

ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИИ ФТОРИД-ИОНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ АКТИВИРОВАННОГО СЕРНОЙ КИСЛОТОЙ КРАСНОГО ШЛАМА ВЬЕТНАМА

С.М. Ву, Т.З. Нгуен, В.Д. Нгуен, К.Ч. Буи, Т.М.Х. Ле

Суан Минь Ву, Туан Зунг Нгуен, Ву Джианг Нгуен

Институт Тропической Технологии - Вьетнамской Академии Наук и Технологий. 18, ул. Хоанг Куок Вьет, Ханой, Вьетнам, 100000

E-mail: xuanminh1987@gmail.com, ndung@itt.vast.vn, nvgiang@itt.vast.vn

Конг Чинь Буи, Тхи Май Хьонг Ле *

Институт Технологии Радиоактивных и Редких Элементов - Институт по Атомной Энергии, 48, ул. Ланг Ха, Ханой, Вьетнам, 100000

E-mail: buict@yemail.com, huonghvc@gmail.com *

Работа посвящена изучению адсорбции ионов F^- на красном шламе, являющемся отходом завода глинозема Тан Рай (Лам Донг - Вьетнам). Красный шлам предварительно активировали раствором H_2SO_4 (2M) с соотношением твердой/жидкой фаз – 1/2. После активации его адсорбционная емкость увеличивается на 80% по сравнению с исходным красным шламом. В ходе работы были определены оптимальные условия адсорбции, при которых количество адсорбции ионов F^- достигло максимального значения (9,40 мг/г): pH = 6,8; комнатная температура и время адсорбции 120 мин. Кинетические закономерности процесса обрабатывались в рамках двух уравнений формальной кинетики первого и второго порядка. Высокое значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,9997$) свидетельствовало о том, что адсорбция ионов F^- на красном шламе подчиняется уравнениям второго порядка. На основе кинетического уравнения второго порядка были рассчитаны начальная наблюдаемая скорость процесса и время, за которое достигалась величина адсорбции на 50% и 99% от равновесного значения. Полученные данные по адсорбции показали, что процесс адсорбции ионов F^- на активированном красном шламе достоверно описывался обеими изотермами Ленгмюра и Фрейндлиха с коэффициентом корреляции $R^2 \approx 0,99$. Также была проведена обработка полученным нами активированным красным шламом (АКШ) реальных проб сточной воды, содержащей фторид-ионы с начальной концентрацией 312 мг/л, фабрики ОАО «Ван Дьен – Вьетнам». Полученные результаты показали, что при количестве АКШ 60 г/л оставшаяся в растворе концентрация F^- составляет 7,8 мг/л (выход адсорбции достигается 97,5%, соответственно), качество воды после очистки отвечало показателям допустимого стандарта Вьетнама для промышленных сточных вод класса Б.

Ключевые слова: красный шлам, адсорбция, кислотная активизация, фторидное удаление

STUDY ON ADSORPTION OF FLUORIDE ION ONTO VIETNAMESE RED MUD ACTIVATED WITH SULFURIC ACID

X.M. Vu, T.D. Nguyen, V.G. Nguyen, C.T. Bui, T.M.H. Le

Vu Xuan Minh, Nguyen Tan Dung, Nguyen Vu Giang

Institute for Tropical Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, 100000, Vietnam

E-mail: xuanminh1987@gmail.com, ndung@itt.vast.vn, vgiang@itt.vast.vn,

Bui Cong Trinh, Le Thi Mai Huong *

Institute for Technology of Radioactive and Rare Elements, 48, Lang Ha, Dong Da, Hanoi, 100000, Vietnam

