

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ ИОНОВ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА, ЦИНКА, НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА, СОДЕРЖАЩИХСЯ В СОСТАВЕ СТОЧНЫХ ВОД БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНОЙ

Мухторова Н.Б.<sup>1</sup>, Шарипова У.И.<sup>1</sup>, Шохакимова А.А.<sup>2</sup>, Сабилов Б.Т.<sup>2</sup>,  
Умиров У.Ф.<sup>2</sup>, Пулатов Х.Л.<sup>3</sup>, Миралимова А.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет

<sup>2</sup>Наваинское отделение Академии Наук Республики Узбекистан

<sup>3</sup>Ташкентский химико-технологический институт

**Аннотация.** В статье приведены результаты лабораторных исследований по изучению сорбции Cr (III, VI), Zn, Ni и Co на бентоните в широком интервале pH раствора и концентрации сортируемых компонентов, выявлены состояния микрокомпонентов в водных растворах, поиск оптимальных химических условий концентрирования, установления механизма определения их сорбции на глинистых адсорбентах на основе бентонитовой глины. Ионы указанных металлов в водных растворах подвергаются гидролизу, с образованием комплексных соединений. Установлено, что их сорбция на бентонитовых глинах начинается в основном при pH = 4-5 и завершается при pH > 7,5-10.

**Ключевые слова:** сорбция, адсорбент, сточные воды, pH, раствор, концентрация бентонит, монтмориллонит, ионы хрома, цинка, никеля, кобальта.

**Введение.** Как принято, процесс поглощения газообразных веществ или веществ из жидкой фазы жидкостями или твёрдыми телами называется *сорбцией*. В зависимости от агрегатного состояния веществ различают два вида сорбции: *абсорбция* – объемное поглощение газа жидкостью; *адсорбция* – поглощение газообразного или жидкого вещества объемом или поверхностью твердого тела [1].

В процессе адсорбции применяются разные виды адсорбентов, в том числе полученные на основе природных глинистых компонентов. Например при получении глинистых адсорбентов широко применяются бентонитовые глины, состоящие в основном слоистого алюмосиликатного минерала – монтмориллонита. Опубликованы ряд работ, посвященных исследованию химико-минералогического состава и сорбционных свойств бентонитовых глин и адсорбентов, полученных на их основе [2-9].

Химико-минералогический состав и свойства природных глин часто приводят к ограничению их практического применения в различных отраслях. В связи с этим заслуживают большого внимания исследования по модифицированию свойств глин, что является частью большой области работ, касающихся модифицирования свойств твердых тел. Адсорбционные

свойства глин могут быть существенно изменены в результате химического модифицирования. В результате модифицирования бентонита происходит изменение его поверхности, структуры, пористости и обменной емкости [10-11].

В настоящее время исследователями выявлена роль отдельных факторов, определяющих в конечном итоге величину сорбции, например, рН среды в узких пределах. Однако, многие из них изучены недостаточно. Весьма противоречивыми являются данные о влиянии состава и концентрации «фонового» электролита, мало изучено поведение микрокомпонентов при изменении концентрации их в широких пределах, состояние сорбентов в условиях сорбции. При этом менее всего изучена зависимость между состоянием сорбента, как, например, природными глинистыми адсорбентами, типа бентонит и величиной сорбции 3d – элементов и красителей в тех же условиях [12-20].

**Результаты экспериментов.** В ходе экспериментальных исследований процессы распределения следов элементов между раствором, твердой фазой гидроксидов и оксидов исследовались как в практических целях концентрирования, разделения и глубокой очистки веществ, так и для выяснения механизма элементарных актов, приводящих к сорбции микрокомпонентов. Известно, что Cr (III) в водных растворах подвергается гидролизу с образованием гидроксокатионов:  $\text{Cr}_2\text{OH}^{2+}$  (4,01 при  $t = 25^\circ\text{C}$ );  $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$  (6,60);  $\text{Cr}_2(\text{OH})_2^{4+}$  (2,69);  $\text{Cr}_2(\text{OH})_3^{3+}$  (8,85 при  $20^\circ\text{C}$ );  $\text{Cr}_4(\text{OH})_4^{6+}$ , где в скобках для гидроксокатионов указаны логарифмы константы гидролиза.

**Сорбция хрома (III).** В процессе проведения опытов по изучению сорбции хрома (III) на бентоните и порядки смещения реагентов во всех экспериментах при постоянстве остальных условий выполнялись принятые 3 серии опытов:

- к исходному слабокислому раствору, содержащему Cr бентонит и фоновый электролит, в котором находится осадок носителя, добавляется раствор КОН до нужного значения рН (со осаждение);

- к раствору, в котором находится осадок носителя – бентонит и фоновый электролит, добавляется  $\text{Cr}^{3+} \cdot a^g$  (сорбция на поверхности);

- в тех же условиях, но без носителя бентонита проводилось осаждение гидроксида Cr (III), так и его потери вследствие сорбции стенками сосудов и других причин.

