

**АДСОРБЦИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ БЕНТОНИТОМ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫМ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ,  
ПОСЛЕ КИСЛОТНОЙ АКТИВАЦИИ**

*Атаманова О.В., доктор технических наук, профессор,  
Тихомирова Е.И., доктор биологических наук, профессор,  
Веденеева Н.В., кандидат биологических наук,  
Глубокая А.С., аспирант,  
Подоксенов А.А., аспирант,  
Саратовский государственный технический  
университет им. Ю.А. Гагарина*

*Аннотация:* в настоящее время не вызывает сомнений необходимость поиска новых более совершенных методов и средств очистки сточных вод промышленных предприятий. К эффективным методам очистки водной среды относится метод адсорбции. Одним из сорбционных материалов является бентонит, модифицированный разными способами (обжигом, добавлением органических составляющих и др.). Лабораторные исследования проводились на бентоните Саригюхского месторождения (Республика Армения). Экспериментальным путем была исследована адсорбционная способность бентонита, модифицированного углеродными нанотрубками с обжигом при температуре 550°C, подвергшегося активации кислотой HCl. Установлено, что кислотная (HCl) активация бентонита, модифицированного углеродными нанотрубками и обожженного при 550°C, способствует повышению его адсорбционной активности по отношению к ионам никеля (II) и кадмия (II). Степень адсорбционного извлечения ионов никеля (II) после активации указанного адсорбента HCl возрастает на 10%, а степень адсорбционного извлечения ионов кадмия (II) после аналогичной активации увеличивается на 11%. Найдены характеристики эффективности адсорбции ионов никеля (II) и кадмия (II) в статических условиях бентонитом, модифицированным углеродными нанотрубками и обожженным при 550°C, подвергшимся кислотной активации HCl и без нее. Наибольший адсорбционный эффект по отношению к ионам указанных металлов проявил бентонит, модифицированный углеродными нанотрубками, обожженный при 550°C и активированный кислотой HCl. Его характеристики: по отношению к ионам Ni<sup>2+</sup>: COE = 852,0 мг-экв/г, K<sub>d</sub> = 243,42 мг/дм<sup>3</sup>, S = 95,4 %; к ионам Cd<sup>2+</sup>: COE = 950 мг-экв/г, K<sub>d</sub> = 263,89 мг/дм<sup>3</sup>, S = 92,0%. Результаты проведенных лабораторных исследований позволили рекомендовать бентонит, модифицированный углеродными нанотрубками, обожженный при 550 °C и активированный кислотой HCl, в качестве сорбционного материала для очистки сточных вод от ионов никеля (II) и кадмия (II).

*Ключевые слова:* адсорбция, модифицированный бентонит, углеродные нанотрубки, кислотная активация, ионы никеля (II), ионы кадмия (II), статическая обменная емкость, коэффициент межфазного распределения, степень адсорбционного извлечения

## ADSORPTION OF HEAVY METAL IONS BY BENTONITE MODIFIED WITH CARBON NANOTUBES AND ACTIVATED WITH ACID

*Atamanova O.V., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,  
Tikhomirova E.I., Doctor of Biological Sciences (Advanced Doctor), Professor,  
Vedeneeva N.V., Candidate of Biological Sciences (Ph.D.),  
Glubokaya A.S., Postgraduate,  
Podoksenov A.A., Postgraduate,  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov*