E-mail: buict@yemail.com, huonghvc@gmail.com *

The work is devoted to the study of fluoride ion adsorption onto Vietnamese red mud, which is a main waste of the Tan Rai alumina plant (Lam Dong-Vietnam). The red mud has been treated with 2M sulfuric acid with a solid/liquid ratio of 1:2. After activation, its adsorption capacity is increased by 80% compared with the original red mud. During the work, the optimal conditions for adsorption were determined, under which the amount of adsorption of F⁻ ions reached a maximum value (9,40 mg/g): pH = 6.8; room temperature and adsorption time = 120 min. The kinetic regularities of the process were processed within the framework of the two equations of formal kinetics of the first and second order. The high value of the coefficient of determination ($R^2 = 0.9997$) indicated that the adsorption of F⁻ ions on the red mud follows the second order. Based on the kinetic equation of the second order, the initial observed rate of the process and the time it took for the adsorption to reach 50% and 99% of the equilibrium value were calculated. The adsorption data showed that the process of adsorption of F⁻ ions on activated red mud was reliably described by both isotherms Langmuir and Freundlich with a correlation coefficient $R^2 \approx 0.99$. We have also carried out tests to evaluate the use of red mud as an adsorbent for the removal of fluoride ion from wastewater of the Van Dien fertilized factory in Vietnam with an initial fluorine concentration of 312 mg/l. The results showed that when the amount of red mud is 60 g/l, the concentration of fluorine remaining in the solution is 7.8 mg/l (the yield of adsorption is 97.5%, respectively). The quality of the water after the treatment with activated red mud meets Vietnam permissible standard for industrial wastewater of class B.

Key words: red mud, adsorption, acid activation, fluoride removal

Для цитирования:

Ву С.М., Нгуен Т.З., Нгуен В.Д., Буи К.Ч., Ле Т.М.Х. Исследование адсорбции фтор-ионов на поверхности активированного серной кислотой красного шлама Вьетнама. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 3. С. 108–112

For citation:

Vu X.M., Nguyen T.D., Nguyen V.G., Bui C.T., Le T.M.H. Study on adsorption of fluoride ion onto Vietnamese red mud activated with sulfuric acid. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 3. P. 108–112

ВВЕДЕНИЕ

Красный шлам (**КШ**), отделяемый в ходе производства глинозема (завод «Тан Рай – Вьетнам»), классифицируется как опасные отходы из-за высокого значения рН \approx 11-12. Однако отсутствие в шламе радиоактивных элементов способствует его переработке с целью производства различной продукции.

Одной из областей применения красного шлама является очистка загрязненных вод путем адсорбции. **КШ** обладает хорошей адсорбционной способностью по отношению ко многим веществам, таким как тяжелые металлы As, Cd, Pb[1,2]... или анионы, такие как F⁻, PO₄³⁻...[3-5]. Но эффективность очистки исходного материала не высока. Для повышения поглощающей способности шлама используются следующие способы активации: кислотная обработка, термообработка, или сочетание двух этих методов [6-12].

На многих горных, химических и металлургических производствах образуются стоки с повышенным содержанием фтора, нередко сбрасываемого в водоемы питьевого и рыбохозяйственного назначения без предварительной или после недоста-

точной очистки, особенно в производстве фосфорных удобрений. Содержание фтора в стоке составляет сотни, а иногда и тысячи миллиграммов на литр. Существует много методов, используемых для удаления фтора, таких как осаждение [13], адсорбция [14-18], ионный обмен [19], обратный осмос [20] и электрохимический [21]. В последние годы уделяется большое внимание обработке адсорбентов, получаемых из промышленных отходов и характеризующихся низкой стоимостью. В 2002 г. Cengeloglu был первым исследователем в области обработки красного шлама раствором HCl 20% с целью получения фторидных адсорбентов [3].

Ранее было проведено исследование поверхностной модификации твердой фазы красного шлама, активируемого (**АКШ**) раствором H₂SO₄ с различными концентрациями [22-24]. Результаты показали, что при соотношении твердой/жидкой фаз – 1/2 (50 г шлама на 100 мл H₂SO₄ 2М) активность и удельная поверхность шлама сильно увеличивались.

Данная работа – продолжение предыдущей [22], направлена на исследование способности адсорбции анионов F⁻ на поверхности **АКШ**.

Стадии проведения экспериментов, используемые расчетные формы были приведены в работе [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1) Влияние pH на адсорбцию ионов F⁻

Эксперименты по изучению влияния pH на адсорбцию ионов F⁻ на красных шламах проводили следующим образом: в колбы, содержащие 50 мл фторидного раствора F⁻ (C(F⁻) = 30 мг/л), добавили 0,2 г адсорбента (соответственно, количество адсорбента – 4 г/л). Величина pH раствора изменялась с 2 до 10, реакционная смесь перемешивалась в течение 120 мин. Величина адсорбции вычислялась по концентрации ионов F⁻, оставшихся в растворе (C_e). Полученные результаты представлены на рис. 1.

