

- China. CD-ROM SBN 7-900362-03-7/G03.
8. Rui Zang, Zhihong Li, Yiao Xu et al. // Ibid.
 9. Thorikawa T., Ogawa K., Mizuno K. et al. // Carbon. -2003. -41, № 3. -P. 465—472.
 10. Petricevic R., Reichenauer G., Fricke J. // J. Non-Cryst. -1998. -225, -№.1. -P. 41—51.
 11. Gilow K.M., Shapovalova L.N. // Polym. Degrad. and Stab. -1992. -38, № 1. -P. 27—34.
 12. Митрофанов В.Д., Манаков А.И., Швейкин Г.П. Карбиды и материалы на их основе. -Киев: АН УССР. Ин-т проблем материаловедения, 1991.
 13. Noriko Yoshizawa, Yasushi Soneda, Hiroaki Hatori, Yohko Hanzawa // Proc of Intern. Conf. on Carbon, 6–10 July, 2003. -Oviedo, Spain. CD-ROM JSBN 0-9674971-2-49674972.
 14. Li W.C., Lu A.H. Guo S.C. // Carbon. -2001. -39, № 12. -P. 1989—1994.
 15. Самойлов В.С., Сенин Н.Д., Смирнов В.Н. Производство и свойства углеродных саж. -Омск., 1980.
 16. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. -М.: Химия, 1984.
 17. Кураков Ю.И., Глухоманюк А.М., Ильенков В.К. Электрохимические и плазмохимические процессы в химической технологии. -Л., 1990.

Институт сорбции и проблем эндоэкологии
НАН Украины, Киев

Поступила 18.01.2005

УДК 553.611.6:549.02:541:18:621.315.615

И.И. Марцин, П.А. Косоруков, Л.Г. Надел, Е.А. Соловьева, В.А. Михайлик, М.А. Пластинина

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА БЕНТОНИТА ВАРВАРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Методами РФА, ДТА, ИК-спектроскопии исследован минеральный состав бентонитовой породы нового месторождения Украины — с. Варваровка, Хмельницкой обл. Установлено, что глинистый минерал представляет собой Al-Fe-монтмориллонит. Кислотная активация приводит к частичному разрушению структуры монтмориллонита с образованием аморфного кремнезема, выщелачиванию компонентов структуры. При обработке серной кислоты 10—20 %-м раствором степень разрушения глинистого минерала составляет 55 и 70 % соответственно, удельная поверхность увеличивается от 58 до 168 м²/г. Отсутствие токсичных элементов и концентрации элементов-примесей в глинистом минерале указывает на возможность использования варваровского монтмориллонита для получения сорбентов.

В Славутском районе (Хмельницкая обл.) в районе участка Варваровки для нужд сельского хозяйства добывался верхний слой, состоящий в основном из известняка. Очищенная от известняка толща состоит из минерала, который по предварительным данным может быть отнесен к бентонитовым глинам. Согласно литологическому разрезу, покрывающий слой Варваровского месторождения представлен известняками, известковистыми песчаниками — до 0.6 м, затем следует слой сероатой бентонитовой породы мощностью 4.5—6 м, слой кремнистых пород — до 1—1.5 м и сапонитовый слой — до 70—80 м. Добыча монтмориллонита может выполняться с поверхности, с зачисткой 0.2—0.6 м покрывающего слоя [1].

Цель настоящей работы — исследование минерального, химического и микроэлементного составов бентонитовой породы Варваровского месторождения, идентификация породобразующего глинистого минерала и изучение влияния кислотной активации на степень разрушения мине-

рала и изменение удельной поверхности при получении сорбентов для очистки масел на основе модифицированных дисперсных минералов.

Объекты исследования — пробы бентонитовой породы Варваровского месторождения, ориентированные препараты катионзамещенных форм глинистого минерала, а также образцы отмученного бентонита фракции <1 мкм и активированного H₂SO₄ 10—20 %-й концентрации в течение 6 ч при 98 °С и соотношении твердая фаза : раствор кислоты = 1:4.

