

УДК 66.021.2.081.3: 546.76

Г. В. Сакалова<sup>1, 2</sup>  
І. А. Трач<sup>2</sup>  
Г. Д. Петрук<sup>1</sup>  
Т. М. Василінич<sup>1</sup>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ХРОМУ(III) БЕНТОНІТОВИМИ ГЛИНАМИ

<sup>1</sup>Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського;

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

*Розглянуті питання розробки наукових основ очищення стічних вод різних промислових підприємств від іонів Хрому шляхом адсорбції бентонітовими глинами. Перспектива і ефективність застосування бентонітових глин для очищення стічних вод підтверджуються їх перевагами перед іншими сорбентами, а саме: вони доступні, мають низьку вартість, є можливість регенерації і багаторазового застосування.*

*Основними переваги використання бентонітів у водоочисних технологіях є їх значні геологічні запаси, дешеве видобування породи, проста підготовка до транспортування та використання, можливість використання відпрацьованих сорбентів у інших технологіях, завдяки чому відпадає потреба у вартісній регенерації.*

*Важкі метали утворюють групу найнебезпечніших забруднювачів навколишнього середовища. У надземні природні водойми (моря, озера, річки, водосховища) з промисловими стічними водами надходить значна кількість іонів важких металів, які стають істотною перешкодою в життєдіяльності мікробіонтів. Важкі метали потрапляють до стічних вод з підприємств кольорової металургії, електронної, радіотехнічної та шкіряно-хутрової промисловості, а також з усіх виробництв, де використовується гальваніка. У стічних водах може міститись лише один компонент, але дуже часто їх кількість більша.*

*Проведено експериментальні дослідження процесу сорбції іонів Хрому(III) з нерухомим шаром сорбенту бентонітовими глинами. Досліджено вплив різних факторів (тривалості процесу, шару адсорбенту) на ступінь очищення стічних вод від іонів нікелю, вплив швидкості прокачування на динамічну ємність сорбенту та визначено ефективний об'єм. Встановлено, що повної адсорбційної ємності у випадку з бентонітом можна досягти за 4—6 годин.*

*Дослідженнями доведено доцільність використання бентонітових глин для очищення стічних вод від іонів Хрому(III).*

**Ключові слова:** забруднення, стічні води, екологічна безпека, природні глинисті сорбенти, адсорбція, іони важких металів.

### Вступ

Господарська діяльність людства набула планетарного розмаху і виробничі процеси зрівнялись за інтенсивністю з природними. Сучасний стан в системі «людина—природа» вже давно оцінюється, щонайменше, як кризовий. Причиною глобальної екологічної кризи є традиційне спрямування економіко-технологічного розвитку. Така діяльність людини, здійснена в гонитві за економічним розвитком, спричинила зникнення багатьох видів рослин і тварин, і загрожує існуванню самої людини, якщо не буде контролюваною.

Теперішній темп зростання світового населення призведе до подальшого збільшення обсягів виробництва та інтенсивного використання водних ресурсів, що неминуче пов'язане з швидким

збільшенням забруднення стічних вод. Значна кількість хімічних речовин, які можуть бути присутні у воді, в основному є токсичними для всього живого, а також становлять небезпеку для життя і здоров'я людей, наприклад, радіонукліди або іони важких металів, такі як ртуть, свинець, нікель, хром та ін. У виробничому циклі в воду надходять різні забруднювальні речовини, серед яких переважають відходи виробництва, віднесені водою компоненти сировини і матеріалів. Цілком очевидно, що проблеми безпеки джерел водопостачання з точки зору якості води, а також недопущення їх забруднення шкідливими речовинами набувають першочергового значення у зв'язку з екологічними проблемами сучасності. Крім того, високий вміст хімічних речовин унеможлиблює використання води в деяких технологічних процесах [1], [2].

З вищесказаного випливає, що людство повинно переглянути власні життєві принципи й цінності та зрозуміти, що його здоров'я невіддільне від стану природного середовища. Тому, для попередження погіршення екологічної обстановки особливої актуальності набуває проблема дослідження адсорбційного вилучення іонів Хрому(III) бентонітовими глинами.