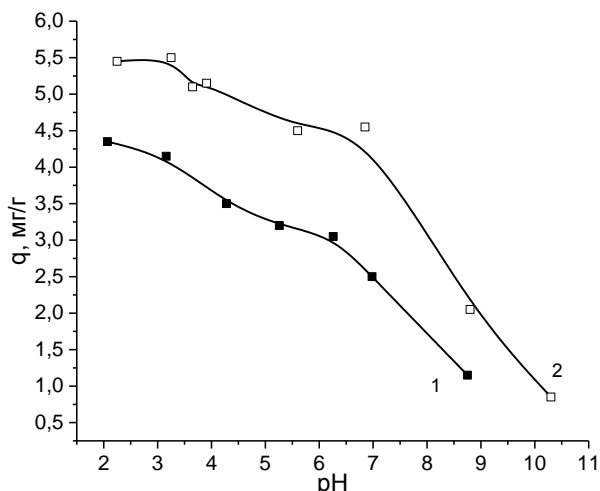


Рис. 1. Влияние pH на величину адсорбции КШ – (1) и АКШ – (2)
Fig. 1. The effect of pH on the adsorption of RM – (1) and ARM – (2)

Из рис. 1 следует, что на поверхности шламов (КШ и АКШ) хорошо адсорбируются фторидные ионы в кислой среде, а в щелочной среде их величина адсорбции сильно снижается. Кроме этого, адсорбционная способность АКШ выше, чем КШ на, примерно, 80%. Это можно объяснить увеличением удельной поверхности шлама после кислотной активации. С другой стороны, при кислотной обработке поверхность шлама несет положительный заряд, что способствует адсорбции отрицательно заряженных ионов F⁻. Для дальнейших экспериментов было выбрано значение pH = 6,8.

2) Кинетическое уравнение адсорбции фторидных ионов

Эксперименты по изучению кинетики адсорбции F⁻ на поверхности АКШ проводили при таких условиях: pH раствора – 6,8; масса АКШ – 10,0 г/л; начальная концентрация F⁻ – 50,0 и 100,0 мг/л. Полу-

ченные экспериментальные данные были обработаны и проанализированы в уравнениях кинетики адсорбции первого и второго порядков. Рассчитанные значения параметров k₁, k₂, q_e кинетических уравнений приведены в табл. 1. Основываясь на значениях R² и q_e можно делать вывод, что полученные экспериментальные данные хорошо описываются в рамках уравнения 2-ого порядка с коэффициентом корреляции R² ≈ 0,99 и q_e ≈ q_{эксп} для обоих случаев с начальными концентрациями F⁻ 50 мг/л и 100 мг/л. Таким образом, скорость адсорбции фторидных ионов на АКШ пропорциональна квадрату величины адсорбции.

Таблица 1

Кинетические характеристики процесса адсорбции ионов F⁻ на АКШ

Table 1. Kinetic characteristics of the process of adsorption of F⁻ ions on ARD

C ₀ F ⁻ (мг·л ⁻¹)	q _{эксп.} (мг·г ⁻¹)	Уравнение 1-ого порядка			Уравнение 2-ого порядка		
		k ₁ ·10 ² (мин ⁻¹)	q _e (мг·г ⁻¹)	R ²	k ₂ ·10 ² (г·мг ⁻¹ ·мин ⁻¹)	q _e (мг·г ⁻¹)	R ²
50	4,24	0,93	0,36	0,8502	16,74	4,24	0,9998
100	7,88	1,43	0,74	0,9369	8,34	7,89	0,9997

Из константы k₂ и значения q_e начальная наблюдаемая скорость процесса (v₀) рассчитывается по формуле, приведенной в работе [22]. На основе кинетического уравнения 2-ого порядка определяется время, за которое достигается величина адсорбции на 50% и 99% от равновесного значения (t_{1/2} и t_{0,99}, соответственно). Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные значения v₀, t_{1/2} и t_{0,99}
Table 2. The calculated values of v₀, t_{1/2} and t_{0,99}

C ₀ F ⁻ (мг·л ⁻¹)	q _e (мг·г ⁻¹)	v ₀ (мг·г ⁻¹ ·мин ⁻¹)	t _{1/2} (мин)	t _{0,99} (мин)
50	4,24	3,0	1,4	139,5
100	7,89	5,2	1,5	150,5

Из табл. 2 следует, что увеличение начальной концентрации фторидных ионов приводит в росту наблюдаемой скорости процесса, однако равновесие адсорбции достигается позже. В обоих случаях период полуадсорбции маленький и составляет меньше 2 мин.