Рентгенофазовый анализ (РФА) бентонитовой породы, катионзамещенных форм глинистого минерала и кислотно-активированных образцов отмученного бентонита фракции <1 мкм осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-УМ1 с двумя щелями Соллера с фильтрованным CoK_α-излучением при скорости съемки 1°/мин. Точность определения количественного состава фаз составляет ± 5 %. Минеральный состав идентифицировали в соответствии с карто-

© И.И. Марцин, П.А. Косоруков, Л.Г. Надел, Е.А. Соловьева, В.А. Михайлик, М.А. Пластинина, 2006

текой ASTM [2] и работами [3, 4]. Дифференциально-термический анализ (ДТА) проводили на дериватографе Q-1500 в диапазоне 20—1000 °С. Скорость нагревания печи составляла 10 °С/мин. Обменную емкость катионов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} природного и отмученного бентонита фракции <1 мкм определяли на атомно-абсорбционном спектрометре S-115 после вытеснения обменных катионов 1 М раствором NH_4Cl . Точность определения составляет ± 1 мг-экв/100 г минерала. Химический анализ образцов проводили на спектрометре СРМ 20, точность определения — ± 0.05 %. ИК-спектры регистрировали на спектрометре UR-10. Удельную поверхность изучаемых образцов определяли методом адсорбции воды и гексана на вакуумной установке с кварцевыми пружинными весами Мак-Бена-Бакра.

Методом РФА исследован минеральный состав проб бентонитовой породы Варваровского месторождения, образцов отмученного (фракции <1 мкм) и кислотно-активированного бентонита. Минеральный состав, характерные дифракционные отражения и количественный состав породообразующего и ассоциированных минералов в исследуемых образцах представлены в табл. 1.

Анализ минерального состава бентонитовой породы месторождения указывает, что основным породообразующим минералом продуктивного бентонитового слоя является смектитовый минерал (характерные дифракционные отражения 1.539, 0.498, 0.447, 0.256 нм и т.д.), содержание которого в породе — 50—55 % [3—4]. Наблюдаемое на рентгенограммах бентонитовой породы четкое дифракционное отражение 060, равное 0.149 нм, указывает на диоктаэдрический характер смектита [5]. В виде примесей в породе присутствуют слюда (рефлексы 1.00, 0.257 нм), каолинит (0.714, 0.356 нм), полевые шпаты (0.325 нм) в количестве от 3 до 10 % [2—4]. Характерным для проб бентонитовой породы является высокое содержание кварца — порядка 30—40 %. После отмучивания (фракции <1 мкм) содержание смектитового минерала в пробе составляет 75 % и кварца ~10 %, а при тщательном отмучивании бентонитовой породы содержание глинистого минерала в пробе — до 80—85 %, а кварца — до 3—5 %.

Проведены рентгенографические исследования ориентированных препаратов катионзамещенных форм отмученного глинистого минерала бентонитового слоя: воздушно-сухих, насыщен-

Т а б л и ц а 1

Минеральный состав природного, отмученного и активированных 10—20 %-й H_2SO_4 образцов бентонитовой породы Варваровского месторождения по данным рентгенофазового анализа