Указанный порядок выполнения исследования процессов со осаждения позволяет разграничить как само со осаждение, так и совместное осаждение или сорбцию поверхности носителя.

Количество носителей в ходе исследований, бентонитовых глин соответствовало – 1 г/25мг, объем раствора – 50 мл, концентрация  $51_{\text{Cr}} - 4,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л. Отделение от осадка проводилось центрифугированием с ускорением 4500-5000. В качестве фоновых электролитов использовались растворы  $\text{KMnO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{KCO}_3$ , температура среды  $20-25^\circ\text{C}$ , время

соприкосновения раствора с осадком поддерживалось 30 мин. Со осаждение Cr (III) на бентоните в 1 мол HCl начинается при значениях pH, совпадающих с началом гидролиза хрома (III), то есть в интервале pH = 4,5-12. Сорбция и со осаждение  $4,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л Cr(III) на бентонитовых глин в 1 мол KNO<sub>3</sub> протекал аналогично графику (рис.1).

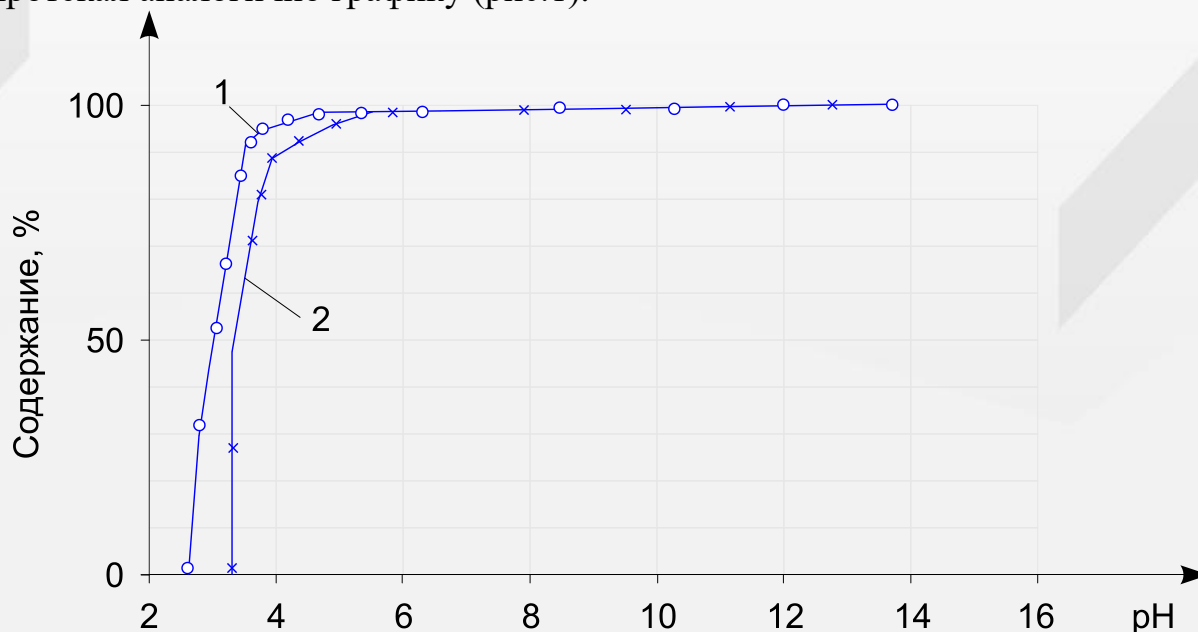
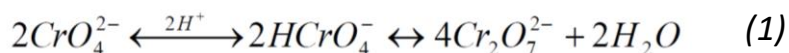


Рис.1. Соосаждение  $4,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л Cr (III) в 1 молярном растворе KCl на бентоните, 1 – соосаждение, 2 - сорбция.

Полученные данные можно объяснить протеканием следующих процессов. В кислой среде при pH > 3 начинается гидролиз хрома (III), с образованием, преимущественно, ионов  $\text{CrOH}^{2+}$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$  и  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , что частично обеспечивает гидролизные формы хрома с увеличением pH среды.