**Abstract:** *at present, there is no doubt about the need to search for new, more advanced methods and means of treating industrial wastewater. The adsorption method is one of the effective methods for purifying the aquatic environment. One of the sorption materials is bentonite, modified in different ways (by roasting, adding organic components, etc.). Laboratory studies were carried out on the bentonite of the Sarigyukh deposit (Republic of Armenia). The adsorption capacity of bentonite modified with carbon nanotubes with roasting at a temperature of 550°C and subjected to activation with HCl acid was investigated experimentally. It was found that acidic (HCl) activation of bentonite modified with carbon nanotubes and calcined at 550°C promotes an increase in its adsorption activity towards nickel (II) and cadmium (II) ions. The degree of adsorptive extraction of nickel (II) ions after activation of the specified adsorbent with HCl increases by 10%, and the degree of adsorptive extraction of cadmium (II) ions after a similar activation increases by 11%. The characteristics of the efficiency of adsorption of nickel (II) and cadmium (II) ions under static conditions were found with bentonite modified with carbon nanotubes and fired at 550°C, subjected to acid activation with HCl and without it. Bentonite modified with carbon nanotubes, calcined at 550°C and activated with HCl acid showed the greatest adsorption effect with respect to the ions of these metals. Its parameters: in relation to Ni<sup>2+</sup> ions: COE = 852.0 mg-eq/g, Kd = 243.42 mg/dm<sup>3</sup>, S = 95.4%; to Cd<sup>2+</sup> ions: COE = 950 mg-eq/g, Kd = 263.89 mg/dm<sup>3</sup>, S = 92.0%. The results of laboratory studies made it possible to recommend bentonite modified with carbon nanotubes, fired at 550° C and activated with HCl acid as a sorption material for purifying wastewater from nickel (II) and cadmium (II) ions.*

**Keywords:** *adsorption, modified bentonite, carbon nanotubes, acid activation, nickel (II) ions, cadmium (II) ions, static exchange capacity, interfacial distribution coefficient, degree of adsorption extraction*

### Введение

Современная интенсификация и химизация разных видов промышленных производств во многих случаях способствует ухудшению качества природной среды. Достаточно часто негативное воздействие на поверхностные природные водоемы оказывают предприятия химической, фарма-

цевтической, строительной индустрии. Не достаточно качественная очистка производственных стоков приводит к засорению, загрязнению, пересыханию, обмелению, потере водной биоты рек, озер, прудов. Результаты мониторинга качества воды р. Волги, которая в настоящее время представляет собой каскад Волжских водохранилищ,

показывают, что в нижнем течении реки присутствует постоянное (вне зависимости от времени года) превышение ПДК<sub>рх</sub> по ионам некоторых тяжелых металлов, легко- и трудноокисляемым органическим соединениям в несколько раз [1, 2]. Поэтому необходимость поиска новых более совершенных методов и средств очистки сточных вод промышленных предприятий в настоящее время не вызывает сомнений. В числе одного из наиболее эффективных методов очистки водной среды следует отметить метод адсорбции. В настоящее время адсорбционная очистка воды является неотъемлемой частью технологических процессов большинства станций водоочистки и водоподготовки. Метод адсорбции позволяет извлекать из водных растворов довольно высоких концентраций тяжелые металлы, ароматические соединения и др. токсиканты до таких значений, что при той же себестоимости процесса невозможно извлечь ни одним другим методом очистки воды [3-5].

В последнее время особенной популярностью среди сорбционных материалов пользуются аллюмосиликатные глины. Они показывают достаточно высокую эффективность адсорбционной очистки природных загрязненных и сточных вод [6]. В Российской Федерации и за рубежом для этих целей применяется дешевый и доступный природный материал – бентонит. Повышение адсорбционной эффективности природного бентонита удается достичь путем его модифицирования разными способами (высокотемпературной обработкой, органическими добавками и др.). Для повышения эффективности извлечения из раство-

ра воды ионов тяжелых металлов (на примере  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$ ) было предложено подвергнуть гранулы бентонита, модифицированного углеродными нанотрубками (УНТ), химической активации кислотой. Известно [7], что при кислотной активации на начальном этапе обменные катионы будут замещаться на ионы водорода, образуя тем самым Н-бентонит. Далее будет протекать процесс вымывания структурных катионов в такой последовательности:  $Mg^{2+} > Fe^{2+} > Fe^{3+} > Al^{3+}$ . Наилучшим будет считаться результат, обеспечивающий наиболее высокую сорбционную способность материала при меньших концентрациях растворов кислот, сравнительно невысоких температурах и ограниченном времени активации.

Важность проблемы поиска наиболее эффективных адсорбционных материалов для очистки особо загрязненных сточных вод предприятий обосновала необходимость дальнейшего изучения сорбционных свойств модифицированных бентонитов после кислотной активации.

### Материалы и методы

Объектами исследования являлись модельные водные растворы соединений  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$  и  $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ , содержащие ионы  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  в концентрациях 0–30 мг/дм<sup>3</sup>. Адсорбция изучалась в статических условиях.

