



Badanie procesu sorpcji jonów Pb i Cu na bentonicie

The investigation on Pb²⁺ and Cu²⁺ ions on bentonite

Lenka FUSOVA¹⁾, Katerina CECHLOVA²⁾, Vladimír ČABLIK³⁾

¹⁾ Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava; 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: lenka.fusova@vsb.cz

²⁾ Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava; 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic

³⁾ Doc. Ing., Ph.D. Institute of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VŠB – Technical University of Ostrava; 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; e-mail: vladimir.cablik@vsb.cz

RECENZENCI: Dr Zbigniew TAJCHMAN; Ing. Miluse HLAVATA, PhD

Streszczenie

Przeanalizowano możliwość usuwania jonów Pb²⁺ oraz Cu²⁺ z wodnego roztworu poprzez sorpcję bentonitu i modyfikację jego właściwości. Próbkę bentonitu pobrano ze złoża Branany – Cerny Vrch w Republice Czeskiej. Próbka była głównie złożona z montmorillonitu, kwarcu i syderytu. Aby poprawić jego właściwości sorpcyjne modyfikowano je poprzez interkalację (z użyciem octadecylaminy) oraz nityfikację (roztworem 1M NaCl). Do opisu sorpcji wykorzystano modele Langmuira i Freundlicha zaadaptowane dla izoterm sorpcji Pb²⁺ oraz Cu²⁺ na czystym bentonicie i próbkach zmodyfikowanych.

Summary

The removal of Pb²⁺ and Cu²⁺ from aqueous solutions by sorption onto bentonite and its modification was investigated. The bentonite sample was taken from the Branany – Cerny Vrch locality in the Czech Republic. This sample was mainly composed of montmorillonite, quartz and siderite; to improve its sorption properties it was modified by intercalation (by octadecylamine) and nitrification (by 1M NaCl). The Langmuir and Freundlich models were adopted to describe the sorption isotherms of Pb²⁺ and Cu²⁺ adsorption on the raw bentonite and modified samples.

Słowa kluczowe: bentonit, adsorpcja, interkalacja, nityfikacja

Keywords: adsorption; intercalation; nitrification

Wstęp

Problem usuwania zanieczyszczeń z wody odpadowej jest ważnym procesem, a wraz ze wzrostem aktywności produkcyjnej zwiększa się jego znaczenie, dlatego też istnieje kilka metod wydzielenia metali zanieczyszczających. Adsorpcja jest jedną z bardziej popularnych metod dla usuwania metali ciężkich z wody odpadowej, a powodem tego są niskie koszty tego procesu. Z uwagi na koszty produkcji używają do adsorpcji substancji odpadowych.

Bentonit jest czystym materiałem uzyskiwanym jako kopalina towarzysząca wydobyciu węgla brunatnego w Republice Czeskiej. Bentonit ma optymalne właściwości sorpcyjne do wykorzystania jako adsorbent. Efektem tego jest polepszenie wydajności ekonomicznej w górnictwie i węgla brunatnego oraz uniknięcie akumulacji bentonitu w środowisku.

Intercalacja przy użyciu octadecylaminy w różnych dawkach i nityfikacja przy użyciu 1M roztworu chlorku sodu została wykorzystana do poprawy właściwości sorpcyjnych (przeźroczność międzywarstwowa, powierzchnia, zdolność wymiany jonowej) bentonitu.

Przygotowane materiały – zmodyfikowane próbki bentonitu i próbki surowe były przetestowane jako potencjalny adsorbent ciężkich metali. W artykule przedstawiono wyniki adsorpcji jonów ołowiu i miedzi przez próbkę czystego bentonitu i jego modyfi-

Introduction

The problem of removing pollutants from water is an important process and is becoming more important with the increase of industrial activities. There are several methods to treat metal contaminated effluent. Adsorption is one of the more popular methods for the removal of heavy metals from wastewater. Low cost adsorbents are preferred in the purification process. For this reason, industrial wastes and mining by-products are used.

Bentonite is a raw material extracted during brown coal mining in the Czech Republic. Bentonite has optimal sorption properties for its use as an adsorbent. This approach ensures the improvement of the economic effectiveness of mining and helps prevent its accumulation in the environment.

Intercalation with octadecylamine in different weight ratios and nitrification by 1M solution of sodium chloride were used for improving the sorption properties (the interlayer space, surface area, ion-exchange capacity) of bentonite sample.