3) Изотермы адсорбции F⁻ на шламе

На основе экспериментальных адсорбционных данных были построены изотермы адсорбции в координатах уравнения двух моделей – Ленгмюра и Фрейндлиха. Полученные коэффициенты уравнения для каждой модели приведены в табл. 3.

Таблица 3
Параметры уравнения изотерм Фрейндлиха и
Ленгмюра
Table 3. The parameters of the equation of Freundlich
and Langmuir isotherms

Изотерма Фрейндлиха			Изотерма Ленгмюра		
n	K_F	R^2	q_{\max} (мг/г)	K_L	R^2
2,16	0,976	0,9620	9,40	0,07	0,9756

Полученные результаты свидетельствуют о том, что адсорбция фторидных ионов на АКШ достоверно описывается обеими термодинамическими моделями. Максимальная величина адсорбции была рассчитана по модели Ленгмюра и достигла 9,40 мг/г, что превышает значение величины адсорбции шлама после обработки соляной кислотой – 6,29 мг/г [3].

4) Обработка АКШ на реальных пробах

На основании полученных результатов были проведены эксперименты по адсорбционной способности АКШ на образцах сточных вод, загрязненных фторидом фабрики ОАО «Ван Дьен – Вьетнам». После стадии прокаливания сырья – апатита для системы циркуляционного охлаждения используется обычная вода, в ней накапливается фторид, который необходимо удалять для повторного использования воды. Начальная концентрация фтора была определена и составила 312 мг/л. Эксперименты проводили при pH 6,8 в течении 2 ч, и количество адсорбента (АКШ) изменялось с 10 до 60 г/л. Полученные результаты представлены на рис. 2.

Из рис. 2 нетрудно видеть, что с ростом массы адсорбента степень поглощения (Н) увеличивается. При количестве АКШ 60 г/л оставшаяся в растворе концентрация фтора составляет 7,8 мг/л (степени поглощения достигает 97,5%, соответственно), что отвечает допустимым показателям стандарта Вьетнама для класса Б.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Soner Altundoğan H., Altundoğan S.** Arsenic removal from aqueous solutions by adsorption on red mud. *Waste Management*. 2000. V. 20. N 8. P. 761-767. DOI: 10.1016/S0956-053X(00)00031-3.
2. **Santona L., Castaldi P., Melis P.** Evaluation of the interaction mechanisms between red muds and heavy metals. *J. Hazard Mater.* 2006. V. 136. N 2. P. 324-329. DOI:10.3390/ma5091708.
3. **Yunus Cengelöglu, Esengül Kır, Mustafa Ersöz.** Removal of fluoride from aqueous solution by using red mud. *Separat. Purificat. Technol.* 2002. N 28. P. 81-86. DOI: 10.1016/S1383-5866(02)00016-3.
4. **Tor A., Danaoglu N.** Removal of fluoride from water by using granular red mud: Batch and column studies. *J. Hazard. Mater.* 2009. V. 164. N 1. P. 271-278. DOI: 10.1016/j.cej.2016.09.029.
5. **Huang W., Wang S., Zhu Z.** Phosphate removal from wastewater using red mud. *J. Hazard. Mater.* 2008. V. 158. N 1. P. 35-42. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.01.061.