Исследования проводились на сорбционном материале, представляющем бентонит (Саригюхское месторождение в Республике Армения), модифицированный УНТ и обжиге (550°C). Исходный бентонит Саригюхского месторождения имеет следующий состав (табл. 1).

Таблица 1

**Химический состав бентонита Саригюхского месторождения**

Химическое соединение	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Доля, %	65,9	10,0	7,6	0,4	0,5	0,9	0,5	0,1	2,3	1,8

Состав бентонита, модифицированного углеродными нанотрубками (УНТ), имел соотношение – бентонит: УНТ = 100: 0,02 (масса УНТ составляла 0,02% относительно массы бентонита). Исходная бентонитовая глина просушивалась в СВЧ-поле с мощностью 600 Вт 5-7 минут, что позволяло уменьшить ее влажность до 5%. После чего бентонит измельчался до размеров частиц  $\leq 5$  мкм и подвергался гранулированию посредством вихревой окатки в грануляторе-смесителе типа ОВП при постепенной подаче смачивателя со скоростью 10-20 мл/мин. Далее бентонитовые гранулы обжигались 2 часа при температуре 550°C в инертной бескислородной среде [8]. Состав смачивателя для изготовления бентонитовых гранул – вода: УНТ = 100 : 0,04 (объем УНТ составлял 0,04% от объема H<sub>2</sub>O). Смачиватель приготавливался в ультразвуковой ванне (интенсивность ультразвукового излучения составляла 2,5 Вт/см<sup>2</sup>) при постепенном добавлении УНТ в дистиллированную воду.

Приготовленные бентонитовые гранулы подвергались кислотной активации. Для чего навеска из 60 г гранул бентонита, модифицированного УНТ, помещалась в мерный стакан объемом 400

мл, предварительно промывалась до состояния удаления из бентонита пылевого осадка, а затем замачивалась в воде на 24 часа. После этого бентонит размещался в чашку Петри, дно которой было выстлано фильтровальной бумагой, и высушивался при температуре  $\approx 20^\circ\text{C}$ . Из полученной воздушно-сухой массы бентонита для каждого эксперимента бралась навеска 10 г.

Кислотная активация сорбента состояла в следующем. К навеске бентонитовых гранул приливалось 10 мл 9%-го раствора HCl. Далее раствор соляной кислоты с бентонитовыми гранулами интенсивно перемешивался в течение часа, а затем оставлялся на 6 часов в стакане при комнатной температуре. После выдерживания бентонита в кислоте раствор удалялся, а бентонитовые гранулы промывались дистиллированной водой до полной нейтрализации кислотности, и просушивались на воздухе при комнатной температуре до получения воздушно-сухого состояния гранул сорбционного материала. Гранулы Саригюхского бентонита, модифицированного УНТ с обжигом при температуре 550°C, до и после кислотной (HCl) активации показаны на рис. 1.