Одним з перспективних шляхів прояву екологізації є дослідження сорбційного розділення, як методу вилучення радіоактивних, токсичних і цінних домішок з водних розчинів. Особливі переваги йонообмінні методи мають у тих випадках, коли вихідна концентрація небажаних домішок відносно мала, а міра їх вилучення має бути високою.

Проаналізувавши останні публікації [3]—[7], можна стверджувати про доцільність застосування адсорбційних методів для очищення стічних вод від іонів важких металів з використанням природних адсорбентів. Значні геологічні запаси, дешеве видобування сировини, проста підготовка до транспортування та використання, а також можливість використання відпрацьованих сорбентів у інших технологіях є основними перевагами використання природних мінералів.

*Метою дослідження* є процеси очищення стічних вод від іонів Хрому(III) адсорбцією на природних сорбентах.

*Методи досліджень.* Очищення стічних вод від іонів Хрому(III) адсорбцією на сорбентах природного походження проводилося в адсорбційній колоні з нерухомим шаром адсорбенту. Для досліджень використано бентоніт (тип 2:1) з Черкаського родовища бентонітових та палигорськітових глин. Процес підготовки бентоніту складався з кількох етапів. Сировину подрібнювали і просушували в сушильній камері за температури 120 °С протягом 45хвилин. Після чого глину перетирали та розділяли на відповідні фракції. Очищення води проводилося на лабораторній адсорбційній колоні, яка має діаметр 35 мм та висоту 300 мм, з використанням бентонітової глини. Загальна маса підготовленого сорбенту в адсорбційній колоні склала 15...20 г. Об'єм сорбенту в колонці відповідно становив 21,6 мл та 29 мл. Пропускали розчини з вмістом іонів  $\text{Cr}^{3+}$  заданої концентрації через колону. Під час досліджень відбиралися проби фільтрату через кожні 10 мл, концентрацію іонів  $\text{Cr}^{3+}$  в розчині визначали титриметричним методом.

### Результати досліджень

З метою встановлення оптимального діапазону параметрів, за якими необхідно проводити детальне дослідження процесів адсорбції, виконана серія попередніх експериментів, що дало можливість зробити такі попередні висновки:

– зміна температури від +10 до +30 °С практично не впливає на ступінь адсорбції іонів  $\text{Cr}^{3+}$  бентонітом;

– швидкість прокачування модельного розчину через адсорбційну колону заданої висоти знаходиться в межах 0,3...0,5мл/хв, за більшої швидкості знижується кількість адсорбованого  $\text{Cr}^{3+}$ , а менша швидкість призводить до сильного загустіння пульпи, внаслідок чого ускладнюються процеси подальшої фільтрації;

– виходячи з практичних міркувань відповідно до можливого вмісту катіону  $\text{Cr}^{3+}$  в реальних стоках вибрано інтервал концентрацій (0,5...2,0 г/дм<sup>3</sup>) іонів Хрому(III);

– попередньо встановлено, що повне насичення бентонітової глини іонами  $\text{Cr}^{3+}$ , залежно від концентрації модельного розчину, з шаром адсорбенту 15...20 г, досягається за 1...3 доби,

Для визначення залежності ефективності сорбції від концентрації іонів Хрому(III), модельні розчини з початковою концентрацією поллютанту від 0,5 до 2 г/дм<sup>3</sup> пропускали через адсорбційну колону з шарами адсорбенту 15 г та 20 г за температури розчину 20 °С. Розчини аналізували через кожний об'єм колони, середній час проходження становив 0,30...0,35 мл/хв, контрольні точки визначали кожні 40 мл розчину.

Аналізуючи криві насичення бентоніту (рис. 1, 2) іонами Хрому(III), можна стверджувати, що витрата адсорбенту має суттєвий вплив на перебіг процесу насичення. За однакових концентрацій іонів Хрому(III) об'єми розчинів, а також час адсорбції до настання повного насичення адсорбенту є значно вищими.

