безразлично и  $x_5 < n_{20}$ .

#### Список литературы

1. Беззубцева М.М. Энергетика технологических процессов // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8-3. – С. 77-77.
2. Беззубцева М.М., Зубков В.В. К вопросу обеспечения социальной безопасности в системе энергобезопасности сельских территорий // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 6. – С. 144-145.
3. Беззубцева М.М., Ковалев М.Э. Электротехнологии переработки и хранения сельскохозяйственной продукции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 6. – С. 50-51.
4. Беззубцева М.М. Энергетический менеджмент и инжиниринг энергосистем (программа магистратуры) // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 1. – С. 44-46.

### Химические науки

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ ИОНОВ МЕДИ (II) МОДИФИЦИРОВАННЫМ ПРИРОДНЫМ СОРБЕНТОМ

Пимнева Л.А., Лебедева А.А.

Тюменский индустриальный университет, Тюмень,  
e-mail: l.pimneva@mail.ru

В настоящее время серьезной проблемой является загрязнение природных вод промышленными стоками, что ухудшает экологическую обстановку. Сточные воды, как правило, представляют собой сложные гетерогенные системы, содержащие неорганические и органические вещества, находящиеся в растворенном, коллоидном и нерастворенном состояниях. Основной вклад в загрязнение вносят гальванические и травильные производства. Эти производства требуют большого количества воды [4] для промывки обрабатываемых деталей, в результате чего происходит сброс большого количества отходов [5]. В связи с этим ведется поиск эффективных и экологически выгодных методов очистки сточных вод от цветных и тяжелых металлов.

Каолинит как природный минерал известен давно [1], является главным составляющим всех глин. Основа – это водные алюмосиликаты  $Al_4[Si_4O_{10}][OH]_8$  с небольшими примесями железа (III), магния, кальция, натрия, калия. Для каолинита характерна триклинная сингония  $a_0 = 5,14; b_0 = 8,90; c_0 = 14,45; \beta = 100^\circ 12'$  [1]. Цвет минерала от белого, нередко с желтым, буроватым, красноватым, иногда зеленоватым или голубоватым оттенком. Твердость около 1 по десятибалльной шкале. Удельный вес в пределах 2,58 – 2,60 г/см<sup>3</sup>. Каолинит не плавится, устойчив к HCl и HNO<sub>3</sub>, но при нагревании с H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> легко разлагается. При нагревании выше 300° каолинит полностью разрушается.

В последнее время глинистые минералы являются объектами многочисленных исследований [2, 3, 6] с использованием местного сырья для решения региональных экологических проблем. Это связано с очисткой сточных вод различного происхождения. Использование местного сырья для извлечения цветных металлов из сточных вод характеризуется

высокой экономичностью и малым расходом сорбента.

Целью настоящей работы является исследование сорбции ионов меди на модифицированном природном сорбенте. Используемый в работе калионит имеет следующий химический состав, %:  $\text{SiO}_2$  – 43,98;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 18,73;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,96;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,80;  $\text{CaO}$  – 0,06;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6,32; силикатный модуль  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 2,35. Характер сорбционного процесса ионов меди изучали на четырех формах каолинита. Использовали каолинит в нативной (природной форме) и химически модифицированной: Н-форма (каолинит обработан соляной кислотой); солевая Na-форма (обработан  $\text{NaCl}$ ); ОН-форма (обработан гидроксидом натрия).

Сорбцию катионов меди изучали в статических условиях из нитратных растворов с концентрациями 0,01; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 и 0,1 моль/л. Значение pH растворов в контакте с сорбентом во всех случаях не превышало 6,7.

Перед проведением эксперимента каолинит был рассеян на фракции. Для исследования использовали фракцию частиц размером 2,5 – 3,5 мм. Эксперименты проводили при температурах 298, 318, 333 К с использованием термостатированного шкафа с точностью  $\pm 1$  К.