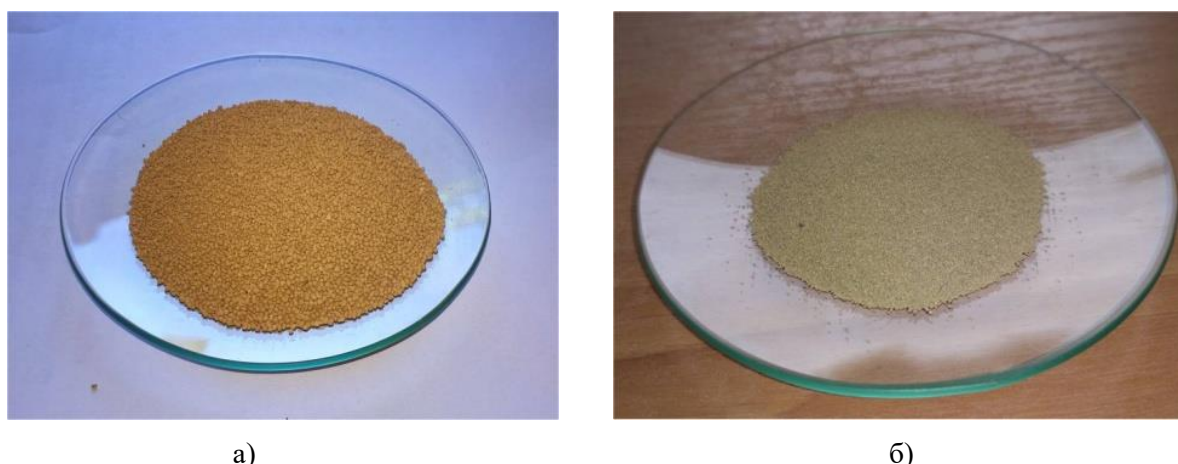


Рис. 1. Бентонит, модифицированный УНТ и обожженный при температуре 550°C: а) без активации кислотой; б) после активации кислотой

Основным методом исследования являлся метод фотометрии, который был реализован на спектрофотометре ПЭ-6100УФ (изготовитель Shanghai Marada Instruments Co., Ltd, Китайская народная Республика), и последующей статистической обработкой результатов. Содержание ионов никеля (II) определялось согласно ПНД Ф 14.1:2.46-96 [9]. Метод основан на взаимодействии ионов никеля в слабоаммиачной среде в присутствии сильного окислителя с диметилглиоксимом, что способствует окрашиванию раствора в красный цвет. Оптическая плотность раствора измерялась при длине волны 445 нм.

Содержание ионов кадмия (II) определялось согласно ПНД Ф 14.1:2.45-96 [10]. Метод основан на взаимодействии кадмия с дитизоном с образованием комплекса, экстрагируемого четыреххлористым углеродом, с образованием малиново-розового цвета. Оптическая плотность раствора измерялась при длине волны 515 нм.

Для статистической обработки результатов экспериментов использовался пакет программ Statisticafor Windows 6.0 с учетом критериев Стьюдента и Фишера.

Лабораторные эксперименты и обработка их результатов осуществлялись в Научно-образовательном центре «Промышленная экология» кафедры экологии и техносферной безопасности СГТУ имени Гагарина Ю.А.

### Результаты и обсуждение

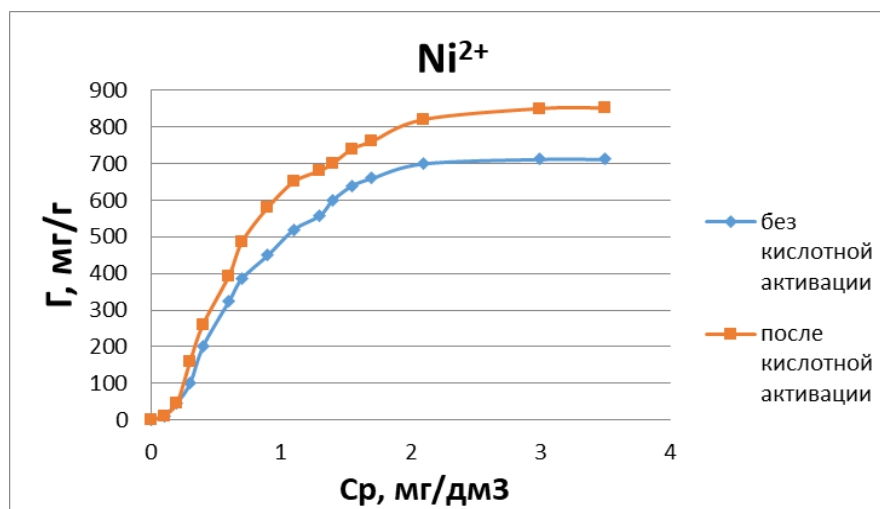
Для установления эффективности адсорбции ионов  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  изучаемым сорбционным материалом по результатам лабораторного эксперимента рассчитывались равновесные концентрации  $C_p$  ионов этих металлов.