Исследуемые образцы	Минеральный состав	Содержание фаз, %	Межплоскостные отражения, $d\alpha$, нм
Бентонитовая порода	Смектит	50—55	1.539; 0.498; 0.447; 0.256; 0.149
	Кварц	35—40	0.426; 0.334; 0.246; 0.224; 0.181
	Слюда	5	1.00
	Каолинит	3—5	0.717; 0.356
	Полевые шпаты	5—10	0.325
Отмученный бентонит, фракция <1 мкм	Смектит	75	1.567; 0.503; 0.447; 0.256; 0.149
	Слюда	5	1.00
	Каолинит	3—5	0.714; 0.356
	Кварц	10	0.426; 0.334
	Полевые шпаты	5	0.324; 0.313
Активация бентонита при 98 °С, 6 ч 10 %-й H_2SO_4	Смектит		1.667; 0.503
	Кварц	40	0.426; 0.334; 0.246; 0.224; 0.182
	Слюда	3	1.004
	Каолинит	Следы	0.723
	Полевые шпаты	"	0.322
20 %-й H_2SO_4	Смектит		1.667; 0.503
	Кварц	45	0.426; 0.334; 0.246; 0.228; 0.224
	Слюда	3	1.004
	Каолинит	Следы	0.723
	Полевые шпаты	"	0.322

ных этиленгликолем (65 °С, 7 сут), глицерином (110 °С, 6 сут) и прогретых при 250 °С в течение 2 сут. Первые базальные отражения на рентгенограммах воздушно-сухих ориентированных препаратов природной и Са-, Mg-, Na-, Li-форм при 1.483, 1.524, 1.534, 1.245, 1.224 нм в случае насыщения этиленгликолем смещаются до 1.699, 1.726, 1.733, 1.699, 1.712 нм соответственно, что связано с образованием двухслойных комплексов глинистого минерала с этиленгликолем. При насыщении изучаемых препаратов глицерином наблюдается смещение первого базального рефлекса до 1.788—1.822 нм. Прогревание образцов при 250 °С в течение 2 сут приводит к удалению воды из межслоевого пространства — на рентгенограммах регистрируются целочисленные серии рефлексов 001 с межплоскостными расстояниями, равными 0.95—1.01 нм в зависимости от обменного катиона.

Сжатие кристаллической решетки вдоль оси *C* до ~1.0 нм при прогревании, смещение первого базального отражения к 1.699—1.732 и 1.788—1.822 нм при насыщении этиленгликолем и глицерином соответственно и положение линии (060), равное 0.149 нм, позволяют утверждать, что в исследуемой бентонитовой породе Варваровского месторождения основным породообразующим глинистым минералом является диоктаэдрический смектит [3, 5]. На рентгенограммах ориентированных препаратов Li-форм варваровского смектита, прогретых при 250 °С (48 ч) и затем насыщенных глицерином в течение 4 сут, первое базальное отражение и рациональная серия 001 рефлексов наблюдаются при 0.96 нм. В соответствии с тестом Грин–Келли [6] это указывает на принадлежность глинистого минерала к группе монтмориллонита.

Емкость катионного обмена определяет количественный и качественный состав катионов поверхности минерала, которые могут замещаться на другие катионы, присутствующие в водной среде. Катионная обменная емкость бентонитовой породы и отмученного бентонита фракции <1 мкм составляет 27 и 46 мг-экв/100 г минерала соответственно. Результаты химического анализа образцов отмученного бентонита (фракция <1 мкм) представлены в табл. 2.

На основе результатов РФА, идентификации по тесту Грин–Келли, данных химического анализа и катионной обменной емкости глинистый

Т а б л и ц а 2

Химический состав отмученного бентонита и расчеты степени разрушения глинистого минерала Варваровского месторождения серной кислотой различной концентрации (соотношение твердая фаза : раствор кислоты = 1:4)

Компоненты	Отмученный бентонит, % (фракция <1 мкм, общий анализ)	Отмученный бентонит, активированный H ₂ SO ₄			
		10 %-й		20 %-й	
		общий анализ	расчет	общий анализ	расчет
SiO ₂	60.00	79.74	60.00	84.47	60.00
TiO ₂	1.12	0.98	0.74	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	17.66	11.99	9.02	8.29	5.89
Fe ₂ O ₃	4.50	1.55	1.17	1.08	0.77
MnO	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
MgO	1.19	0.55	0.41	0.47	0.33
CaO	1.17	0.05	0.04	0.02	0.01
Na ₂ O	0.19	0.10	0.08	0.13	0.09
K ₂ O	2.32	1.39	1.05	1.32	0.94
P ₂ O ₅	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01
S	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
П.п.п.	11.77	3.20	2.41	3.76	2.67
Σ	100.01	99.61	74.98	99.6	70.75
Σ _{RmOn}	23.38		10.62		7.0
<i>K</i>	2.566		2.566		2.566
SiO ₂ _{связ}	60.00		27.25		17.96
SiO ₂ _{своб}	—		32.75		42.04
<i>C</i> (степень разрушения), %	0		54.58		70.01

