

16. Kohler M., Zennegg M., Bogdal C., Gerecke A.C., Schmid P., Heeb N.V., Sturm M., Vonmont H., Kohler H-PE, Giger W. (2008). Temporal trends, congener patterns, and sources of octa-, nona-, and decabromodiphenyl ethers (PBDE) and hexabromocyclododecanes (HBCD) in Swiss Lake sediments. *Environmental Science & Technology*, 42, pp. 6378–6384.
17. Law R.J., Herzke D., Harrad S., Morris S., Bersuder P., Allchin C.R. (2008b). Levels and trends of HBCD and BDEs in the European and Asian environments, with some information for other BFRs. *Chemosphere*, 73, pp. 223–241.
18. Comments concerning the national Swedish contaminant monitoring programme in marine biota // Swedish Museum of Natural History. Report 2008-03-31. – 2008.
19. Vorkamp K., Riget F.F., Bossi R., Dietz R. (2011). Temporal trends of hexabromocyclododecane, polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in ringed seals from East Greenland. *Environmental Science & Technology*, 45, pp. 1243–1249.
20. Ema M., Fujii S., Hirata-Koizumi M., Matsumoto M. (2008). Two-generation reproductive toxicity study of the flame retardant hexabromocyclododecane in rats. *Reproductive Toxicology*, 25, pp. 335–351.
21. Eriksson P, Fisher C, Wallin M, Jakobsson E. and Fredriksson A. (2006). Impaired behaviour, learning and memory, in adult mice neonatally exposed to hexabromocyclododecane (HBCDD). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 21, pp. 317–322.
22. Faengstroem B., Athanassiadis I., Odsjoe T., Noren K., Bergman A. (2008). Temporal trends of polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecane in milk from Stockholm mothers, 1980–2004. *Molecular Nutrition & Food Research*, 52, pp. 187–193.
23. Scientific Opinion on Hexabromocyclododecanes (HBCDDs) in Food. *European Food Safety Authority Journal*, 2011, 9, pp. 2296–2324.
24. Report of the Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its eighth meeting. – UNEP, 2012.

Received January 14, 2013

УДК 543–414:669.181.28:549.642.21

Хоботова Э.Б., докт. хим. наук, проф., **Грайворонская И.В.,** аспирант

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
ул. Петровского, 25, 61002 Харьков, Украина, e-mail: chemistry@khadi.kharkov.ua

Сорбционные свойства металлургического шлака на основе диоксида

Одним из видов многотоннажных отходов являются шлаки металлургических производств. Странами ЕС выработана стратегия обращения с отходами, принцип которой состоит в сокращении объема отходов, размещаемых на земле или в земле, что полностью оправданно и для Украины. Методами рентгенофазового, петрографического, спектрофотометрического и электронно-зондового микроанализов изучена сорбция органических красителей шлаком Побужского ферроникелевого комбината в зависимости от кислотности жидкой фазы, контактирующей с поверхностью сорбента при его активации и в процессе сорбции из растворов. Сорбционная активность шлака обусловлена высоким содержанием диоксида в аморфном состоянии. Показано, что кислотная и щелочная активация шлака могут использоваться в различных режимах сорбции органических красителей. Определена зависимость количественных показателей сорбции от кислотности растворов органических красителей. *Библ. 12, рис. 2, табл. 3.*

Ключевые слова: шлак, диоксид, сорбция, органические красители.

Накопление больших объемов твердых промышленных отходов в экономически развитых районах создает экологические проблемы. В европейских странах выработана стратегия обращения с отходами, внедряемая в практику. Принцип сокращения объема отходов, размещаемых на полигонах или захороненных в земле, полностью оправдан и для Украины [1].

Соблюдение данного принципа обеспечит следующее: ресурсосбережение и энергосбережение; уменьшение земельных площадей, изъятых под отвалы и шламонакопители; сокращение отрицательного влияния полигонов отходов на все составляющие биосферы; уменьшение ущерба здоровью населения.

Одним из путей реализации данного принципа является использование твердых отходов в качестве вторичного сырья и их утилизация в виде различных технических материалов. В связи с этим первоочередной задачей является инвентаризация промышленных отходов, изучение их полезных свойств, создание проблемно-ориентированных классификаторов.