Prepared materials – modified samples of bentonite and its raw form – were tested as potential adsorbents for heavy metals adsorption. This paper summarizes the results of lead and copper adsorption on a raw bentonite sample and its modifications.

kacje. Próby wody wykorzystanej do adsorpcji jonów Pb^{2+} oraz Cu^{2+} były przygotowane w warunkach laboratoryjnych.

Doświadczenia

Materiały i metody

Do badania wykorzystano próbki bentonitu pochodzące ze złoża Branany – Cerny Vrch w Republice Czeskiej. Przeprowadzono następujące analizy: dyfrakcję rentgenowską (XRD) i fluorescencję rentgenowską (XRF) na urządzeniach URD-6 (Freiberger Präzisionsmechanik/Seifer Roentgen) oraz SPECTROSCAN MACK-GV. Powierzchnia właściwa została zmierzona analizatorem GEMINI 2360 (Micrometrics).

Próbka bentonitu została rozdrobniona i zmielona a następnie przesiana z zamiarem otrzymania dwóch klas ziarnowych: $<0,1$ mm oraz $0,1 - 0,5$ mm. Te klasy (bez obróbki chemicznej) zostały potraktowane jako standardowe. Obróbka chemiczna obejmowała nitrifikację (1M NaCl/100g) oraz interkalację (octadecylaminą – ODA). Taka obróbka pozwoliła na zmianę struktury bentonitu. Interkalacja została przeprowadzona dla różnych proporcjach substratów: 100 g próbki i 75 g ODA (1:0,75), 100 g próbki i 100 g ODA (1:1) oraz 100 g próbki i 150 g ODA (1:1,5). To proces modyfikacji bentonitu został przedstawione na rys. 1.

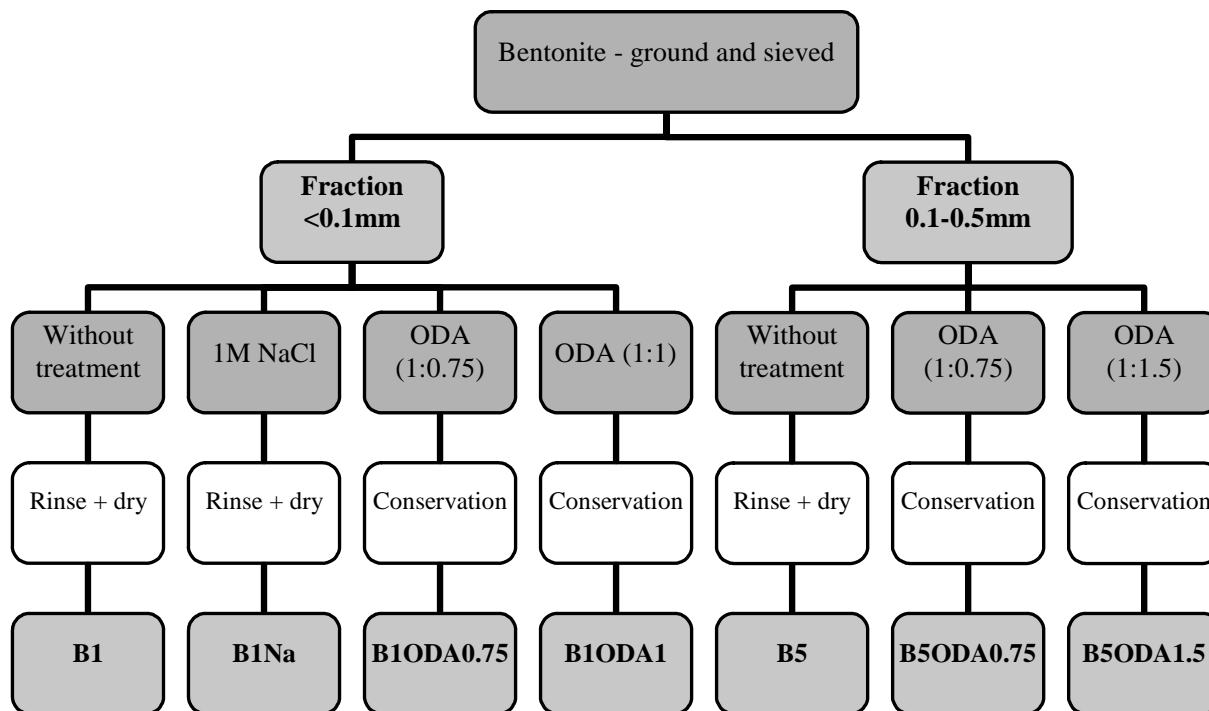
These samples were used for the adsorption of Pb^{2+} and Cu^{2+} from the synthetically prepared waste water.