минерал Варваровского месторождения бентонитов может быть отнесен к группе Al–Fe-монтмориллонита, согласно классификации [5].

В табл. 2 приведен химический состав отмученного бентонита фракции <1 мкм, активированного 10—20 %-й серной кислотой, а также степень разрушения глинистого минерала Варваровского месторождения при кислотной активации. В соответствии с данными РФА эта фракция бентонита полиминеральна и состоит из монтмориллонита (70—75 %) и высокодисперсных частиц кварца, полевых шпатов, слюды и каолинита (табл. 1). Соотношение $K = \text{SiO}_2 : R_m\text{O}_n = 2.57$, где $R_m\text{O}_n$ — сумма оксидов Al, Fe, Mg и Mn, входящих в состав алюмосиликатного слоя, близко к теоретическому для идеального монтмориллонита — $\text{Na}_{0.35}\text{Al}_{1.65}\text{Mg}_{0.35}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($K = 2.63$). Расчетная степень разрушения варваровского бентонита (фракция <1 мкм) при кислот-

ной активации 10 и 20 %-й серной кислотой при 98 °С в течение 6 ч составляет 55 и 70 % соответственно (табл. 2). Расчеты произведены в предположении, что конечным продуктом кислотного разрушения монтмориллонита является рентгеноаморфный диоксид кремния, так как на порошковых рентгенограммах кислотно-активированных образцов регистрируются дифракционные линии лишь породообразующих минералов — кварца, полевых шпатов, слюды и каолинита (табл. 1). Характерное дифракционное отражение смектита при 1.4—1.5 нм при активации 10 %-м раствором H₂SO₄ приобретает характер плавного гало и совсем исчезает при обработке 20 %-м раствором кислоты.

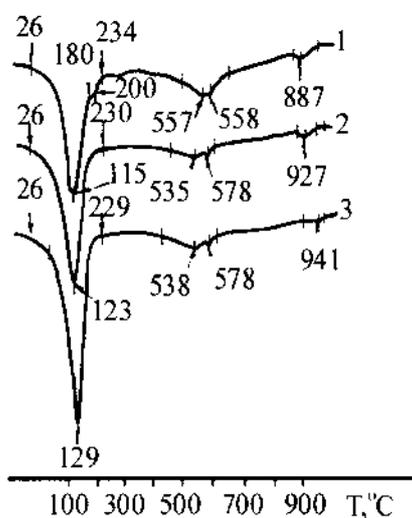


Рис. 1. ДТА-кривые отмученного варваровского бентонита (фракция <1 мкм): 1 — природного; 2–3 — активированного 10- и 20 %-й серной кислотой соответственно.

На ДТА-кривой образца отмученного бентонита (фракция <1 мкм) наблюдаются три эндотермических эффекта (рис. 1). Первый термический эффект при 27—245 °С с максимумом при 115 °С связан с удалением свободной и межслоевой воды; второй — при 478—640 °С с максимумом при 557 °С обусловлен удалением структурной (гидроксильной воды) при разрушении алюмосиликатных слоев минерала. Небольшой эндотермический эффект при 823—941 °С с максимумом при 887 °С связан со структурной перестройкой глинистого минерала с образованием шпинелей. Наличие описанных выше термических эффектов характерно для монтмориллонитов [7]. На кривых ДТА и ДТГ низкотемпературного эн-