Одним из видов многотоннажных отходов являются шлаки металлургических производств. В литературе имеются сведения по их вторичному использованию, в том числе в виде сорбентов различных компонентов сточных вод [2–5]. В работах [6–8] были исследованы сорбционные характеристики шлака Побужского ферроникелевого комбината (ПФНК). Определен минералогический состав ферроникелевого шлака. Доказано наличие сорбционных свойств шлака по отношению к органическим соединениям и выявлены условия химической активации шлака. Показано, что при сорбции красителя метиленового синего (МС) оптимальной является кислотная химическая активация. Однако природа активирующего соединения может варьироваться в зависимости от вида сорбата. Помимо этого, остается открытым вопрос об изменении эффективности сорбции в зависимости от pH растворов сорбата.

Цель работы – изучение сорбции органических красителей шлаком ПФНК в зависимости от кислотности жидкой фазы, контактирующей с поверхностью сорбента при его активации и в процессе сорбции из растворов.

Экспериментальные методы исследования

Методами исследования являлись рентгенофазовый, петрографический, спектрофотометрический и электронно-зондовый микроанализы.

Рентгенофазовый анализ образцов выполнен на порошковом дифрактометре Siemens D500 в медном излучении с графитовым моно-

хроматором. Первичный поиск фаз выполнен по картотеке PDF-1, после чего был произведен расчет рентгенограмм по методу Ритвельда с использованием программы FullProf [9].

Петрографическое исследование образцов измельченного до 5 мм шлака ПФНК (производство FeNi) в виде иммерсионных препаратов проведено в проходящем свете при помощи микроскопа МИН-8.

Сорбционные свойства тонкоизмельченного шлака изучались спектрофотометрическим методом с помощью СРЕКОЛ 11. Концентрации органических красителей МС и метилвиолета (МВ) определялись по калибровочным кривым. Предел допускаемой основной погрешности составляет 5 %.

Элементный анализ образцов и морфологические особенности поверхности шлака изучены с помощью метода электронно-зондового микроанализа (EPMA) на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390 LV с системой рентгеновского микроанализа INCA [10]. Отклонения в определении массовых долей минералов и элементов составляли 1,5–8,5 %.

Расчет содержания аморфной и кристаллической форм вещества в диопсидовом шлаке

Предыдущими исследованиями [7, 8] установлено, что шлак ферроникелевого производства состоит из минерала диопсида $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$ без примесей. При обработке шлака водой обнаружены незначительные количества минералов кварца SiO_2 , альбита $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, маргарита $\text{Ca}_{0,88}\text{Na}_{0,12}\text{Al}_2(\text{Si}_{2,12}\text{Al}_{1,88}\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ и иллита $\text{K}(\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_9(\text{OH})_3)$. Высокотемпературный процесс плавления сплавов и кристаллическое состояние вещества не предрасполагают к проявлению шлаком химической и сорбционной активности. Однако шлак характеризуется сорбционными свойствами по отношению к органическим соединениям.

В работах [6,7] показано, что сорбция МС на шлаковом сорбенте имеет физическую природу, является мономолекулярной и протекает с участием сорбционных центров с одинаковой активностью. Наличие сорбционных характеристик может объясняться слоистой структурой минерала диопсида, а также присутствием вещества в аморфном состоянии. Последнее подтверждается выраженным волнистым фоном на рентгеновских дифрактограммах. Ранее нами не была установлена основная причина проявления сорбционной активности. Сорбционное поглощение шлаком молекул красителей, вероятнее всего, связано с поверхностной сорбцией сорбцион-

но-активным аморфным веществом. Проникновение крупных органических молекул в межслоевое пространство минерала менее вероятно.

Для подтверждения механизма сорбции за счет поверхностного поглощения сорбата аморфным веществом шлака проведен расчет содержания вещества в аморфном состоянии в шлаке. Расчет массовой доли кристаллического (a) и аморфного состояния вещества ($1 - a$) во фракции шлака $< 2,5$ мм проводился по уравнению:

$$a x_1 + (1 - a) x_2 = x_3,$$

где x_1 , x_2 , x_3 — соответственно доля SiO_2 в кристаллическом, аморфном состояниях и общее содержание SiO_2 , согласно элементному анализу, во фракции шлака $< 2,5$ мм, % (мас.).