Experimental

Materials and methods

A sample of bentonite from the Branany – Cerny Vrch locality was used for experiments. The X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) analyses were carried out on an URD-6 (Freiberger Präzisionsmechanik/Seifer Roentgen) and a SPECTROSCAN MACK-GV, respectively. The specific surface area was measured by a GEMINI 2360 (Micrometrics).

This sample was physically treated by crushing and grinding, then sieved with the intention of obtaining two fractions: <0.1 mm and $0.1 - 0.5$ mm. These two fractions (without chemical treatment) were measured as standards. Chemical treatment included a nitrification (by 1M NaCl/100g of sample) and an intercalation (by octadecylamine – ODA). These treatments provided a change of the bentonite structure. Intercalations in different weight ratios were used: 100 g of sample and 75 g of ODA (1:0.75), 100 g of sample and 100 g of ODA (1:1) and 100 g of sample and 150 g of ODA (1:1.5). The specific preparation of the bentonite modifications can be seen in Fig. 1.



Rys. 1
Schemat przygotowania modyfikacji bentonitu

Fig. 1
Scheme of preparation of the bentonite modifications

Badania sorpcji

Testy sorpcji Batch'a były przeprowadzone w temperaturze 25 °C poprzez mieszanie 1000 g próbki bentonitu lub zmodyfikowanego bentonitu z 50 ml roztworów standardowych zawierających zadaną koncentrację jonów metali ciężkich (Pb^{2+} oraz Cu^{2+}). Mieszaninę umieszczono w butelce z polypropylenu (PPE) o pojemności 80ml i poddano wirowaniu przy obrotach 120 obr/min, w czasie umożliwiającym osiągnięcie równowagi a następnie odfiltrowano przy użyciu filtrów papierowych (Fluka, Niemcy). Wszystkie próbki zostały poddane analizie na Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS) – Varian, Australia. Każde doświadczenie było powtórzone a wyniki zostały uśrednione.

Koncentracja zabsorbowanych metali została wyliczona z różnicy pomiędzy początkową (c_0) i końcową (c_r) koncentracją metalu w roztworze modelowym. Stopień adsorpcji (procentowe) (E) został obliczony z wzoru (1):

$$E(\%) = \frac{(c_0 - c_r)}{c_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Aby przeanalizować stopień adsorpcji metalu przez bentonit, określono początkową koncentrację metalu. Założona początkowa koncentracja to 500, 1000, 1500, 2000 i 2500 mg Pb^{2+} /l oraz 300, 600, 900, 1200 i 1500 mg Cu^{2+} /l. Wszystkie testy zostały przeprowadzone w stałych warunkach, próbki były filtrowane i analizowane przez FAAS. Dane adsorpcyjne mogą być zinterpretowane przy wykorzystaniu różnych modeli. Modele Langmuir'a (2) i Freundlich'a (3) są zazwyczaj wykorzystywane do opisu danych doświadczalnych.

$$a = a_m \cdot \frac{b \cdot c_r}{1 + b \cdot c_r} \quad (2)$$

$$a = K \cdot c_r^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

gdzie:

- a jest zdolnością adsorpcyjną (mg/g),
- a_m jest maksymalną zdolnością adsorpcyjną (mg/g),
- b jest stałą Langmuir'a (L/mg),
- c_r jest wynikowym stężeniem roztworu,
- K jest stałą Freundlich'a charakteryzującą maksymalność zdolność adsorpcji (L/g),
- n jest stałą Freundlich'a charakteryzującą maksymalne natężenie adsorpcji.

Sorption studies

Batch sorption tests were conducted at temperature of 25 °C, by mixing 1.000 g of the sample of bentonite and modified bentonite with 50 mL of model solutions containing the desired concentration of heavy metal ions (Pb^{2+} and Cu^{2+}). The mixture was agitated in 80 mL polypropylene (PPE) plastic bottles in a tumbling mill at 120 rev./min for the time necessary to achieve an adsorption equilibrium and then filtered, using filter papers (Fluka, Germany). All the samples were analysed by Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS) – Varian, Australia. Each experiment was carried out in duplicate and the average results are presented in this study.