дотермического эффекта на восходящих участках кривых наблюдается перегиб в интервале температур 180—230 °С, что обусловлено присутствием обменных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺. Обработка бентонита 10 и 20 %-й серной кислотой приводит к постепенному разрушению структуры глинистого минерала, что на ДТА-кривых отражается уменьшением интенсивности и сужением температурных интервалов всех трех эндотермических эффектов с максимумами при 123 и 129 °С, 535 и 538 °С, 927 и 941 °С соответственно. Наблюдаемый на термограммах эндоэффект при 573—578 °С обусловлен α > β-переходом присутствующего в изучаемых образцах кварца и кислотная активация не приводит к его разрушению.

Активация глинистого минерала H₂SO₄ приводит к изменению химического состава и адсорбционной способности минерала, что подтверждается количеством воды, выделенной при первом термическом эффекте. В образце отмученного бентонита количество выделенной воды — 81.5 % мас. от массы всей удаленной воды, а после обработки 10 и 20 %-м раствором H₂SO₄ количество воды, выделенной при первом термическом эффекте, составляет 87.8 и 89.2 % мас. соответственно.

Удельная поверхность образцов, определенная по адсорбции воды, в зависимости от концентрации H₂SO₄, по мере разрушения минерала уменьшается от 184 м²/г для отмученного бентонита (фракция <1 мкм), до 170 и 161 м²/г при активации 10 и 20 %-й серной кислотой соответственно (табл. 3). В то же время удельная поверхность, измеренная по адсорбции гексана, увеличивается почти в 3 раза, со значения 58 м²/г для отмученного бентонита до 134 и 168 м²/г для образцов, активированных 10 и 20 %-й H₂SO₄ соот-

Т а б л и ц а 3

Изменение удельной поверхности S, определенной методом адсорбции воды и гексана, варваровского бентонита при кислотной активации

Образец	S, м ² /г	
	по воде	по гексану
Отмученный бентонит, фракция <1 мкм	184 ± 1	58 ± 1
Активированный бентонит, 98 °С, 6 ч:		
10 %-й H ₂ SO ₄	170 ± 2	134 ± 2
20 %-й H ₂ SO ₄	161 ± 2	168 ± 2

ветственно. При разрушении минерала кислотой с увеличением диаметра пор увеличивается и поверхность, доступная для гексана, а при разрушении монтмориллонита на 70 % практически вся поверхность становится доступной для гексана, о чем свидетельствуют близкие значения величин удельной поверхности по воде и по гексану (рис. 2). Площадь, расположенная между кривыми изменения удельной поверхности по воде и по гексану и осью ординат, ограничивает зону стерили-

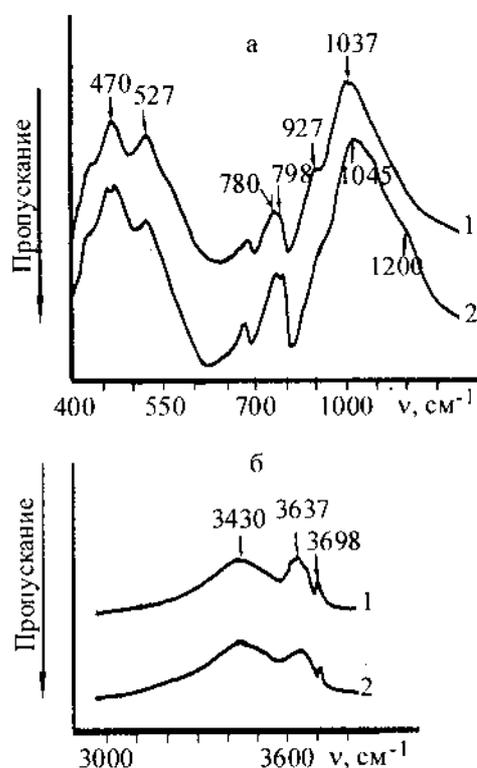


Рис. 2. ИК-спектры поглощения отмученного (1) и активированного 20 %-й H_2SO_4 (2) образцов варваровского бентонита (фракция <1 мкм) в области 400—2000 cm^{-1} (а) и 3000—4000 cm^{-1} (б). Навеска образцов — 3 мг на 500 мг КВг.