Величина x_1 определяется по данным минералогии. В табл.1 приведены результаты расчета содержания оксидов элементов согласно результатам рентгенофазового анализа образцов шлака, обработанных водой.

Величина x_2 определяется по данным петрографического анализа. Расчет содержания SiO_2 согласно результатам петрографического анализа: фаза — $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ (стеклофаза); доля стеклофазы — 40–50 % (мас.); доля SiO_2 — 19,6–24,5 (среднее — 22,0) % (мас.)

Величина x_3 определяется по данным микро-рентгеновского анализа. Рассчитано содержания оксидов элементов согласно элементному анализу фракции шлака $< 2,5$ мм, % (мас.): CaO — 12,33; MgO — 5,25; SiO_2 — 38,22; Fe_2O_3 — 10,0; Al_2O_3 — 16,87.

Расчет среднего содержания кристаллического и аморфного состояний вещества:

$$0,5642 a + 0,22 (1 - a) = 0,3822;$$

$$0,3442 a = 0,1622;$$

$$a = 0,47; (1 - a) = 0,53.$$

Крайние значения:

$$a) 0,5642 a + 0,196 (1 - a) = 0,3822;$$

$$0,3682 a = 0,1862; a = 0,506;$$

$$(1 - a) = 0,494;$$

$$б) 0,5642 a + 0,245 (1 - a) = 0,3822;$$

$$0,3192 a = 0,1372; a = 0,429;$$

$$(1 - a) = 0,57.$$

Таблица 1. Содержание оксидов элементов в образцах шлака, % (мас.)

Минерал	Минерал, % (мас.)	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Диопсид $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	92,4	24,0	17,56	51,74	—
Кварц SiO_2	3,1	—	—	3,1	—
Маргарит	1,8	—	—	—	—
Иллит $0,5\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$	0,9	—	—	0,27	0,46
Альбит $0,5\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,9	—	—	1,31	0,36
Суммарное содержание оксидов по всем минералам	—	24,0	17,56	56,42	0,82

Содержание кристаллического и аморфного состояний вещества диопсидового шлака, % (мас.): кристаллическое — 42,9–50,6 (среднее — 47); аморфное — 49,4–57 (среднее — 53).

Таким образом, шлак наполовину состоит из диопсида в аморфном состоянии, что полностью подтверждает основной механизм сорбции за счет поглощения сорбционно-активной поверхностью шлака органических красителей.

Оптимизация химической активации шлакового сорбента

В работах [6–8] показано, что целесообразность химической активации шлака кислотой при сорбции МС вызвано разрыхлением поверхности шлака и появлением дополнительного пика на ИК-спектрах, являющегося результатом новой координации молекул воды с кристаллической решеткой диопсида. Для выявления оптимальных условий повышения величины адсорбции (a) сорбента по органическому красителю МВ проведена химическая активация диопсидового шлака в растворах кислоты и щелочи.

В качестве активаторов были использованы растворы H_2SO_4 и NaOH концентрацией 0,5 и 1,0 моль/дм³ соответственно. Длительность активации шлака — 1 сут, после этого сорбент дважды промывался водой. Последующая сорбция красителя МВ проводилась при различных соотношениях объема раствора МВ (100 мл раствора концентрацией 0,01 г/дм³) и массы шлака в течение нескольких суток.

Результаты эксперимента, представленные в табл.2, показывают, что кислотная и щелочная активации сорбента по-разному влияют на его величину адсорбции по МВ. При кислотной активации шлак может длительно сохранять достаточную величину адсорбции по красителю МВ без его десорбции в раствор. Однако максимальная величина адсорбции $a = 0,192$ мг/г, соответствующая 96 % извлечения МВ из раствора, достигается лишь на 11 сут. За 3 сут эффективность очистки (z) воды от МВ достигает 71 %. Таким образом, нецелесообразно активировать шлак кислотой при необходимости проведения сорбции в короткие сроки.