Расчет величин адсорбции выполнялся по формуле [11]:

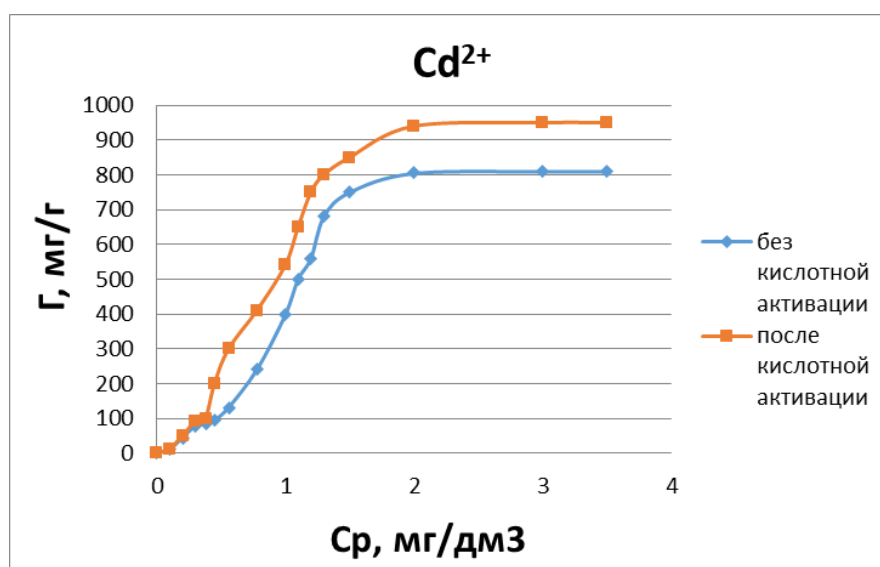
$$G_i = \frac{(C_{0i} - C_{pi}) \cdot V}{m}, \text{ мг/г}, \quad (1)$$

где  $C_{0i}$  – исходная концентрация ионов металла в растворе,  $C_{pi}$  – равновесная концентрация ионов металла в растворе (мг/дм<sup>3</sup>);  $V$  – объем раствора (дм<sup>3</sup>);  $m$  – масса навески сорбционного материала (г).

Изотермы адсорбции ионов  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  бентонитом, модифицированным УНТ с обжигом при 550°C без кислотной активации и тем же бентонитом, но прошедшем кислотную активацию соляной кислотой, в зависимости от равновесных концентраций  $C_p$  представлены на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Изотермы адсорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  (а) и  $\text{Cd}^{2+}$  (б) в зависимости от равновесных концентраций  $C_p$  на бентоните, модифицированном УНТ и обжиге при  $550^\circ\text{C}$  с активацией  $\text{HCl}$  и без нее, в статических условиях

Расчеты статической обменной емкости  $\text{COE}$  (мг-экв/г) сорбционных материалов проводился в соответствии с [12], поскольку  $\text{COE} = \Gamma_\infty$ , где  $\Gamma_\infty$  – предельная величина адсорбции, выраженная в мг-экв/г.

$\text{COE}$  (мг-экв/г) рассчитывалась по формуле [12]:

$$\text{COE} = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}, \quad (2)$$

где  $C_0$  – исходная концентрация ионов изучаемых металлов в растворе,  $C_p$  – равновесная концентрация ионов изучаемых металлов в растворе (мг-экв/дм<sup>3</sup>);  $V$  – объем раствора (дм<sup>3</sup>),  $m$  – масса навески адсорбента (г).

Полученные значения  $\text{COE}$  исследуемых бентонитов при адсорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  показаны в табл. 2.

Таблица 2

Значения COE исследуемых бентонитов при адсорбции ионов Ni<sup>2+</sup> и Cd<sup>2+</sup> (T=20oC)

Адсорбированный ион	Наличие у адсорбента кислотной активации	$\overline{COE}$ , мг-экв/г	s <sup>2</sup>	σ	ΔCOE, мг-экв/г	$\overline{COE} \pm \Delta COE$ , мг-экв/г
Ni <sup>2+</sup>	адсорбент без активации HCl	712	0,03	0,16	±0,40	712,00±0,40
	адсорбент активирован HCl	852	0,02	0,13	±0,32	852±0,32
Cd <sup>2+</sup>	адсорбент без активации HCl	810	0,03	0,18	±0,44	810,00±0,44
	адсорбент активирован HCl	950	0,02	0,141	±0,35	950±0,35

Следующим этапом исследований было определение коэффициента межфазного распределения K<sub>d</sub> (мг/дм<sup>3</sup>) ионов Ni<sup>2+</sup> и Cd<sup>2+</sup> между водной фазой и фазой адсорбента, которое рассчитывалось по формуле [4, 13]:

$$K_d = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{C_p \cdot m} \quad (3)$$