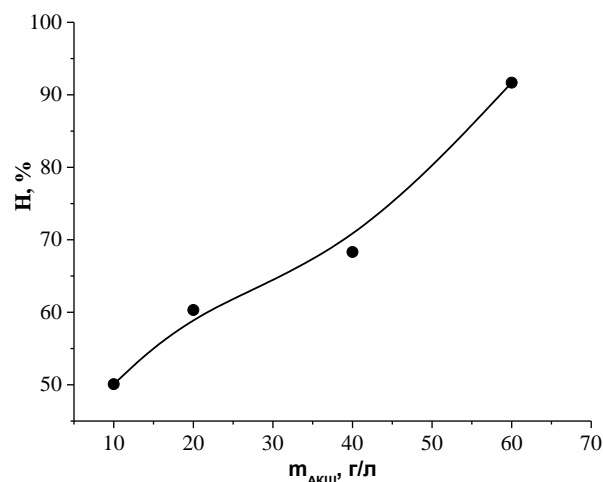


Рис. 2. Зависимость степени поглощения (Н) от массы адсорбента

Fig. 2. The dependence of the adsorption degree (H) on the mass of the adsorbent

ВЫВОДЫ

Результаты исследования адсорбции фторидных ионов на пробах красного шлама показали, что шлам хорошо адсорбирует в кислой среде (pH < 7), адсорбционная емкость красного шлама после кислотной активизации увеличивается на 80% по сравнению с исходным красным шламом при pH 6,8. Максимальная емкость адсорбции АКШ составила 9,40 мг/г.

Полученные экспериментальные данные хорошо описываются в рамках уравнения 2-ого порядка с высоким коэффициентом корреляции. Процесс адсорбции ионов F^- на шламе подчиняется термодинамическими моделями Ленгмюра и Фрейндлиха.

После процесса очистки сточной воды фабрики с применением АКШ в количестве 60 г/л, концентрация фтора снизилась с 312 мг/л до 7,8 мг/л, и качество сточной воды отвечает показателям допустимого стандарта Вьетнама.

REFERENCES

1. **Soner Altundoğan H., Altundoğan S.** Arsenic removal from aqueous solutions by adsorption on red mud. *Waste Management*. 2000. V. 20. N 8. P. 761-767. DOI: 10.1016/S0956-053X(00)00031-3.
2. **Santona L., Castaldi P., Melis P.** Evaluation of the interaction mechanisms between red muds and heavy metals. *J. Hazard Mater.* 2006. V. 136. N 2. P. 324-329. DOI:10.3390/ma5091708.
3. **Yunus Cengelöglu, Esengül Kır, Mustafa Ersöz.** Removal of fluoride from aqueous solution by using red mud. *Separat. Purificat. Technol.* 2002. N 28. P. 81-86. DOI: 10.1016/S1383-5866(02)00016-3.
4. **Tor A., Danaoglu N.** Removal of fluoride from water by using granular red mud: Batch and column studies. *J. Hazard. Mater.* 2009. V. 164. N 1. P. 271-278. DOI: 10.1016/j.cej.2016.09.029.
5. **Huang W., Wang S., Zhu Z.** Phosphate removal from wastewater using red mud. *J. Hazard. Mater.* 2008. V. 158. N 1. P. 35-42. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.01.061.