The adsorbed metal concentrations were obtained from the difference between the initial (c_0) and final (c_r) metal concentration in the model solution. The percentage removal (E) was calculated as (1):

To study equilibrium of metal removal by bentonite, individual initial metal concentrations were determined. The required initial concentrations were 500, 1000, 1500, 2000 and 2500 mg Pb^{2+} /L and 300, 600, 900, 1200 and 1500 mg Cu^{2+} /L. All tests were conducted with constant agitation, with samples filtered and analysed by FAAS. The adsorption data can be interpreted using several relationships. The Langmuir (1) and Freundlich models (2) are commonly used to fit experimental data.

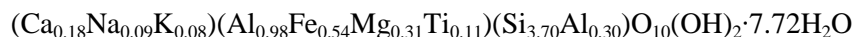
where:

- a is an adsorption capacity (mg/g),
- a_m is a maximal adsorption capacity (mg/g),
- b is a Langmuir constant (L/mg),
- c_r is a final concentration of the solution,
- K is a Freundlich constant for characterising maximal adsorption capacity (L/g),
- n is a Freundlich constant for characterising maximal intensity of adsorption.

Rezultaty i dyskusja

Analiza XRD próbki bentonitu pokazała, że jego głównym składnikiem – 85,90% – jest grupa minerałów amorficznych (takich jak: smektynit, szkło wulkaniczne, frakcje organiczne). Innymi składnikami są kwarc (8,33%), syderyt (2,49%), anataz (1,91%) oraz kalcyt (1,41%). Podstawowym pasmem dyfrakcji próbki było 15,25 Å.

Formuła krystallochemiczna stworzona na bazie analizy XRF przy uwzględnieniu 10 atomów O oraz 2 grup OH to:



Oznaczona wielkość powierzchni właściwej wyniosła 73,77 m²/g.

Równowaga sorpcyjna Pb²⁺ próbek nie poddanych działaniu chemicznemu została osiągnięta po 7 godzinach, dla próbki B1Na po 5 godzinach oraz dla próbek modyfikowanych ODA po 3 godzinach. Równowaga sorpcyjna Cu²⁺ dla zmodyfikowanych próbek została osiągnięta w tym samym czasie co dla Pb²⁺. Próbki B1 i B5 osiągnęły równowagę odpowiednio po 12 i 9 godzinach.

Maksymalny spadek zawartości jonów metali Pb²⁺ oraz Cu²⁺ w każdej próbce pokazano na rys. 2. W przypadku Pb²⁺ adsorpcja dla próbek zmodyfikowanych przez ODA osiągnęła wysokie wartości – maksymalna adsorpcja Pb²⁺ z roztworu metalu uzyskana została przy użyciu B1ODA0.75 (87,100%). Maksymalna adsorpcja Cu²⁺ została zaobserwowana w próbce B5ODA1.5 (92,57%). Najlepsza próbka w klasie ziarnowej <0,1 mm była B1ODA1 gdzie maksymalna adsorpcja Cu²⁺ osiągnęła 85,94%.

Results and discussion

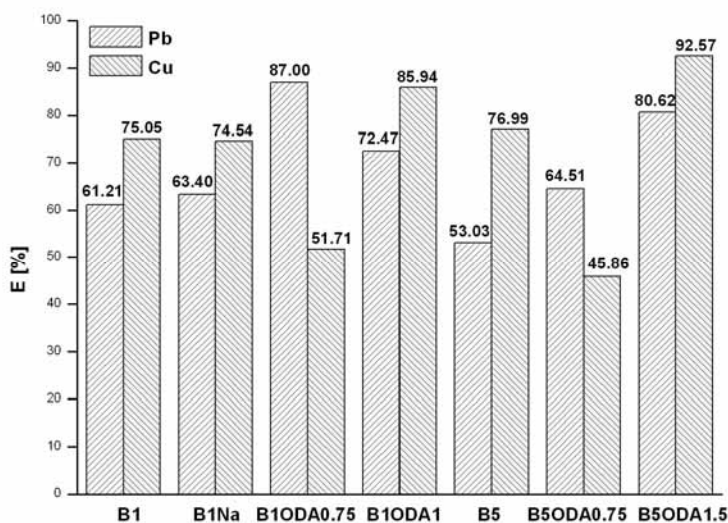
XRD analysis of the sample of bentonite showed that the main compound is a group of amorphous minerals 85.90 % (such as smectite, volcanic glass, organic fraction). The other compounds are quartz (8.33 %), siderite (2.49 %), anatase (1.91 %) and calcite (1.41 %). The basal diffraction of this sample was 15.25 Å.