**Сорбция ионов хрома (VI)** на бентоните в различных условиях, можно сделать попытку сопоставить состояние анионных форм с характером его сорбции. Во время экспериментальных исследований можно было представить, что в зависимости от концентрации анионов хрома и кислотности раствора возможно образование  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCrO}_4^-$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , между которыми существует подвижное равновесие:

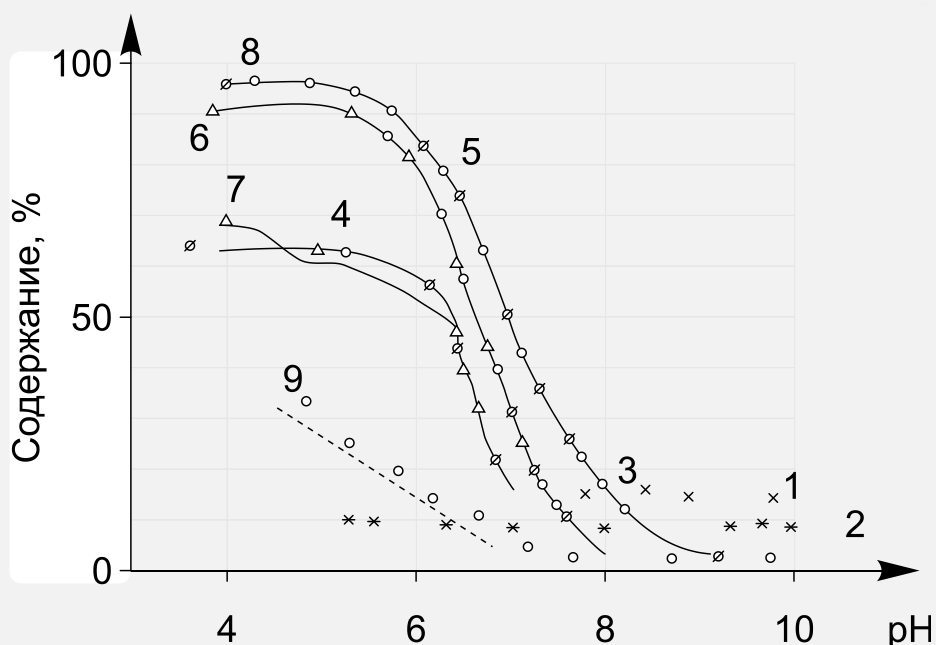


Сорбция хрома (VI) изучалась в зависимости от условий, в которых изменялось состояние ионов хромата от его концентрации, солевого фона и влияние химического состава, структуры и пористости природного адсорбента, типа бентонита в широком интервале pH среды (5,5-9,5). Нами была сделана попытка идентифицировать формы анионов хрома (VI) по их спектрам в УФ и видимой областях. Выяснилось, что для монохромата характерны два максимума поглощения при 260 и 365 нм, а для бихромата характерен один максимум – при 298 нм. Спектры поглощения снимали на спектрофотометре UVVIS при толщине поглощающего слоя L = 10 мм.

В проведенных экспериментах концентрации хрома (VI) изменялась в пределах от  $4,5 \times 10^{-5}$  моль/л до  $2,5 \times 10^{-4}$  мол/л; рН исходного раствора хромата был равен 7,8. Сорбции иона  $CrO_4^{2-}$  при концентрации его  $4,5 \times 10^{-5}$  мол/л и  $2,5 \times 10^{-4}$  мол/л в  $KNO_3$  на бентоните практически отсутствует (рис.2.) во всем изученном интервале рН.

Спектр поглощения исходного раствора идентичен спектру иона  $CrO_4^{2-}$  и хорошо согласуется с литературными данными. Следовательно, сорбция отсутствует, если в растворе находится до 7,5 в растворе, по видимому, устанавливается равновесие I. При отстаивании этого раствора в течение 10 суток рН не изменялся, что подтверждается с данными других исследователей.

Сорбция хрома при концентрации  $4,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л в моль  $KNO_3$  наблюдается в интервале рН 8-4 (рис.2), В этом интервале рН 4-6,5 происходит полное извлечение хрома из раствора (концентрирование).