Объединив зависимости (2) и (3), получим выражение:

$$K_d = \frac{COE}{C_p} \quad (4)$$

Значения коэффициента межфазного распределения K<sub>d</sub> при адсорбции ионов Ni<sup>2+</sup> и Cd<sup>2+</sup> на бентоните, модифицированном УНТ и обжиге при 550°C с активацией HCl и без нее, в статических условиях приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения K<sub>d</sub> для адсорбции ионов Ni<sup>2+</sup> и Cd<sup>2+</sup> исследуемым сорбционным материалом (T=20o C)

Адсорбированный ион	Наличие у адсорбента кислотной активации	$\overline{K_d}$ , мг/дм <sup>3</sup>	s <sup>2</sup>	σ	ΔK <sub>d</sub> , мг/л	$\overline{K_d} \pm \Delta K_d$ , мг /дм <sup>3</sup>
Ni <sup>2+</sup>	адсорбент без активации HCl	203,43	0,02	0,148	±0,34	203,43±0,34
	адсорбент активирован HCl	243,42	0,05	0,23	±0,56	243,42±0,56
Cd <sup>2+</sup>	адсорбент без активации HCl	225	0,05	0,22	±0,54	225,00±0,54
	адсорбент активирован HCl	263,89	0,04	0,20	±0,48	263,89±0,48

Далее выполнялся расчет степени адсорбционного извлечения  $S$  (%) ионов  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  исследуемым сорбционным материалом из раствора по формуле [4, 13]:

$$S = \frac{C_0 - C_p}{C_0} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Полученные значения степени адсорбционного извлечения  $S$  (%) ионов  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  исследуемым сорбционным материалом приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Значения степени адсорбционного извлечения ионов  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  при адсорбции исследуемым сорбционным материалом ( $T=20$ о С)**

Адсорбированный ион	Наличие у адсорбента кислотной активации	$S, \%$	$s^2$	$\sigma$	$\Delta S, \%$	$S \pm \Delta S, \%$
$Ni^{2+}$	адсорбент без активации HCl	84,2	0,99	0,99	$\pm 2,47$	$84,2 \pm 2,47$
	адсорбент активирован HCl	95,4	1,11	1,05	$\pm 2,62$	$94,4 \pm 2,62$
$Cd^{2+}$	адсорбент без активации HCl	80,1	0,92	0,96	$\pm 2,38$	$80,1 \pm 2,38$
	адсорбент активирован HCl	92,0	0,22	0,47	$\pm 1,16$	$92,0 \pm 1,16$

Полученные характеристики эффективности адсорбции бентонита, модифицированного УНТ с обжигом при  $550^\circ\text{C}$ , при наличии кислотной активации HCl и без нее, по отношению к ионам  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  представлены в табл. 5.

Полученные характеристики эффективности адсорбции бентонита, модифицированного УНТ с обжигом при  $550^\circ\text{C}$ , при наличии кислотной активации HCl и без нее, по отношению к ионам  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Характеристики эффективности адсорбции ионов  $Ni^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  на бентоните, модифицированном УНТ с обжигом при  $550^\circ\text{C}$ , при наличии кислотной активации HCl и без нее**

Адсорбированный ион	Наличие у адсорбента кислотной активации	$COE, \text{ мг-экв/г}$	$K_d, \text{ мг/л}$	$S, \%$
$Ni^{2+}$	адсорбент без активации HCl	$712,00 \pm 0,40$	$203,43 \pm 0,34$	$84,20 \pm 2,47$
	адсорбент активирован HCl	$852,00 \pm 0,32$	$243,42 \pm 0,56$	$95,40 \pm 2,62$
$Cd^{2+}$	адсорбент без активации HCl	$810,00 \pm 0,44$	$225,00 \pm 0,54$	$80,10 \pm 2,38$
	адсорбент активирован HCl	$950,00 \pm 0,35$	$263,89 \pm 0,48$	$92,00 \pm 1,16$

Из табл. 4 и 5 видно, что эффективность адсорбции ионов никеля (II) и кадмия (II) изучаемым сорбционным материалом при наличии кислотной активации HCl и без нее снижается в ряду  $Ni^{2+} > Cd^{2+}$ . Это можно объяснить тем, что происходит изменение (возрастание) стерических и энергетических факторов активности адсорбционных центров сорбционного материала по отношению к ионам никеля (II) и кадмия (II) в данном ряду.