The crystallochemical formula calculated after XRF analysis using base 10 structural O and 2 OH was:

The value of the specific surface area was 73.77 m²/g.

The sorption equilibrium of Pb²⁺ for samples without chemical treatment (B1, B5) was achieved after 7 hours, for sample B1Na 5 hours and for samples after treatment with ODA after 3 hours. The sorption equilibrium of Cu²⁺ for modified samples was achieved in the same time as for Pb²⁺. Samples B1 and B5 achieved the equilibrium at 12 and 9 hours, respectively.

The maximal metal decrease of Pb²⁺ and Cu²⁺ for each sample is shown in Fig. 2. In the case of Pb²⁺ adsorption the samples modified by ODA reached high values – maximal adsorption of Pb²⁺ from the metal solution was measured with using B1ODA0.75 (87.00%). The maximal adsorption of Cu²⁺ was seen in the sample B5ODA1.5 (92.57%). The best sample in fraction <0.1 mm was B1ODA1 where the maximal adsorption of Cu²⁺ was 85.94%.



Rys. 2
Maksymalny spadek zawartości Pb²⁺ oraz Cu²⁺
dla próbek bentonitu

Fig. 2
The maximal metal decrease of Pb²⁺ and Cu²⁺
for bentonite samples

Modele adsorpcyjnych izoterm zostały określone dla opisanego mechanizmu adsorpcji. Parametry izoterm adsorpcji Langmuir'a i Freundlich'a zostały wyliczone metodą regresji nieliniowej przy użyciu programu OriginPro 8. Wyliczone parametry modeli izoterm zostały przedstawione w tabeli 1 i 2.

Maksymalna wartość zdolności adsorpcyjnej Pb^{2+} opisanej przez model Langmuir'a została uzyskana przez B5ODA1.5 (117.22 mg Pb^{2+} /g). Inne próbki zmodyfikowane przez ODA także osiągnęły wysokie wartości zdolności adsorpcji Pb^{2+} . Próbkę zmodyfikowaną przez nitrifikację wykazała 76.99 mg Pb^{2+} /g, co reprezentuje nieznacznie wyższą wartość niż próbka bez modyfikacji – B1 (72.68 mg Pb^{2+} /g). Najniższa wartość zmierzono dla próbki B5 (62.03 mg Pb^{2+} /g). Podsumowując: wszystkie modyfikacje zwiększyły maksymalną zdolność adsorpcyjną próbek bentonitu.

Models of adsorption isotherms were constructed for understanding a mechanism of adsorption. Langmuir and Freundlich parameters were calculated by nonlinear regression using OriginPro 8. Final parameters of the isotherm models are shown in Table 1 and Table 2.

The maximum value of adsorption capacity Pb^{2+} calculated by the Langmuir model was detected by B5ODA1.5 (117.22 mg Pb^{2+} /g). Other samples modified by ODA also achieved high values of adsorption capacity of Pb^{2+} . A sample modified by nitrification showed 76.99 mg Pb^{2+} /g, which represented a slightly higher value than a sample without modification – B1 (72.68 mg Pb^{2+} /g). The lowest value was calculated at sample B5 (62.03 mg Pb^{2+} /g). In conclusion all modifications contributed to the higher value of maximal adsorption.

Tabela 1
Wyliczone parametry izoterm adsorpcji Pb^{2+} dla próbek bentonitu wyznaczone metodą regresji nieliniowej

Table 1
Final parameters of the adsorption isotherms Pb^{2+} for bentonite samples calculated by nonlinear regression

Próbka Sample	Parametry izoterm adsorpcji Parameters of adsorption isotherms					
	Langmuir		Współczynnik korelacji Correlation coefficient	Freundlich		Współczynnik korelacji Correlation coefficient
	a_m	b		K	n	
B1	72,68	0,15	0,79704	35,69	9,00	0,99817
B1Na	76,99	4,29	0,99366	43,52	10,49	0,95515
B1ODA0.75	97,15	0,06	0,86517	28,23	4,64	0,96616
B1ODA1	82,80	2,45	0,90136	44,54	9,06	0,98339
B5	62,03	0,11	0,90976	19,88	5,59	0,97943
B5ODA0.75	94,82	0,01	0,96756	11,94	3,38	0,88285
B5ODA1.5	117,22	0,01	0,89828	23,53	4,26	0,95081