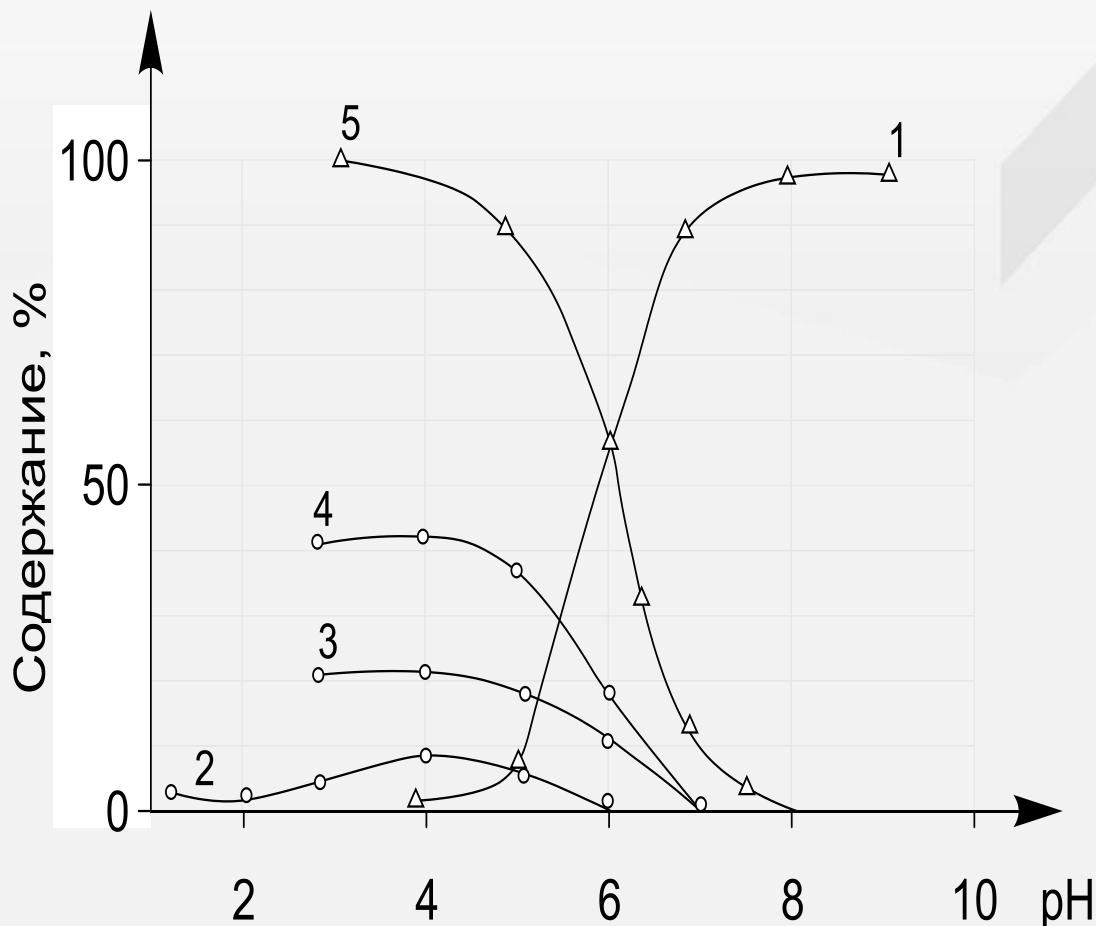


**Рис.2. Зависимость сорбции хрома (VI) от концентрации его и состава солевого фона при рН = 7,5-8 на бентоните**  
(1,2 - рН 8 1M  $KNO_3$ ,  $C_{Cr} = 4,5 \times 10^{-5} M$ ; 3,4 - рН 9 - 3.5 1M  $KNO_3$ ;  
5,6,7 - 1M  $NaNO_3$ ,  $C_{Cr} = 4,5 \times 10^{-5} M$ ; 8,9 - 1M  $NH_4NO_3$ )

Изменение состава фонового электролита не сказывается на величине сорбции хрома (рис 3.2.). Однако, сорбция в растворах  $KCl$ ,  $NaCl$  несколько меньше, чем в нитратах, следует отметить, что равновесие между ионами  $CrO_4^{2-}$ ,  $HCrO_4^-$  и  $Cr_2O_7^{2-}$ , зависит, прежде всего, от рН среды, поэтому влияние катионов  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$  и анионов  $Cl^-$  не сказывается на сдвиге равновесий и величине сорбции.

С целью сопоставления сорбции с состоянием ионов  $Cr(VI)$  в изученных условиях нами по константам диссоциации  $H_2CrO_4$  и образования  $Cr_2O_7^{2-}$  по уравнению баланса рассчитано распределение анионов в

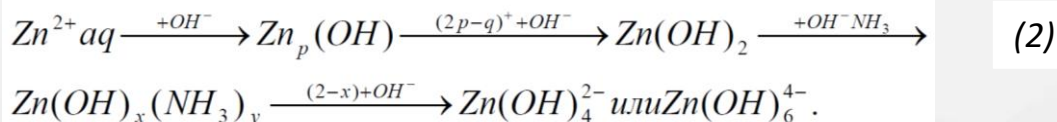
зависимости от pH и концентрации хрома (рис.3). С увеличением концентрации хрома  $4,5 \times 10^{-5}$  моль/л на  $2,5 \times 10^{-4}$  моль/л доля диаметра  $Cr_2O_7^{2-}$  возрастает, а доля  $H_2CrO_4$  уменьшается. При сопоставлении расчетных данных по состоянию хрома (VI) в растворе и результатов измерения сорбции видно, что с возрастанием доли  $Cr_2O_7^{2-}$  сорбция уменьшается.



**Рис.3. Распределение анионных форм хрома (VI) в зависимости от pH**

1-  $CrO_4^{2-}$ ; 2-  $Cr_2O_7^{2-}$ ; 3-  $CrO_4^{2-} = 4,5 \times 10^{-5}$ ; 4 -  $2,5 \times 10^{-4}$  моль/л,  
2- 5 -  $HCrO_4^-$ ;  $C_{Cr} = 4,5 \times 10^{-5}$ ;  $2,5 \times 10^{-4}$  м.