В процессе извлечения  $\text{Cu}^{2+}$  происходит изменение его концентрации в растворе и в адсорбенте. Сорбцию ионов меди в статических условиях проводили методом переменных концентраций. Для этого сорбент в соответствующей ионной форме помещали в виде отдельных навесок массой 1,0 г в колбы с притертыми пробками на 100 мл. Каждую колбу с навеской сорбента заливали 50 мл раствора, содержащего исследуемый ион различной концентрации. Сорбент в контакте с исследуемым раствором выдерживали в течение 7 суток при соответствующей температуре. Затем отбирали аликвоты и определяли содержание поглощенных ионов по разности между концентрациями исходного и равновесного растворов. Концентрацию ионов меди в растворах определяли комплексонометрическим титрованием с индикатором ПАН в среде ацетатного буфера.

Статическую обменную емкость ( $\Gamma$ , ммоль/г) рассчитывали по уравнению:

$$\Gamma = \frac{(C_{\text{исх.}} - C_{\text{равн.}}) \cdot V_{\text{р-ра}}}{m_{\text{сорбента}}}$$

где  $C_{\text{исх.}}$  – исходная концентрация ионов меди и цинка в растворе, ммоль/л;  $C_{\text{равн.}}$  – равновес-

ная концентрация ионов меди и цинка, ммоль/л;  $V_{\text{р-ра}}$  – объем раствора, л;  $m_{\text{сорбента}}$  – масса сорбента, г.

В результате было установлено, что с увеличением концентрации ионов меди возрастает величина удельной сорбции. Полученные данные показывают, что солевая, щелочная и кислотная обработка каолинита приводит к увеличению сорбируемости ионов меди, по отношению к исходному сорбенту. Сорбционная емкость в солевой форме – 15,8; щелочной – 12,0; кислотной – 9,6; исходной – 7,4 ммоль/г.

У исходного каолинита, по-видимому, имеет место блокировка его активных центров. С увеличением концентрации сорбция на исходном каолините возрастает и в области 0,2 ммоль/л наблюдается перегиб, указывающий на изменение механизма сорбции. На первой ступени сорбции меди предельное значение не достигается и выше отмеченной концентрации сорбция проходит одновременно на различных активных центрах. Сорбция проходит по ионообменному механизму.

В заключении следует отметить, что каолинит в солевой форме обладает более высокой сорбционной способностью по отношению к ионам меди по сравнению с нативной формой каолинита.

По величине сорбционной способности каолинит в разных формах можно расположить в ряд: Na-форма > ОН-форма > Н-форма > нативная форма каолинита.

#### Список литературы

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии – учебное пособие / А.Г. Бетехтин. – М.: КДУ, 2007. – 720 с.
2. Иванова Е.С. Структура и сорбционные свойства Н-формы глины Луковского месторождения Псковской области / Е.С. Иванова, Ю.Ю. Гавриловская, В.Н. Пак // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2014. – Т. 14. – Вып. 2. – С. 254 – 259.
3. Калокова Е.Н. Адсорбция катионов марганца и железа природными сорбентами / Е.Н. Калокова, В.Т. Письменко, Н.Н. Иванская // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т. 10. – Вып. 2. – С. 194 – 200.
4. Николаев Е.Н. Кинетика ионного обмена на смолах / Е.Н. Николаев // Кинетика и динамика физической адсорбции. – М., 1973. – С. 32 – 37.
5. Николаев Н.И. Кинетика сорбции ионов меди комплексообразующими карбоксильными ионообменниками / Н.И. Николаев, А.А. Эфендиев, А.Т. Шахтинская // ДАН СССР – 1977. – Т. 235. – № 2. – С. 642 – 646.
6. Хурамшина И.З. Сорбционная доочистка медьсодержащих водных растворов / И.З. Хурамшин, А.Ф. Никифоров // Экология и промышленность России. – июнь 2013. – С. 29 – 31.