Таблица 2. Зависимость характеристик сорбции МВ шлаковым сорбентом на основе диоксида в зависимости от природы активирующего агента при $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$

Показатель сорбции	1 сут	2 сут	3 сут	5 сут	7 сут	10 сут
0,5 моль/дм ³ H ₂ SO ₄ , $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 0,2\text{ мг/г}$						
$C_{\text{МВ}}$, г/дм ³	–	–	0,0029	0,0018	0,0012	0,0008
a , мг/г	–	–	0,142	0,164	0,176	0,184
z , %	–	–	71	82	88	92
1 моль/дм ³ NaOH, $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 0,2\text{ мг/г}$						
$C_{\text{МВ}}$, г/дм ³	–	–	0,001	0,0008	0,0007	0,0011
a , мг/г	–	–	0,18	0,184	0,186	0,178
z , %	–	–	90	92	93	–
1 моль/дм ³ NaOH, $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 0,4\text{ мг/г}$						
$C_{\text{МВ}}$, г/дм ³	0,0013	0,002	0,0017	–	–	–
a , мг/г	0,348	0,32	0,332	–	–	–
z , %	87	–	–	–	–	–
1 моль/дм ³ NaOH, $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 0,5\text{ мг/г}$						
$C_{\text{МВ}}$, г/дм ³	0,0026	0,003	0,0028	–	–	–
a , мг/г	0,37	0,35	0,36	–	–	–
z , %	74	–	–	–	–	–
1 моль/дм ³ NaOH, $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 0,67\text{ мг/г}$						
$C_{\text{МВ}}$, г/дм ³	0,0035	0,006	0,007	–	–	–
a , мг/г	0,43	0,27	0,20	–	–	–
z , %	65	–	–	–	–	–
1 моль/дм ³ NaOH, $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 1,0\text{ мг/г}$						
$C_{\text{МВ}}$, г/дм ³	0,0057	0,0068	0,0067	–	–	–
a , мг/г	0,43	0,32	0,33	–	–	–
z , %	43	–	–	–	–	–

Щелочная активация шлака имеет преимущество высокую эффективность очистки воды от МВ в короткие сроки. При соотношении $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 0,2\text{ мг/г}$ 90 % сорбата МВ поглощается в течение 3 сут. Уменьшение массы сорбента в 2 раза приводит к незначительному снижению эффективности очистки раствора от МВ – до 87 % в течение 1 сут. Дальнейшее снижение соотношения $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}}$ приводит к уменьшению a и эффективности извлечения МВ из водной фазы. При этом a и эффективность очистки при $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 0,5$ в течение 1 сут выше, чем при кислотной активации шлака при $m_{\text{МВ}} : m_{\text{шлака}} = 0,2$ в течение 3 сут. Однако после щелочной активации шлак не может длительное время сохранять достаточно высокую сорбционную активность. Начинается процесс десорбции МВ в раствор. Причем чем меньше масса шлакового сорбента, тем интенсивнее протекает десорбция.

Таким образом, кислотная и щелочная активации шлакового сорбента имеют свои преимущества и недостатки.

Влияние кислотности растворов сорбата на протекание сорбции

Кислотность водных растворов, из которых происходит сорбция органических красителей, влияет на протекание сорбции и изменяет ее количественные показатели. На рис.1 показано уменьшение концентрации МС во времени при его сорбции из растворов с разными рН. Вид-

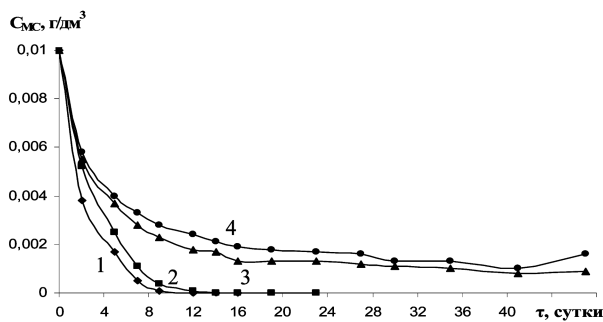


Рис.1. Изменение во времени концентрации растворов МС при сорбции шлаковым сорбентом из растворов с рН: 1 – 6,4; 2 – 4,8; 3 – 2,2; 4 – 1,95.