**Сорбция цинка.** Изменение состояния цинка в водных растворах в присутствии солей аммония может быть представлено схемой (без учета воды в координационной сфере) с ростом pH среды:



В настоящее время, для цинка известны гидрокатионы, образующиеся при гидролизе ионов цинка:  $ZnOH^+$  (6,31);  $Zn(OH)_2$ ; (11,19);  $Zn_2OH^{3+}$  (6,5);  $Zn_3(OH)^{5+}$ ;  $Zn_3(OH)_2^{4+}$ ;  $Zn_3(OH)_3^{3+}$ ;  $Zn_4(OH)_2^{6+}$  (14,68);  $Zn_4(OH)_3^{5+}$ , для которых в дальнейшем тексте, в круглых скобках, указаны логарифмы констант образования.



При растворении  $Zn(OH)_2$  в избытке щелочи обнаружены гидроксоанионы  $ZnOH_3^-$  (14,3);  $Zn(OH)_4^{2-}$  (17,7);  $Zn_2(OH)_6^{2-}$  (26,76) высказаны предположения о существовании других моно и поли ядерных гидроксоанионов, например,  $ZnOH_2^{2-}$ ;  $Zn(OH)_6^{4-}$  и  $Zn(OH)_8^{4-}$ .

С целью сопоставления результатов сорбции с состоянием цинка в растворе были выполнены расчеты содержанием отдельных форм (ионов) цинка и с целью выяснения механизма его, сорбции нами были использованы результаты экспериментов по рН - метрии. Концентрация аммиака в растворах солей аммония при различных рН среды рассчитывалась по формуле Бьеррума, согласно [100]. Со осаждение  $4,5 \cdot 10^{-5}$ м цинка (II) в растворе  $IMKNO_3$  возрастает с ростом рН от 0 до 99% и в щелочной среде (рН 12) уменьшается (рис.3.7.), вследствие образования цинком гидроксоанионов. В растворе нитрата аммония наблюдается рост сорбции до максимума и уменьшение сорбции, вследствие образования аминов цинка при дальнейшем повышении рН среды [101].

Осаждение гидроксида цинка при концентрации его  $4,5 \cdot 10^{-4}$ м в 0,1м  $KNO_3$  несколько меняется в зависимости от времени. По полученным экспериментальным данным можно вычислить:

$$P_{aZn(OH)_2} = [Zn^{2+}] + Zn^{2+} \dots aOH^{2+} = (6,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,33) \cdot (1,58 \cdot 10^{-7})^2 = 0,51 \cdot 10^{-17}$$
 при рН 7,2.

В процессе со осаждения цинка на бентоните большую роль играет состояние цинка в условиях со осаждения. В растворе  $KNO_3$  с различным рН среды цинк подвергается гидролизу; в определенной области рН выпадает гидроокись, растворяющаяся в щелочной среде.

Уравнение баланса в области гидролиза цинка имеет вид:

$$C_{Zn} = [Zn^{2+}] + [ZnOH^+] + [Zn(OH)_2] + [2ZnOH^+] + 3[Zn_3(OH)^{5+}] + [Zn_3(OH)_2^{4+}] + 3[Zn_3(OH)_3^{3+}] + 4[Zn_4(OH)_2^{6+}] + [Zn_4((OH)_1)^{4+}]$$

При расчете долей ионов в 1м  $NH_4NO_3$  использованы константы образования, приведенные в литературе, при чем выбраны только те константы, определение которых проводилось в условиях, близких к нашим экспериментальным условиям ( $\mu=1$ ;  $t=20-25^\circ C$ ; метод измерения – потенциометрический).

Для концентрации цинка  $4,5 \cdot 10^{-5}$ м при рН 8, то есть после первого максимума сорбции, из всех перечисленных выше ионов в растворе могут находиться ионы  $ZnOH(NH_3)^+$ ,  $Zn(NH_3)^{2+}$ ;  $Zn(NH_3)_3^{2+}$ ;  $Zn(NH_3)_4^{2+}$ ;  $Zn(OH)_2(NH_3)$ ;  $Zn(OH_3)(NH_3) \cdot bZn(OH)_4^{2-}$ .

Как видно из сопоставления экспериментальных данных по сорбции ионов цинка и расчетных данных, по состоянию его в тех же условиях, прекращение роста сорбции начинается при рН>7, то есть в условиях начала образования координационно-насыщенного иона  $Zn(NH_3)_4^{2+}$  (рН 9,5), хотя в данных условиях поверхность бентонитовых глин заряжена отрицательно. Дальнейшее повышение сорбции (второй максимум) совпадает с появлением в растворе комплекса  $Zn(OH)_2(NH_3)_2$ , способного к координации с носителем

через (ОН) группу. Уменьшение и прекращение сорбции обусловлено возрастанием ионов  $Zn(OH)_3NH_3^-$  и  $Zn(OH)_4^{2-}$ . Подтверждением координационного механизма сорбции могут служить и данные по рН – метрии.