Tabela 2
Wyliczone parametry izoterm adsorpcyjnych jonów Cu^{2+} dla próbek bentonitu wyznaczone metodą regresji nieliniowej

Table 2
Final parameters of the adsorption isotherms Cu^{2+} for bentonite samples calculated by nonlinear regression

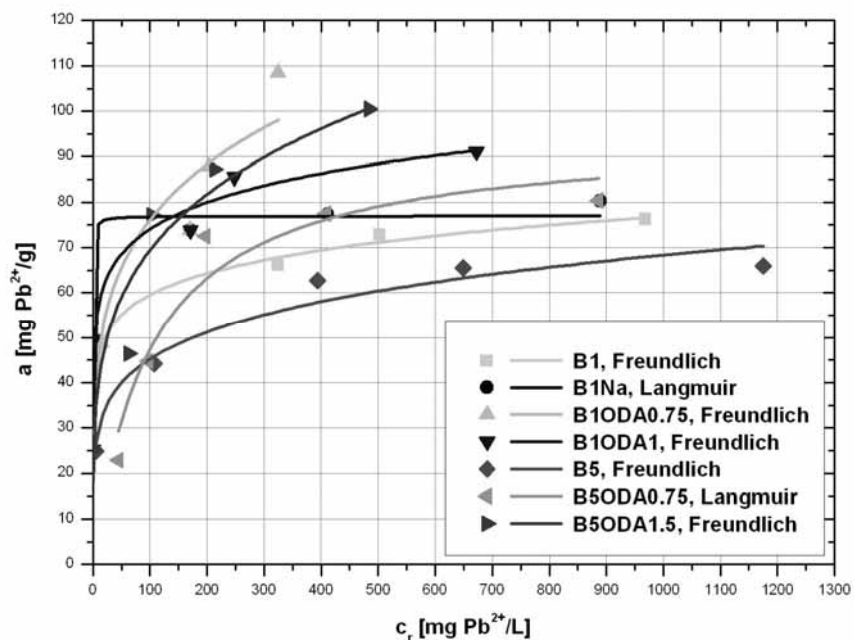
Próbka Sample	Parametry izoterm adsorpcji Parameters of adsorption isotherms					
	Langmuir		Współczynnik korelacji Correlation coefficient	Freundlich		Współczynnik korelacji Correlation coefficient
	a_m	b		K	n	
B1	50,44	2,02	0,93417	24,52	7,25	0,94379
B1Na	50,23	1,88	0,95176	24,36	7,22	0,94897
B1ODA0.75	1,37E6	3,94E-8	0,95344	0,01	0,83	0,96444
B1ODA1	62,62	13,98	0,97743	42,32	10,64	0,84872
B5	70,86	0,01	0,88607	10,10	3,51	0,94863
B5ODA0.75	772449,47	5,60E-8	0,92752	0,02	0,88	0,93226
B5ODA1.5	66,92	7,41	0,97896	42,66	8,54	0,85415

Wartości maksymalnej zdolności adsorpcji Cu^{2+} dla próbek B1ODA0.75 oraz B5ODA0.75 wyliczone dla modelu Langmuir'a wykazały błąd. W tym przypadku adsorpcja nie mogła zostać opisana tym modelem. Rozpatrując inne próbki stwierdzono maksymalną wartość zdolności adsorpcyjnej Cu^{2+} wyliczonej dla modelu Langmuir'a uzyskano dla próbki B5 (70,85 mg Cu^{2+} /g). Próbki zmodyfikowane przez ODA – B1ODA1 oraz B5ODA1.5 – osiągnęły, konsekwentnie, wartość 62,62 mg Cu^{2+} /g oraz 66,92 mg Cu^{2+} /g. Dla próbek B1 i B1Na wyliczono wartości (odpowiednio 50,44 mg Cu^{2+} /g oraz 50,23 mg Cu^{2+} /g). Podsumowując można stwierdzić, że tylko modyfikacja przez ODA podnosi wartość maksymalnej adsorpcji. Nie zaobserwowano wzrostu tych wartości w próbkach zmodyfikowanych przez nityfikację.