6. **Altundoğan H.S., Altundoğan S.** Arsenic adsorption from aqueous solutions by activated red mud. *Waste Management*. 2002. V. 22. N 3. P. 357-363. DOI: 10.1080/00986445.2011.631235.
7. **Genç-Fuhrman H., Tjell J.C., McConchie D.** Increasing the arsenate adsorption capacity of neutralized red mud (Bauxsol). *J. Colloid Interface Sci.* 2004. V. 271. N. 2. P. 313-320. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.10.011.
8. **Huynh Ky Phuong Ha, Tran Thi Ngoc Mai, Nguyen Le Truc.** A study activation process of red mud to use as an arsenic adsorbent. *J. ASEAN Eng.* 2011. V. 1. N 4. P. 66-72.
9. **Gupta V.K., Sharma S.** Removal of Cadmium and Zinc from aqueous solutions using red mud. *Environ. Sci. Technol.* 2002. V. 36. N 16. P. 3612-3617. DOI: 10.1021/es020010v.
10. **Sahu M.K., Mandal S.** Removal of Pb(II) from aqueous solution by acid activated red mud. *J. Environ. Chem. Eng.* 2013. V. 1. N 4. P. 1315-1324. DOI: 10.1016/j.jece.2013.09.027.
11. **Li Y., Liu C., Luan Z. and etc.** Phosphate removal from aqueous solutions using raw and activated red mud and fly ash. *J. Hazard. Mater.* 2006. V. 137. N 1. P. 374-383. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.02.011.
12. **Ratnamala G.M, Vidya Shetty K, Srinikethan G.** Optimization studies for removal of Remazol Brilliant Blue dye from aqueous solution using acid treated red mud. *J. Cur. Eng. Technol.* 2013. P. 161-167. DOI:10.1007/s11270-012-1349-4.
13. **Sollo Jr. F.W., Larson T.E., Mueller H.F.** Fluoride Removal from Potable Water Supplies. University of Illinois. 1978. P. 88-379.
14. **Biswas K., Saha, S.K., Ghosh, U.C.** Adsorption of fluoride from aqueous solution by a synthetic iron(III)–aluminum(III) mixed oxide. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2007. N 46. P. 5346-5356. DOI: 10.1021/ie061401b.
15. **Jamode A.V., Spakal V.S., Jamode V.S.** Defluoridation of water using inexpensive adsorbents. *J. Indian Inst.Sci.* 2004. P. 163-171.
16. **Das N., Pattanaik P., Das R.** Defluoridation of drinking water using activated titanium rich bauxite. *J. Colloid Interface Sci.* 2005. N. 292. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.jcis.2005.06.045.
17. **Agarwal M., Rai K., Shrivastav R., Dass S.** Defluoridation of water using amended clay. *J. Cleaner Produc.* 2003. N 11. P. 439-444. DOI: 10.1016/S0959-6526(02)00065-3.
18. **Abe I., Iwasaki S., Tokimoto T.** Adsorption of fluoride ions onto carbonaceous materials. *J. Colloid Interface Sci.* 2004. N 275. P. 35-39. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.12.031.
19. **Popat K.M., Anand P.S., Dasare B.D.** Selective removal of fluoride ions from water by the aluminium form of the aminomethylphosphonic acid-type ion exchanger. *React. Polym.* 1994. N 23. P. 23-32. DOI: 10.1016/0923-1137(94)90107-4.
20. **Sehn P.** Fluoride removal with extra low energy reverse osmosis membranes: three years of large scale field experience in Finland. *Desalination*. 2008. N 223. P. 73-84. DOI: 10.1016/j.desal.2007.02.077.
21. **Adhikary S.K., Tipnisand U.K.** Defluoridation during desalination of brackish water by electrodialysis. *Desalination*. 1989. N 71. P. 301-312. DOI: 10.1016/0011-9164(89)85031-3.
22. **Vu X.M., Nguyen T.M., Le T.M.H., Nguyen T.D.** Nghiên cứu hoạt hóa bùn đỏ bằng axit sulfuric và khảo sát khả năng hấp phụ Cr(VI). *Vietnam. J. Chem.* 2015. V. 53. N 4. P. 475-479. DOI: 10.15625/0866-7144.2015-00165.
23. **Le T.M.H., Nguyen V.T.** Characteristics of Surface-modified Aluminum Hydroxide Iron Oxide and Red Mud in Dissolution Process. *Malays. J. Chem.* 2015. V. 17. N 1. P. 33-44.
24. **Vu Xuan Minh, Dang Thi Nga, Bui Cong Trinh** Изучение закономерностей адсорбции фосфатов на поверхности красного шлама, активированного серной кислотой. Сб. трудов. Всеросс. науч. конф. "Актуальные проблемы адсорбции и катализа". Иваново. 2016. С. 180-184.