**Рис. 4. Зависимость сорбции и распределение ионов цинка ( $C_{Zn}=4,5 \cdot 10^{-4}$  м) от рН среды в 1М  $KNO_3$ :**

1 - сорбция; доли ионов, 2 –  $Zn^{2+}$ , 3 –  $ZnOH^+$ ; 4 – осаждение ГО п ( $PP=10^{-17}$ ).

**Сорбция ионов никеля (II).** Сорбция никеля  $4,5 \cdot 10^{-5}$  г-ион/л в 1м  $KNO_3$  на бентонитовых глинах начинается при рН=5 и является полным в интервале рН=7,5-10. В этих условиях возможно концентрирование никеля с последующим отделением его от носителя пере осаждением, последнего при рН=5 или вливанием концентрированного раствора аммиака к осадку бентонитовых глин с последующей десорбцией никеля на поверхности осадка. Сорбция никеля в 1моль  $KNO_3$ , 1 моль  $NaClO_4$  и 1 моль  $KNO_3+0,5$  моль  $K_2CO_3$  практически одинаковы. В 1моль  $NH_4NO_3$  максимум со осаждения наблюдается при рН>7,9 (рис.5.) при повышении концентрации  $NH_4NO_3$  до 5М уменьшается со осаждение и сорбция в областях рН = 8,9-10,5, а также величина его и положение первого максимума на оси рН. С ростом щелочности раствора сорбция никеля падает до нуля в 2,5 растворе  $NH_4NO_3$  в интервале рН = 8,9-11.

Полученные данные наиболее удовлетворительно можно объяснить протеканием следующих процессов. В слабокислой среде при рН=5 начинается гидролиз ионов никеля с образованием, преимущественно, ионов  $Ni_4(OH)_4^{4+}$ , что подтверждается расчетами изменения доли гидролизированных форм при увеличении рН среды (рис.5). Расчеты выполнены по уравнению баланса с использованием имеющихся констант образования гидроксокатионов:

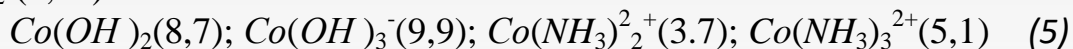
$$C_{Ni}=[Ni^{2+}]+[NiOH^+]+2[Ni_2OH^{3+}]+4[Ni_4(OH)_4^{4+}]$$

**Рис.5. Соосаждение никеля (II) на бентонитовых глин в 1 моль  $NaClO_4$  и 1 моль, 2,5 моль, 4 моль  $NH_4NO_3$**

1-3 - соосаждение, сорбция и осаждение в 1моль  $NaClO_4$ ; 4-6 – то же, в 1моль  $NH_4NO_3$ , 7-9 – то же, в 2,5 моль  $NH_4NO_3$ , 10-12 – то же, в 1моль  $NH_4NO_3$ .

Доли  $NiOH^+$  и  $Ni_2OH^{3+}$  незначительны по сравнению с долей тетраметра  $Ni(OH)_4^{4+}$ . Сорбция никеля на бентоните начинается только тогда, когда в растворе появляется  $Ni(OH)_4^{2+}$ , и не происходит, если в растворе находится только аквилонны.

**Сорбция ионов кобальта (II).** Систематическое изучение сорбции кобальта (II) в зависимости от ряда факторов, одновременно действующих на сорбцию его на бентоните не проводилось в том числе влияние pH среды, состава и концентрация солевого фона и т.д. В присутствии аммиака (до 1,08 мол/л Co(II)) образуются следующие комплексы и гидроксокомплексы:  $Co(OH)_2$  (8,70).



При этом, активные ионы Co (II) могут иметь форму октаэдрические  $Co(H_2O)_6^{2+}$  и частично тетраэдрические  $Co(H_2O)_4^{2+}$  строения, причем эти формы находятся в равновесии. По – видимому, аналогичное явление имеет место и при образовании аммиакатов Co (II). Учитывая все факторы, нами изучено влияние pH среды, присутствия аммиака и анионов нитрата на осаждение Co (II) при его концентрации от  $4,5 \times 10^{-4}$  моль/л. Солевым фоном служили растворы  $KNO_3$ ,  $NH_4NaO_3$ ,  $NH_4Cl$  и  $NHO_2$ . В ходе экспериментов использовали различный порядок смешения реагентов: бентонит (1,25 г) выделяли из кислой среды вместе с кобальтом (соосаждение); соль кобальта добавляли к бентониту (сорбция); в тех же условиях потери Co(II) следствии осаждения твердой фазы его, сорбция стенками сосудов и т.д. условно нами осаждалась.