Таблица 3. Показатели сорбции в зависимости от рН растворов МС и времени сорбции

рН	2 сут	5 сут	7 сут	9 сут	12 сут
1,95	0,084/42	0,12/60	0,134/67	0,144/72	0,152/76
2,2	0,09/45	0,126/63	0,144/72	0,154/77	0,164/82
4,8	0,096/48	0,15/75	0,178/89	0,192/96	0,198/99
5,5	0,112/56	0,16/80	0,184/92	0,195/97,5	0,199/99,5
6,4	0,124/62	0,166/83	0,19/95	0,198/99	0,2/100

Примечание. В числителе – a , мг/г, в знаменателе – z , %.

но, что сорбция из кислых растворов менее интенсивна, чем из нейтральных сред. Увеличение рН от 2,2 до 4,8 приводит к более значительному ускорению сорбции, чем при дальнейшем повышении рН до 6,4, причем разница в скорости сорбции из растворов с разными значениями рН увеличивается во времени.

Количественные показатели сорбции МС при различных показателях кислотности среды представлены в табл.3. Практически полное извлечение МС из растворов возможно при рН более 4,8 за время не менее 7 сут.

Изменение кислотности жидкой среды может влиять на свойства самого сорбента и на свойства молекул сорбата. В [6] показано, что при длительной выдержке в воде диоксидового шлака из него вымываются силикат-ионы, которые подвергаются гидролизу, в результате чего рН воды повышается от 6,65 до 8,15. Повышение кислотности раствора сорбата способствует образованию на поверхности шлака гелеобразного слоя кремниевой кислоты H_2SiO_3 , который должен обладать хорошими сорбционными свойствами. Однако из кислых растворов сорбция МС затруднена по сравнению с сорбцией из нейтральных растворов. Таким образом, основную роль в интенсификации сорбции МС из растворов с рН > 4,8 играет изменение свойств молекул сорбатов – органических красителей, а не поверхности сорбента.

Сорбция осуществляется на поверхности, морфология которой изменена в процессе активации и в дальнейшем остается практически стабильной с позиций сорбционных свойств.

В литературе ограничены сведения относительно изменения характеристик сорбции на сорбентах – промышленных отходах – в зависимости от кислотности раствора сорбата. В работе [5] показано, что степень извлечения красителя конго красного, являющегося кислотно-основным индикатором, минеральными волокнами с ростом кислотности раствора увеличивается незначительно. Авторы объяснили данный факт облегчением сорбции протонированной формы красителя конго красного, что может быть связано с ионообменными взаимо-

действиями между сорбентом и сорбатом. Шлаковый сорбент на основе диоксида не проявляет ионообменных свойств по отношению к заряженным частицам, в частности, к ионам металлов.

В работах [6, 7] показано, что шлак проявляет сорбционную активность по отношению к органическим соединениям. Исходя из этого, можно предположить, что его сорбционные свойства связаны со слабыми физическими взаимодействиями между поверхностью сорбента и сорбатом.

Индикатор МС относится к окислительно-восстановительным индикаторам, чувствительным к изменению рН и ионной силы раствора. Восстановленная форма МС бесцветна. Окислительно-восстановительные потенциалы индикатора (E^0) в зависимости от рН следующие: $E^0 = +0,53$ В при рН 0; $E^0 = +0,011$ В при рН 7 [11].

С увеличением кислотности МС проявляет себя как более сильный окислитель, при этом сорбция его шлаком уменьшается. Это можно связать с протонированием МС в кислой среде (рис.2, а) и образованием формы, обладающей более высокими окислительными свойствами, которая сорбируется в меньшей степени (рис.2, б).

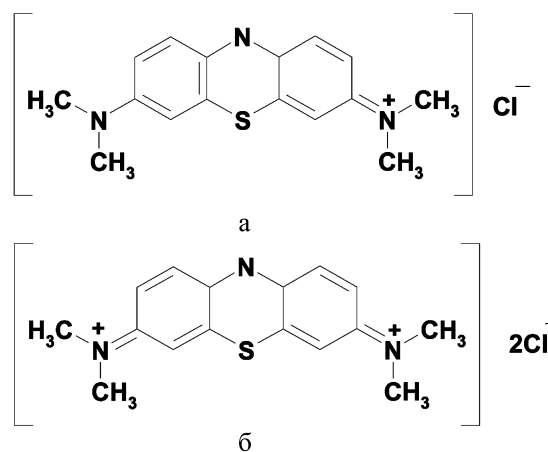


Рис.2.