### Выводы

1. Активация кислотой HCl бентонита, модифицированного УНТ и обожженного при 550°C, способствует повышению его адсорбционной активности по отношению к ионам никеля (II) и кадмия (II). Степень адсорбционного извлечения ионов никеля (II) после активации указанного адсорбента HCl возрастает на 10%, а степень адсорбционного извлечения ионов кадмия (II) после аналогичной активации увеличивается на 11%.

2. Установлены характеристики эффективности адсорбции ионов никеля (II) и кадмия (II) в статических условиях бентонитом, модифицированным УНТ и обожженным при 550°C, подвергшимся кислотной активации HCl и без нее. Наибольший адсорбционный эффект по отношению к ионам указанных металлов проявил бентонит, модифицированный УНТ, обожженный при 550°C и активированный кислотой HCl. Его параметры: по отношению к ионам  $Ni^{2+}$ : COE = 852,0 мг-экв/г,  $K_d=243,42$  мг/дм<sup>3</sup>, S = 95,4 %; к ионам  $Cd^{2+}$ : COE = 950 мг-экв/г,  $K_d=263,89$  мг/дм<sup>3</sup>, S = 92,0%.

3. Результаты проведенных лабораторных исследований позволяют рекомендовать бентонит, модифицированный УНТ, обожженный при 550 °C и активированный кислотой HCl в качестве сорбционного материала для очистки водных сред от ионов никеля (II) и кадмия (II).

### Литература

1. Атаманова О.В., Малышева Н.А. Экологический мониторинг состояния рек Саратовской области по комплексу химических показателей // Экологические проблемы субъектов экономики: сборник материалов VI межд. науч.-практич. конференции. Пенза: Изд-во Пензенского государственного технологического университета», 2016. С. 66 – 71.

2. Истрашкина М.В., Атаманова О.В., Толеуова Р.Н. Результаты мониторинга загрязнения поверхностных вод Саратовской области органическими веществами // Актуальные вопросы охраны окружающей среды: сб. докладов Всероссийской науч.-техн. конф. (Белгород, 17-19 сентября 2018 г.). Изд-во: Белгородский гос. техн. ун-т им. В.Г. Шухова. 2018. С. 325 – 332.

3. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. 168 с.

4. Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Podoxenov A.A., Vedeneva N.V., Grishin M.A. Adsorption of aromatic nitro and amino compounds with modified bentonite // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3, Applied and Fundamental Research Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Abdul-Hamid Mahmoudovich Bisliyev. Ser. "3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences, ISEES 2020" 2020. С. 012003.

5. Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Podoksenov A.A. Adsorption of amino benzene compounds by modified bentonite // In book: V International Conference "Actual Scientific & Technical Issues of Chemical Safety" (ASTICS-2020). Book of Abstracts. 2020. P. 214 – 215.

6. Помазкина О.И., Филатова Е.Г., Пожидаев Ю.Н., Лебедева О.В. Адсорбция ионов никеля (II) алюмосиликатами, модифицированными поли-1-винилимидазолом и поли-4-винилпиридином // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2018. № 4. С. 393 – 397.

7. Мосталыгина Л.В., Чернова Е.А., Бухтояров О.И. Кислотная активация бентонитовой глины // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. 2012. Вып. 9. С. 57 – 61.

8. Способ адсорбционной очистки сточных вод, содержащих ароматические соединения бензольного ряда : пат. 2747540 Рос. Федерация. № 2020129510; заявл. 07.09.2020 ; опубл. 06.05.2021, Бюл. № 13). 5 с.

9. ПНД Ф 14.1:2.46-96 Методика измерения массовой концентрации никеля в природных и сточных водах фотометрическим методом с диметилглиоксимом. М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. 2013. 10 с.

10. ПНД Ф 14.1:2.45-96 Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов кадмия в природных и сточных водах фотометрическим методом с дитизоном. М. : Минприроды РФ. 2004. 11 с.