Сорбция кобальта (II) на бентонитовых глинах в 1М  $KNO_3$  начинается при значениях pH, совпадающих с началом гидролиза Co (II), то есть при pH=5 и является полным в интервале pH 8,3-9 (рис.4.), в этих условиях возможно концентрирование Co (II), с последующим отделением его от носителя, переосаждением последнего при pH =5 или вливанием раствора, полученного при растворении сортированного микрокомпонента в минимальном количестве кислоты в концентрированный раствор аммиака. В присутствии нитрата аммония наблюдается два максимума со осаждения: при pH 7-7,5 и pH 10; с увеличением концентрации  $NH_4NO_3$  от 1 до 3 молей со осаждение уменьшается в области pH 7-10. Сорбция Co (II) падает до нуля  $b > 3$  моль  $NH_4NO_3$  при pH 8.

Вместе с тем, с увеличением концентрации соли наблюдается возрастные сорбции при pH=7, то есть в области гидролиза кобальта (II) (рис.5.).

**Рис.6. Состояние и сорбция Co (II) в 1М  $KNO_3$  1 и 2-доли ионов  $Co^{2+}$  и  $Co_4(OH)_4^{4+}$ , соответственно; 3 и 4 - осаждение гидроксида Co (II), соответственно**

**Заключение.** Глубина и полнота процесса сорбции хрома, цинка, никеля и кобальта зависят от многих факторов: от состава, содержания и взаимного влияния компонентов в сточных водах, от условий сорбции, состояния и технологических параметров сорбентов, от физико-химических характеристик и состояния микрокомпонентов и среды раствора. Экспериментальное исследование процесса сорбции комплексных форм



ионов хрома (III) показало, что сорбция ионов бентонитовых глин начинается при  $\text{pH} > 3$  с образованием гидроксокатионов типа  $\text{CrOH}^{2+}$ ,  $\text{Cr}(\text{HO})_2^+$  и  $\text{CrOH}_3$  и зависит от их концентрации, солевого фона и влияния химического состава, структуры и пористости бентонитовых глин в широком интервале  $\text{pH}$  среды (5,5 – 9,5). Установлено, что в интервале  $\text{pH} = 4-6,5$  происходит полное извлечение хрома из раствора и состава фонового электролита не оказывает существенного влияния. С повышением концентрации ионов хрома (VI) доля диаметра иона  $\text{CrO}_7^{2-}$  возрастает, а доля  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  уменьшается, что приведёт к уменьшению сорбции. Сточные воды имеют случайный химический состав солевого фона, как  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NO}_2^-$ . Эти анионы оказывают существенное влияние на процесс сорбции.

Ионы цинка (II) в водных растворах в результате гидролиза гидроксокатионы, а в аммиачных растворах – амино- и аминоксидрокси- комплексные ионы. Установлено, что процесс сорбции ионов цинка при  $\text{pH} > 4$  прекращается при  $\text{pH} > 7$ , когда образуются координационно - насыщенные ионы  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2-}$  при  $\text{pH} = 9,5$ . Второй максимум сорбции, связанный с образованием комплекса  $\text{Zn}(\text{OH})_2(\text{NH}_3)_2$ . Понижение сорбции связано с возрастанием ионов  $\text{Zn}(\text{OH})_3\text{NH}_3$  и  $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ .

Ионы никеля (II), также, в водных растворах подвергаются гидролизу, с образованием гидроксокатионов, а в аммиачной среде – аминоксидрокси- комплексы. Сорбция ионов никеля (II) на бентонитовых глинах начинается при  $\text{pH} = 5$  и завершается при  $\text{pH} > 7,5 - 10$ . Сорбция ионов никеля (II) начинается с образованием в растворе комплексных гидроксидов  $\text{Ni}(\text{OH})_4^{2-}$ .

Ионы кобальта (II) в водных растворах подвергаются гидролизу, с образованием гидроксоаквокатионов в растворах комплексов гидроксокомплекса. Сорбция ионов кобальта (II) на бентонитовых глинах начинается при  $\text{pH} = 6-9$ .

### Литература

1. Егоров Ю.В., Аркавенко Л.Н., Осипова О.А. Естествознание: словарь-справочник. Екатеринбург : Сократ, 2004. 432 с.
2. Балыкбаева Г. Т., Тамшыбаев С., Кыргызбаева А. М. ИК-спектры модифицированной бентонитовой глины // Вестник науки и образования. 2016. № 5 (17). С. 6-7.
3. Sabirov B., Akramov T. Prospekts of introduction of the innovative technologies of complex processing of bentonite raw materials of Uzbekistan. Proceedings of the Tashkent International Innovation Forum, Committee for Coordination of Science and Technologies Development under Cabinet of Ministires of the Republic of Uzbekistan, Tashkent.-2015.- p.155-159.
4. Salihanova D.S., Eshmetov I.D., Agzamova F.N., Eshmetov R.J., Agzamkhodjaev A.A., Sabirov B.T. Hydrochloric acid activation of bentonite clay from “Jahon” deposit and using it for cjttonseed oil bleach// European Applied Sciences, № 9, 2015. S. 64-67.
5. Шакирова В. В., Пакалова Е. В., Типишова А. В. Новый сорбент для очистки сточных вод от токсикантов органического и неорганического

происхождения // Научный потенциал регионов на службу модернизации. Астрахань : АИСИ. 2012. № 2 (3). С. 61-64.