6. **Altundoğan H.S., Altundoğan S.** Arsenic adsorption from aqueous solutions by activated red mud. *Waste Management*. 2002. V. 22. N 3. P. 357-363. DOI: 10.1080/00986445.2011.631235.
7. **Genç-Fuhrman H., Tjell J.C., McConchie D.** Increasing the arsenate adsorption capacity of neutralized red mud (Bauxsol). *J. Colloid Interface Sci.* 2004. V. 271. N. 2. P. 313-320. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.10.011.
8. **Huynh Ky Phuong Ha, Tran Thi Ngoc Mai, Nguyen Le Truc.** A study activation process of red mud to use as an arsenic adsorbent. *J. ASEAN Eng.* 2011. V. 1. N 4. P. 66-72.
9. **Gupta V.K., Sharma S.** Removal of Cadmium and Zinc from aqueous solutions using red mud. *Environ. Sci. Technol.* 2002. V. 36. N 16. P. 3612-3617. DOI: 10.1021/es020010v.
10. **Sahu M.K., Mandal S.** Removal of Pb(II) from aqueous solution by acid activated red mud. *J. Environ. Chem. Eng.* 2013. V. 1. N 4. P. 1315-1324. DOI: 10.1016/j.jece.2013.09.027.
11. **Li Y., Liu C., Luan Z. and etc.** Phosphate removal from aqueous solutions using raw and activated red mud and fly ash. *J. Hazard. Mater.* 2006. V. 137. N 1. P. 374-383. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.02.011.
12. **Ratnamala G.M, Vidya Shetty K, Srinikethan G.** Optimization studies for removal of Remazol Brilliant Blue dye from aqueous solution using acid treated red mud. *J. Cur. Eng. Technol.* 2013. P. 161-167. DOI:10.1007/s11270-012-1349-4.
13. **Sollo Jr. F.W., Larson T.E., Mueller H.F.** Fluoride Removal from Potable Water Supplies. University of Illinois. 1978. P. 88-379.
14. **Biswas K., Saha S.K., Ghosh U.C.** Adsorption of fluoride from aqueous solution by a synthetic iron(III)–aluminum(III) mixed oxide. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2007. N 46. P. 5346-5356. DOI: 10.1021/ie061401b.
15. **Jamode A.V., Spakal V.S., Jamode V.S.** Defluoridation of water using inexpensive adsorbents. *J. Indian Inst.Sci.* 2004. P. 163-171.
16. **Das N., Pattanaik P., Das R.** Defluoridation of drinking water using activated titanium rich bauxite. *J. Colloid Interface Sci.* 2005. N. 292. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.jcis.2005.06.045.
17. **Agarwal M., Rai K., Shrivastav R., Dass S.** Defluoridation of water using amended clay. *J. Cleaner Produc.* 2003. N 11. P. 439-444. DOI: 10.1016/S0959-6526(02)00065-3.
18. **Abe I., Iwasaki S., Tokimoto T.** Adsorption of fluoride ions onto carbonaceous materials. *J. Colloid Interface Sci.* 2004. N 275. P. 35-39. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.12.031.
19. **Popat K.M., Anand P.S., Dasare B.D.** Selective removal of fluoride ions from water by the aluminium form of the aminomethylphosphonic acid-type ion exchanger. *React. Polym.* 1994. N 23. P. 23-32. DOI: 10.1016/0923-1137(94)90107-4.
20. **Sehn P.** Fluoride removal with extra low energy reverse osmosis membranes: three years of large scale field experience in Finland. *Desalination*. 2008. N 223. P. 73-84. DOI: 10.1016/j.desal.2007.02.077.
21. **Adhikary S.K., Tipnisand U.K.** Defluoridation during desalination of brackish water by electrodialysis. *Desalination*. 1989. N 71. P. 301-312. DOI: 10.1016/0011-9164(89)85031-3.
22. **Vu X.M., Nguyen T.M., Le T.M.H., Nguyen T.D.** Nghiên cứu hoạt hóa bùn đỏ bằng axit sulfuric và khảo sát khả năng hấp phụ Cr(VI). *Vietnam. J. Chem.* 2015. V. 53. N 4. P. 475-479. DOI: 10.15625/0866-7144.2015-00165.
23. **Le T.M.H., Nguyen V.T.** Characteristics of Surface-modified Aluminum Hydroxide Iron Oxide and Red Mud in Dissolution Process. *Malays. J. Chem.* 2015. V. 17. N 1. P. 33-44.
24. **Vu Xuan Minh, Dang Thi Nga, Bui Cong Trinh** Study on the adsorption of phosphate ion onto red mud activated with sulfuric acid. Proceedings of the conference "Actual problems of adsorption and catalysis". Ivanovo. 2016. P. 180-184 (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 18.06.2018
 Принята к опубликованию (Accepted) 29.10.2018