11. Зеленцов В.И., Дацко Т.Я. Применение адсорбционных моделей для описания равновесия в системе оксигидроксид алюминия-фтор // Электронная обработка материалов. 2012. № 48 (6). С. 65 – 73.

12. Белов П.С., Голубева И.А., Низова С.А. Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа: учеб. для вузов. М.: Химия. 1991. 256 с.

13. Kosarev A.V., Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Istrashkina M.V. Kinetics of adsorption of 2-methylalaline by modified bentonite at sewage treatment // Water and Ecology. 2018. № 3. P. 24 – 31.

### References

1. Atamanova O.V., Malysheva N.A. Ekologicheskij monitoring sostoyaniya rek Saratovskoj oblasti po kompleksu himicheskikh pokazatelej. Ekologicheskie problemy sub"ektov ekonomiki: sbornik materialov VI mezhd. nauch.-praktich. konferencii. Penza: Izd-vo Penzenskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta», 2016. S. 66 – 71.

2. Istrashkina M.V., Atamanova O.V., Toleuova R.N. Rezul'taty monitoringa zagryazneniya poverhnostnyh vod Saratovskoj oblasti organicheskimi veshchestvami. Aktual'nye voprosy ohrany okruzhayushchej sredy: sb. dokladov Vserossijskoj nauch.-tekhn. konf. (Belgorod, 17-19 sentyabrya 2018 g.). Izd-vo: Belgorodskij gos. tekhn. un-t im. V.G. SHuhova. 2018. S. 325 – 332.

3. Smirnov A.D. Sorbcionnaya ochistka vody. L.: Himiya, 1982. 168 s.

4. Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Podoxenov A.A., Vedeneva N.V., Grishin M.A. Adsorption of aromatic nitro and amino compounds with modified bentonite. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3, Applied and Fundamental Research Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Ab-dul-Hamid Mahmoudovich Bisliyev. Ser. "3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences, ISEES 2020" 2020. S. 012003.
5. Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Podoksenov A.A. Adsorption of amino benzene compounds by modified bentonite. In book: V International Conference "Actual Scientific & Technical Issues of Chemical Safety" (ASTICS-2020). Book of Abstracts. 2020. P. 214 – 215.
6. Pomazkina O.I., Filatova E.G., Pozhidaev YU.N., Lebedeva O.V. Adsorbciya ionov nikelya (II) alyumosilikatami, modificirovannymi poli-1-vinylimidazolom i poli-4-vinilpiridinom. Fizikohimiya poverhnosti i zashchita materialov. 2018. № 4. S. 393 – 397.
7. Mostalygina L.V., Chernova E.A., Buhtoyarov O.I. Kislotnaya aktivaciya bentonitovoj gliny. Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Himiya. 2012. Vyp. 9. S. 57 – 61.
8. Sposob adsorbcionnoj ochistki stochnyh vod, soderzhashchih aromatische soedineniya benzol'nogo ryada : pat. 2747540 Ros. Federaciya. № 2020129510; zayavl. 07.09.2020 ; opubl. 06.05.2021, Byul. № 13). 5 s.
9. PND F 14.1:2.46-96 Metodika izmereniya massovoj koncentracii nikelya v prirodnyh i stochnyh vodah fotometricheskim metodom s dimetilglioksimom. M.: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya. 2013. 10 s.
10. PND F 14.1:2.45-96 Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii ionov kadmiya v prirodnyh i stochnyh vodah fotometricheskim metodom s ditizonom. M. : Minprirody RF. 2004. 11 s.
11. Zelencov V.I., Dacko T.Ya. Primenenie adsorbcionnyh modelej dlya opisaniya ravnovesiya v sisteme oksidirovaniya alyuminiya-ftor. Elektronnyy obrabotka materialov. 2012. № 48 (6). S. 65 – 73.
12. Belov P.S., Golubeva I.A., Nizova S.A. Ekologiya proizvodstva himicheskikh produktov iz uglevodorodov nefiti i gaza: ucheb. dlya vuzov. M.: Himiya. 1991. 256 s.
13. Kosarev A.V., Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Istrashkina M.V. Kinetics of adsorption of 2-methylalaline by modified bentonite at sewage treatment. Water and Ecology. 2018. № 3. P. 24 – 31.