6. Бадмаева С. В. Поверхностные электрические свойства бентонита в водной среде // Вестник Бурятского Государственного Университета. 2014. № 3. С. 29-31.

7. Sabirov B.T., Kadirova Z.R., Pulatov Kh.L., Tairov S.S., Ergashev Sh. T. Research of the basic physical and chemical properties of bentonite clays of perspective deposits of Uzbekistan //EURO ASIA 8th. International Congress on applied sciences, March 15-16, 2021, Uzbekistan, Tashkent. p.318. [www.euroasiacongress.org](http://www.euroasiacongress.org).

8. Дмитриева Е. Д., Горячева А. А., Сундюкова К. В., Музафаров Е. Н. Сорбционная способность природного и модифицированного монтмориллонита по отношению к ионам меди в присутствии органических кислот // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. С. 813-820.

9. Bakatula E.N., Cukrowska E.M., Weiersbye I.M., Mihaly-Cozmuta L., Tutu H. Removal of toxic elements from aqueous solution using bentonite modified with L-histidine// Water Science and Technology. - 2014. - Т. 70. - Вып. 12. - С. 2022-2030.

10. Bo Meng, Qiaoxia Guo, Xiaoping Men, Shenyong Ren, Wenlong Jin, Baojian Shen. Modified bentonite by polyhedral oligomeric silsesquioxane and quaternary ammonium salt and adsorption characteristics for dye. // Journal of Saudi Chemical Society. Available online 28 January 2020. Электронный ресурс. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.01.007>.

11. Suranjana Datta Chaudhuri, Arup Mandal, Ayan Dey, Debabrata Chakrabarty. Tuning the swelling and rheological attributes of bentonite clay modified starch grafted polyacrylic acid based hydrogel// Applied Clay Science. Volume 185, February 2020, 105405. Электронный ресурс. URL: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105405>.

12. Беленова, С.В., Вигдорович В.И., Шель Н.В., Цыганкова Л.Е. Сорбционная способность природных сорбентов // Вестник ТГУ. – 2015. – № 2. – С. 388-396

13. Dilmurod Azimov, Sadritdin Turabjanov, Rano Nazirova, Farrukh Igitov, Khayrulla Pulatov, Dilshod Tursunov. Investigation of the sorption of molybdenum by anion exchanger of the polycondensation type // AIP Conf. Proc. 2432, 050060 (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0090584>

14. Khayrulla Pulatov, Tulkun Tursunov, Rano Nazirova, Umida Sharipova, Alisher Yuldashev, Nigora Mukhtarova, Obtaining phosphoric cation-exchange resin for waste water treatment // AIP Conf. Proc. 2432, 050061 (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0090493>

15. Никитина, Н.В. Физико-химические свойства сорбентов на основе бентонитовых глин, модифицированных полигидроксокатаионами железа (III) и алюминия методом «соосаждения» // Н.В. Никитина, Д.Н. Комов, И.А. Казаринов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2016. – № 2. – С. 191-199

16. Ding M. XPS studies on the electronic structure of bonding between solid and solutes: Adsorption of arsenate, chromate, phosphate,  $Pb^{2+}$ , and  $Zn^{2+}$  ions on amorphous black ferric oxyhydroxide [Text] / M. Ding, B.H.W.S. De Jong, S.J. Roosendaal, Vredenberg A. *Geochim. // Cosmochimica Acta.* – 2000. – №64 (7). – P.1209–1219

17. Куртукова Л. В., Сомин В. А., Комарова Л. Ф. Изменение свойств бентонитовых глин под действием различных активаторов // Ползуновский вестник. 2013. № 1. С. 287-289.

18. Мосталыгина Л. В., Чернова Е. А., Бухтояров О. И. Кислотная активация бентонитовой глины // Вестник ЮУрГУ. 2012. № 24. С. 57-61.

19. Мухторова Н.Б., Алиев Б.А., Сабиров Б.Т. Исследование химико-минерало-логического состава шафиркан-ской бентонитовой глины для получения новых сорбентов. // International Scientific Journal “Science and Innovation”, 2022, № 3, p.168-175. <http://scientists.uz/uploads/202203/A-32.pdf>.

20. Бочкарев Г.Р., Пушкарева Г.И., Коваленко К.А. Применение природных минералов в решении экологических проблем предприятий горно-промышленного комплекса // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2014. – № 4. – С. 74-79.