Характер сорбционного взаимодействия адсорбента и сорбата. Сорбционная очистка воды от органических красителей

Все минеральные сорбенты, к которым относится и диоксид, являются гидрофильными. Минеральные сорбенты могут поглощать органические соединения за счет электростатических или дисперсионных сил.

Проведенные исследования показали, что для диоксида не характерны электростатические взаимодействия, как при ионном обмене. Это подтверждается отсутствием адсорбции ионов металла.

Поглощение органических красителей поверхностью диоксида, вероятнее всего, вызвано дисперсионными силами. Это наблюдается для большинства органических соединений, энергия дисперсионных взаимодействий каждого атома углерода которых с атомами сорбента составляет 2,4–3,0 кДж/моль. В то же время функциональные группы сорбентов образуют с молекулами воды водородные связи, средняя энергия которых составляет 30–40 кДж/моль.

Для проявления существенной адсорбции необходимо, чтобы суммарная энергия адсорбционного взаимодействия всех молекул с атомами адсорбента была выше 40 кДж/моль [12]. В случае красителя МС суммарная энергия дисперсионного взаимодействия 16 атомов углерода молекулы колеблется в пределах от 38,4 до 48,0 кДж/моль. В данном случае можно говорить о специфической адсорбции с незначительной избирательностью, так как одна молекула МС должна при адсорбции вытеснить не менее 5 молекул воды.

Таким образом, характер взаимодействия адсорбента диоксида и органических красителей позволяет утверждать, что наблюдается активированная адсорбция, характеризующаяся образованием поверхностного соединения определенного типа, при этом молекулы адсорбента остаются в кристаллической решетке минерала. Активированная адсорбция является специфической, необратимой, что подтверждается практическим отсутствием десорбции органических красителей из диоксидового сорбента. Скорость активированной адсорбции невелика, что наблюдалось во всех экспериментах.

Целесообразность и границы применения сорбционной очистки вод от органических веществ определяются удельным расходом воды на дозу адсорбента, который обеспечивает полное извлечение вещества из раствора. Одним из показателей является соотношение объемов очищенной воды ($V_{\text{в}}$) и отработанного адсорбента ($V_{\text{адс}}$).

Экономически целесообразным является соотношение $V_{\text{в}} : V_{\text{адс}} \geq 50$. При насыпной массе диоксидового сорбента $1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ соотношение $V_{\text{в}} : V_{\text{адс}} = 160$, то есть является целесообразным. Это соответствует дозе адсорбента на объем очищаемой воды 10 кг/м^3 , что является высоким показателем адсорбционного метода [12].

Выводы

Механизм сорбции органических красителей за счет поглощения сорбционно-активной поверхностью шлака подтвержден высоким содержанием в шлаке диоксида в аморфном состоянии. Сорбция органических красителей на шлаковом сорбенте на основе диоксида является активированной адсорбцией, характеризуется специфичностью по отношению к молекулам органических соединений. Адсорбция имеет физическую природу и вызвана дисперсионными взаимодействиями адсорбента и сорбатов.

Кислотная и щелочная активация диоксидового шлака могут использоваться в различных режимах сорбции органических красителей. На примере красителя МВ показано, что кислотную активацию можно использовать в статических условиях, когда технологический процесс предусматривает длительный контакт очищаемого раствора с сорбентом. Щелочная активация целесообразна в условиях динамической сорбции МВ с невысокой скоростью прохождения раствора через слой сорбента.

Поверхность шлака, модифицированная в процессе активации, в дальнейшем остается стабильной при сорбции органических соединений из растворов различной кислотности.

Количественные показатели сорбции шлаковым сорбентом молекул из водной фазы зависят от ее кислотности. На примере растворов сорбата МС показано уменьшение величины сорбции и эффективности очистки растворов с уменьшением рН, что определяется протонированием молекулы органического красителя.

Применение адсорбции для очистки сточных вод от органических красителей является экономически целесообразным, чему отвечают высокие показатели адсорбционного метода: соотношение объемов очищенной воды и отработанного адсорбента, равное 160, и доза адсорбента на объем очищаемой воды 10 кг/м^3 .