ческой недоступности поверхности минерала для паров гексана и других неполярных молекул с размерами, равными или большими молекулы гексана. Установление связи между степенью разрушения и изменением удельной поверхности дает возможность установить оптимальную степень разрушения минерала, при которой адсорбент будет проявлять максимальные адсорбционные свойства к адсорбату.

Расчет распределения пор по эффективным радиусам показал, что для отмученного бентони-

та (фракция <1 мкм) характерны значения эффективных радиусов пор 1.5 и 4.0 нм. Воздействие 10 %-й кислоты сохраняет поры с радиусами 4 нм, однако больший объем принадлежит порам 6 нм. При активации 20 %-й H_2SO_4 основное количество пор имеет средний радиус в пределах 9—11 нм при небольшом количестве пор 4 нм. Это подтверждает изменения удельной поверхности по гексану доступностью вскрытых пор для молекул органического адсорбата.

На ИК-спектре отмученного варваровского бентонита (рис. 2, а, б), кроме спектров поглощения, характерных для монтмориллонита и равных 470, 527, 927, 1037, 3637 m^{-1} (3630 cm^{-1} для образца, приготовленного на CaF_2 -пластине), наблюдаются полосы, присущие примесным минералам, таким, как кварц (полосы поглощения при 780 и 798 cm^{-1}) и, возможно, оксидам железа (повышенный фон в области 500—900 cm^{-1}). Кроме того, на ИК-спектре отмученного бентонита наблюдается нехарактерная для диоктаэдрических монтмориллонитов полоса валентных колебаний при 3698 cm^{-1} , которая может быть обусловлена присутствием небольшого количества каолинитовой фазы. С учетом данных РФА ее следует отнести к высокочастотному валентному колебанию структурных гидроксильных групп каолинита.

В кислотно-активированном образце наблюдается уменьшение интенсивности полос поглощения с максимумом при 527 cm^{-1} (деформационные колебания Si—O—M, где M — октаэдрический катион), 927, 3642 cm^{-1} (деформационные и валентные колебания структурных гидроксильных групп), что свидетельствует о выщелачивании октаэдрических катионов. Регистрируется плечо в области 1200 cm^{-1} — валентные колебания Si—O—Si связей с углом Si—O—Si, равным примерно 180 °С [8], принадлежащие аморфному кремнезему, образованному в результате частичного разрушения структуры монтмориллонита. Полоса поглощения валентных колебаний кремний-кислородных связей при 1037 cm^{-1} при активации отмученного бентонита 10 и 20 %-м раствором H_2SO_4 смещается до 1042 и 1045 cm^{-1} соответственно, что согласовывается с работой [9]. Полосы поглощения примесных фаз кварца и каолинита практически не изменяются в результате кислотной обработки образцов.

Микроэлементный состав бентонитовой глины Варваровского месторождения показал, что содержание обнаруженных микроэлементов не превышает кларковых величин элементов в осадочных породах (глинах и сланцах) [10] и состав-

ляет, $\cdot 10^{-3}$ %: Cr<20, Ni<10, Cu<2.0, Zn – 6.2, Sb<10, Rb – 11.1, Sr – 8.8, Pb – 1.6, Zr – 9.9, Ba – 46.9, La – 2.0, Ce – 6.0, Cs<2.0, Hg<3.0. Мышьяк, кадмий, торий, уран и другие токсичные и радиоактивные элементы не фиксируются в исследуемых образцах. Отсутствие большинства микро- и токсичных элементов в глинистом минерале указывает на возможность использования варваровского монтмориллонита в промышленности.