Współzależność współczynników potwierdziła dobre dopasowanie modeli izoterm Langmuir'a i Freundlich'a. Dla adsorpcji Pb^{2+} model Langmuir'a dobrze opisywał próbki B1Na oraz B5ODA0.75, a model Freundlich'a odpowiadał próbkom B1, B1ODA0.75, B1ODA1, B5 oraz B5ODA1.5. Dla adsorpcji Cu^{2+} model Langmuir'a dobrze opisywał próbki B1Na, B1ODA1 oraz B5ODA1.5 a model Freundlich'a odpowiadał próbkom B1, B1ODA0.75, B5 oraz B5ODA0.75. Najbardziej odpowiednie izotermy adsorpcji Pb^{2+} oraz Cu^{2+} zostały przedstawione, odpowiednio, na rysunkach 3 i 4. Wykorzystując różne modele izoterm, pokazano, że występują różne typy procesów adsorpcyjnych. Dla wyjaśnienia mechanizmu

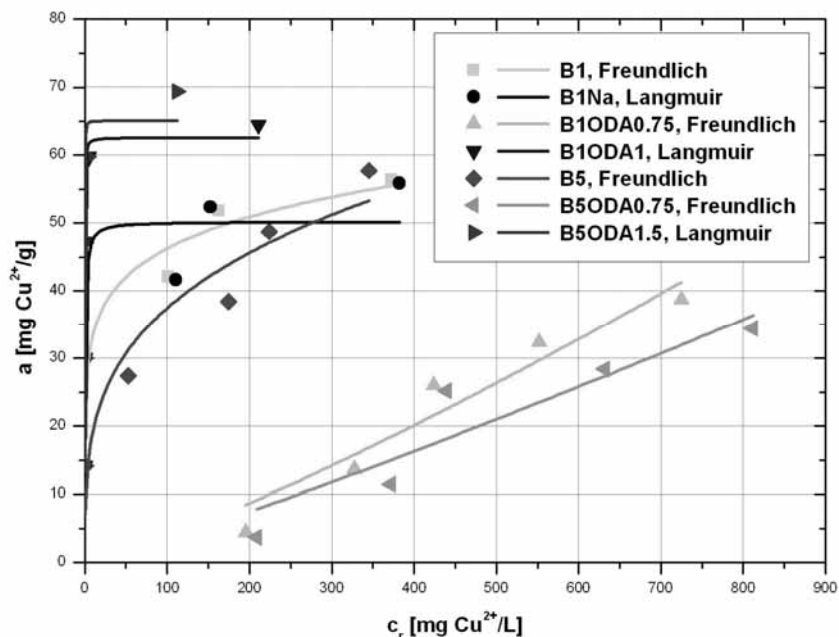
The values of maximal adsorption capacity of Cu^{2+} for samples B1ODA0.75 and B5ODA0.75 calculated by the Langmuir model showed an error. In this case these samples cannot be described by the Langmuir model. Taking into consideration the other samples the maximum value of adsorption capacity Cu^{2+} calculated by the Langmuir model was detected by B5 (70.85 mg Cu^{2+} /g). Samples modified by ODA – B1ODA1 and B5ODA1.5 – achieved values of 62.62 mg Cu^{2+} /g and 66.92 mg Cu^{2+} /g, respectively. Samples B1 and B1Na were calculated with the same values (50.44 mg Cu^{2+} /g and 50.23 mg Cu^{2+} /g, respectively). In conclusion, only modification by ODA contributed to the higher value of maximal adsorption. No increase of this value was observed in the sample modified by nitrification.

Correlation coefficients showed a suitability of the Langmuir or Freundlich isotherm models. For adsorption of Pb^{2+} the Langmuir model fitted the B1Na and B5ODA0.75 samples and the Freundlich model fitted the B1, B1ODA0.75, B1ODA1, B5 and B5ODA1.5 samples. For adsorption of Cu^{2+} the Langmuir model fitted the B1Na, B1ODA1 and B5ODA1.5 samples and the Freundlich model fitted the B1, B1ODA0.75, B5 and B5ODA0.75 samples. The most suitable isotherms for adsorption of Pb^{2+} and Cu^{2+} are constructed in Figs. 3 and 4 respectively. Using different models of isotherms showed that there were different types of adsorption process; to understand the process of the adsorption me-



Rys. 3
Najbardziej odpowiednie modele izoterm adsorpcji Pb^{2+}
próbek bentonitu

Fig. 3
The most suitable models of isotherms for adsorption
of Pb^{2+} for bentonite samples



Rys. 4
Najbardziej odpowiednie modele izoterm adsorpcji Cu^{2+} próbek bentonitu

Fig. 4
The most suitable models of isotherms for adsorption of Cu^{2+} for bentonite samples

procesów adsorpcji zostaną przeprowadzone dalsze analizy – obliczenie wartości jodometrycznych, zdolności wymiany jonów itd. co pozwoli na wyjaśnienie wpływu modyfikacji próbek bentonitu.