Список литературы

1. Горлицкий Б.А. Обращение с бытовыми и промышленными отходами : Основные изменения стратегии и тактики // Экология и промышленность. — 2006. — № 3. — С. 55–58.

2. Свергузова С.В., Василенко Т.А. Использование шлаков после очистки сточных вод // Сб. науч. тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов» / УкрГНТЦ «Энергосталь». — Харьков : Райдер, 2005. — С. 54.
3. Приймак Т.И., Зосин А.П., Куценко Н.В., Маковчук В.П. Адсорбция органических соединений и паров воды на натриевом шлакосиликатном сорбенте // Природные и техногенные силикаты для производства строительных и технических материалов. — Л. : Наука, 1977. — С. 186–190.
4. Панасюгин А.С., Бондарева Г.В., Цветков А.Е. Ресурсосбережение в процессах очистки воды от нефтепродуктов // Тез. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Ресурсосберегающие экотехнологии : возобновление и экономия энергии, сырья и материалов». — Гродно, 2000. — С. 129–130.
5. Смоленская Л.М., Латыпова М.М., Пендюрин Е.А. Адсорбция Конго красного минеральными волокнами // Сб. науч. ст. XVII Междунар. науч.-практ. конф. «Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов» / УкрГНТЦ «Энергосталь». — Харьков : Райдер, 2009. — Т. 2. — С. 339–340.
6. Хоботова Э.Б., Грайворонская И.В., Даценко В.В., Баумер В.Н. Исследование сорбционных свойств шлаков ферроникелевого производства // Экология и промышленность. — 2009. — № 4. — С. 68–72.
7. Хоботова Э.Б., Грайворонская И.В., Даценко В.В., Баумер В.Н. Изучение условий активации шлакового сорбента // Вісник Донецького національного університету. Сер. А: Природничі науки. — 2009. — Вип. 2. — С. 400–406.
8. Грайворонская И.В. Выявление сорбционных свойств ферросплавных шлаков в зависимости от их структуры и состава // Экология и промышленность. — 2010. — № 3. — С. 46–52.
9. Rodriguez-Carvajal J., Roisnel T. FullProf. 98 and WinPLOTR: New Windows 95/NT Applications for Diffraction // Commission for Powder Diffraction, International Union of Crystallography, Newsletter No. 20 (May-Aug.) Summer 1998.
10. Гоулдстейн Д., Яковиц Х. Практическая растровая микроскопия. — М. : Мир, 1978. — 405 с.
11. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. — М. : Химия, 1979. — 480 с.
12. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., Брик М.Т., Гвоздяк П.І., Князькова Т.В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. — Київ : Лібра, 2000. — 552 с.

Поступила в редакцію 12.02.13

Хоботова Е.Б., докт. хім. наук, проф., **Грайворонська І.В.,** аспірант

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Петровського, 25, 61002 Харків, Україна, e-mail: chemistry@khadi.kharkov.ua

Сорбційні властивості металургійного шлаку на основі діопсиду

Одним з видів багатотоннажних відходів є шлаки металургійних виробництв. Країнами ЄС відпрацьовано стратегію поводження з відходами, принцип якої полягає у зменшенні обсягу відходів, розміщених на землі чи у землі, що повністю виправдано й для України. Методами рентгенофазового, петрографічного, спектрофотометричного та електронно-зондового мікроаналізу вивчено сорбцію органічних барвників шлаком Побузького феронікелевого комбінату у залежності від кислотності рідкої фази, що контактує з поверхнею сорбента при його активації та у процесі сорбції з розчинів. Сорбційну активність шлаку обумовлено високим вмістом діопсиду в аморфному стані. Показано, що кислотна та лужна активація шлаку можуть бути використані у різних режимах сорбції органічних барвників. Виявлено залежність кількісних показників сорбції від кислотності розчинів органічних барвників. *Бібл. 12, рис. 2, табл. 3.*

Ключові слова: шлак, діопсид, сорбція, органічні барвники.