Таким образом, исследован глинистый минерал нового бентонитового месторождения Украины — с. Варваровка Хмельницкой обл. На основе данных РФА, ДТА, ИК-спектроскопии, химического анализа и катионной обменной емкости установлено, что глинистый минерал бентонитовой породы представляет собой Al-Fe-монтмориллонит (содержание в породе 50—55 %). Исследовано влияние кислотной обработки на степень разрушения структуры минерала и изменение удельной поверхности с целью использования глинистого минерала в качестве сорбента для очистки масел. Установлено, что при обработке 10—20 %-й серной кислотой степень разрушения глинистого минерала составляет 55 и 70 % соответственно, удельная поверхность увеличивается от 58 до 168 м²/г. Методами РФА, ИК-спектроскопии и химического анализа установлено, что кислотная активация 10—20 %-м раствором H₂SO₄ приводит к частичному разрушению структуры монтмориллонита с образованием аморфного кремнезема и выщелачиванию компонентов.

Данные микроэлементного состава бентонитовой породы Варваровского месторождения свидетельствует об экологической чистоте глинистого минерала как минерального сырья для использования в качестве сорбентов для очистки масел, приготовления окатышей и буровых растворов.

Выражаем глубокую признательность академику РАЕН, профессору Н.В. Перцову за помощь в выполнении работы и участие при обсуждении результатов.

РЕЗЮМЕ. Методами РФА, ДТА, ІЧ-спектроскопії досліджено мінеральний склад бентонітової породи нового родовища України — с. Варварівка, Хмельницької області. Встановлено, що глинистий мінерал являє

собою Al-Fe-монтморилоніт. Кислотна активація веде до часткового руйнування структури монтморилоніту із виникненням аморфного кремнезему, вилужування компонентів структури. При обробці 10—20 %-м розчином сірчаної кислоти концентрації ступінь руйнування глинистого мінерала складає 55 та 70 % відповідно, питома поверхня збільшується від 58 до 168 м²/г. Відсутність токсичних елементів і концентрації елементів-домішок у глинистому мінералі дозволяє використання варварівського монтморилоніту для отримання сорбентів.

SUMMARY. The mineral composition of bentonite rock from new Ukrainian deposit in Varvarovka, Chmelnit-sky region, was investigated by X-ray phase, differential thermal, infrared and atomic absorptive spectroscopy methods. This clay mineral is Al-Fe montmorillonite, as shows our investigations. The acid activation results in partial destruction of montmorillonite structure with amorphous silica formation and structural components lixiviation. The sulphuric acid treatment with 10—20 % concentration changes destructiveness from 55 to 70 % accordingly and increase specific surface from 58 to 168 m²/g. Varvarovka's montmorillonite can be used for sorbents industry, pellets and drilling fluid preparation, as it is free from toxic elements and admixtures.

1. Грицьук В.Е. // Тез. докл. респ. научн.-техн. совещания., г. Берегово, Закарпатской обл., 20—21 сентября. -Киев, 1987. -С. 38—41.
2. Powder Diffraction File. International Centre for Diffraction Data. -Swartmore, Penselvania, USA, 1977.
3. Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты) / Под ред. В.А. Франк-Каменецкого. -Ленинград: Недра, 1983.
4. Brindley G.W., Brown G. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. -London: Miner. soc., 1980.
5. Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. -Москва: Наука, 1990.
6. Green-Kelly R. // J. Soil. Sci. -1953. -4, № 2. -P. 233—237.
7. Иванов В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розина Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. -Ленинград: Недра, 1974.
8. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. -Киев: Наук. думка, 1975.
9. Palkova H., Madejova J., Righi D. // Clays and Clay Minerals. -2003. -51, № 2. -P. 133—142.
10. Перельман А.И. Геохимия. -Москва: Высш. шк., 1979.

Институт биокolloидной химии им. Ф.Д. Овчаренко НАН Украины, Киев
Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев
Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев

Поступила 27.10.2004