Wnioski

Przeprowadzone doświadczenia pozwoliły na stwierdzenie, że bentonit ze złoża Branany – Cerny Vrch w Republice Czeskiej i jego modyfikacje są odpowiednimi substancjami do adsorpcji Pb^{2+} oraz Cu^{2+} . Właściwości sorpcyjne były modyfikowane za pomocą odczynników chemicznych – ODA i roztworem 1M NaCl. Po określeniu izoterm ustalono, że najlepsze wartości sorpcyjne dla adsorpcji Pb^{2+} wykazała próbka B5ODA1.5, a Cu^{2+} w próbce B5.

Znamienne, że bentonit, czysty minerał wydobywany jako kopalina towarzysząca wydobywaniu węgla brunatnego, może być wykorzystana do adsorpcji.

Podziękowania

Praca powstała dzięki wsparciu Ministerstwa Szkolnictwa, Młodzieży i Kultury Fizycznej (Republika Czeska) – projekt nr 1M06007 “Research centre for integrated system development concerning utilisation of by-products of energy resource mining and processing”.

chanism other analyses will be carried out – determination of the iodometric number, ion exchange capacity etc. – and this will explain the behaviour of the modifications of the bentonite samples.

Conclusions

The experiments have shown that bentonite from the Branany – Cerny Vrch locality and its modifications are suitable for the adsorption of Pb^{2+} and Cu^{2+} . Sorption properties were affected by the action of chemical reagents – ODA and the 1M NaCl solution. After modelling the isotherms it has been found that the best sorption values for adsorption of Pb^{2+} were shown by the B5ODA1.5 sample and for adsorption of Cu^{2+} were shown by the B5 sample.

It is significant that bentonite as an associated raw material extracted during brown coal mining can be used for adsorption.

Acknowledgements

This work was supported by Ministry of Education, Youth and Sports (Czech Republic) – project No. 1M06007 “Research centre for integrated system development concerning utilisation of by-products of energy resource mining and processing”.

Literatura – References

1. *Álvarez-Ayuso E., García-Sánchez A.: Removal of heavy metals from waste waters by natural and Na-exchanged bentonites. Clays and Clay Minerals, Vol. 51, No. 5, p. 475–480, 2003.*
2. *Naseem R., Tahir S.S.: Removal of Pb(II) from aqueous/acidic solutions by using bentonite as an adsorbent. Water Research, Vol. 35, No. 16, p. 3982–3986, 2001.*
3. *Mucha N., Cechlová K., Fečko P., Čablík V., Janáková I., Fusová L., Havelek R.: Adsorption of selected metals on associated dead rocks from brown coal extraction. In 12th Conference on Environment and Mineral Processing, Part III, VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 2008, p. 115-120, ISBN 978-80-248-1777-4.*
4. *Bergaya F. & Theng B.K.G. & Lagaly G.: Handbook of clay science. 1st ed. Oxford: Elsevier, 2006. 1224 p. ISBN 0-08-044183-1.*
5. *Weiss Z. & Kužvart M.: Jílové minerály: jejich nanostruktura a využití. 1st ed. Praha: Karolinum, 2005. 281 p. ISBN 80-246-0868-5.*
6. *Volesky B.: Sorption and biosorption. BV Sorbex, Inc. 1st ed. Quebec: McGill University, 2003. 316 p. ISBN 0-9732983-0-8.*
7. *Weiss Z., et al.: Intercalation and grafting of vermiculite with octadecylamine using low-temperature melting. Clays and Clay Minerals. 2003, Vol. 51, No. 5, p. 555-565.*
8. *Pospíšil M., et al.: Intercalation of Octadecylamine into Montmorillonite: Molecular Simulations and XRD Analysis. Journal of Colloid and Interface Science. 2002, Vol. 245, No. 1, p. 126-132.*
9. *Fusova L., Cechlova K., Cablik V., Tora B.: The utilization of bentonite and its modification for sorption, Rocznik Ochrona Srodowiska, T.13, Rok 2011, Koszalin 2011, ISSN 1506-218X*