Khobotova E.B., Doctor of Chemical Sciences, Professor,
Grayvoronskaya I.V., PhD Student

Kharkov National Automobile and Highway University

25, Petrovskogo Str., 61002 Kharkov, Ukraine, chemistry@khadi.kharkov.ua

The Sorption Properties of Diopside Metallurgical Slag

One of types of multitonnage wastes are slags of metallurgical productions. Strategy of handling is mine-out the countries of EU wastes, principle of which consists of reduction of volume of wastes, placed on earth or in earth, that is fully justified and for Ukraine. By the methods of rentgenophase, petrography, spectrophotometer and electronic-probe microanalyses the sorption of organic dyes is studied by the slag of Pobugsky ferronickel combine depending on acidity of liquid phase, contacting with the surface of sorbent during his activating and in the process of sorption from solutions. The slag sorption activity is caused by high content of diopside in the amorphous state. It is displayed that acid and alkaline slag activation can be used in different regimes of organic dyes sorption. The dependence of quantitative indexes from acidity of organic dyes solutions is determined. *Bibl. 12, Fig. 2, Table 3.*

Key words: slag, diopside, sorption, organic dyes.

References

- Gorlickiy B.A. (2006). Handling domestic and industrial wastes : Basic changes strategy and tactics. *Ecologia i promyshlennost*, (3), pp. 55–58. (Rus.)
- Sverguzova S.V., Vasilenko T.A. (2005). The use of slags after cleaning of sewages. — Collection of scientific reasons of the XIII international sciences-practice conference «Ecology and health of man. Guard of air and water pools. Utilization of wastes». UkrGNTC «Energysteel». — Kharkov : Rayder, 54 p. (Rus.)
- Priymak T.I., Zosin A.P., Kucenko N.V., Makovchuk V.P. (1977). Adsorption of organic compounds and steams of water on the sodium slag of silikate sorbent. — Prirodnie i technogennie silikati dlya proizvodstva stroitelnyh i technicheskikh materialov. — Leningrad : Nauka, pp. 186–190. (Rus.)
- Panasyugin A.S., Bondareva G.V., Cvetkov A.E. (2000). Economy of resources in the processes of water treatment from product of oil. — Theses of lectures of the IV international scientific and technical conference «Economy of resources ecotechnologies : renewal and economy of energy, raw material and materials», Grodno, pp. 129–130. (Rus.)
- Smolenskaya L.M., Latypova M.M., Pentyurin E.A. (2009). Adsorption of Congo Red mineral fibres . — Collection of scientific reasons of the XVII international sciences-practice conference «Ecology, energy- and economy of resources, guard of environment and health of man, utilization of wastes». UkrGNTC «Energysteel», Kharkov : Rayder, 2, pp. 339–340. (Rus.)
- Khobotova E.B., Grayvoronskaya I.V., Dacenko V.V., Baumer V.N. (2009). Research of sorption properties of slags of ferronickel production. *Ecologia i promyshlennost*, (4), pp. 68–72. (Rus.)
- Khobotova E.B., Grayvoronskaya I.V., Dacenko V.V., Baumer V.N. (2009). Study of terms of activating of slag sorbent. *Visnik Doneckogo nationalnogo universitetu. Seria A: Prirodnychy nauki*, 2, pp. 400–406. (Rus.)
- Grayvoronskaya I.V. (2010). Exposure of sorption properties of ferro-alloy slags depending on their structure and composition. *Ecologia i promyshlennost*, (3), pp. 46–52. (Rus.)
- Rodriguez-Carvajal J., Roisnel T. (1998). FullProf. 98 and WinPLOTR : New Windows 95/NT Applications for Diffraction. Commission for Powder Diffraction, International Union of Crystallography, Newsletter No. 20 (May-Aug.) Summer 1998.
- Gouldsteyn D., Yakovic Kh. (1978). *Practicheskaya rastrovaya microscopia*. — Moscow : Mir, 405 p. (Rus.)
- Lur'e Yu.Yu. (1979). *Spravochnik po analiticheskoy himii*. Moscow : Himia, 480 pp. (Rus.)
- Zapolskiy A.K., Mishkova-Klimenko N.A., Astrelin I.M., Brik M.T., Gvozdiak P.I., Knyazkova T.V. (2000). *Physiko-chimichni osnovi tehnologii ochishennya stichnyh vod*. Kiev : Libra, 552 pp. (Ukr.)

Received February 12, 2013