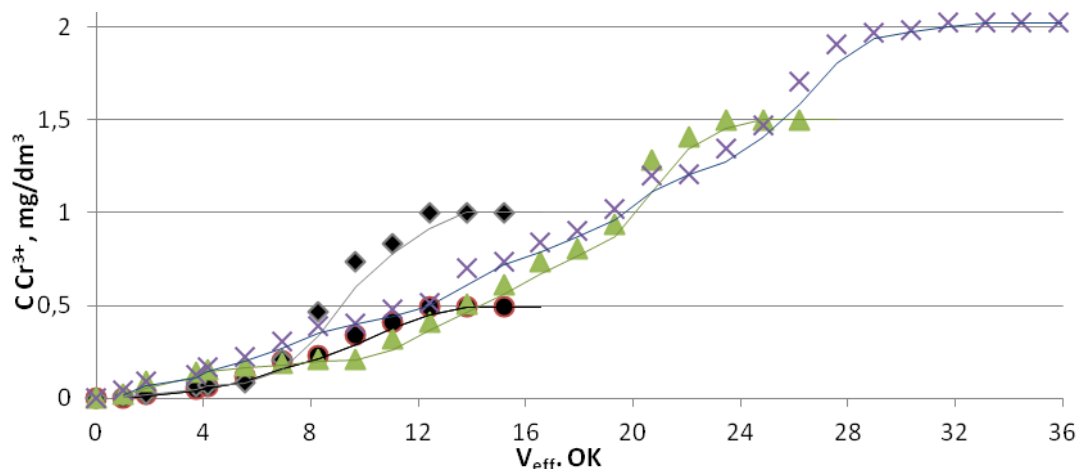


Рис. 1. Криві насичення бентоніту масою 15 г модельним розчином з вихідною концентрацією  $\text{Cr}^{3+}$ , г/дм<sup>3</sup>:

● — 0,5; ◆ — 1; ▲ — 1,5; × — 2,0

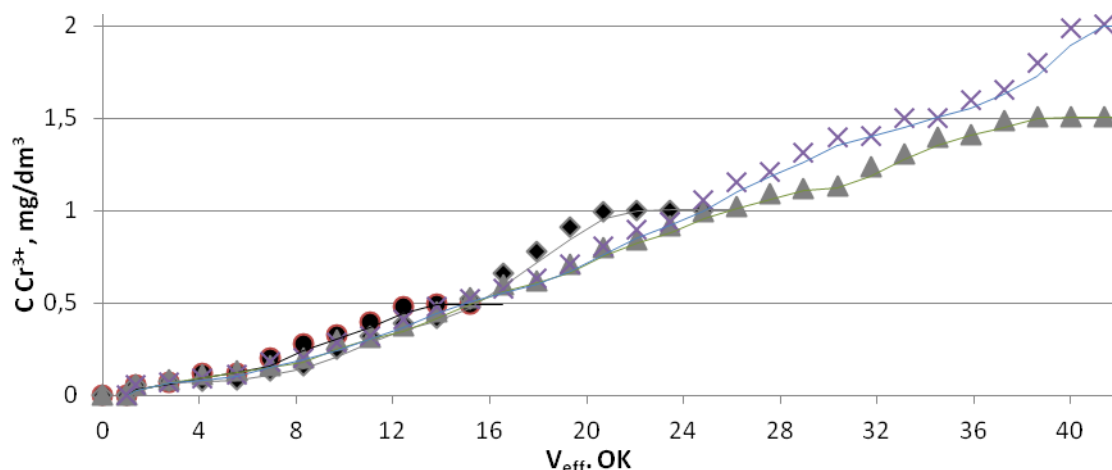


Рис. 2. Криві насичення бентоніту масою 15 г модельним розчином з вихідною концентрацією  $\text{Cr}^{3+}$ , г/дм<sup>3</sup>:

● — 0,5; ◆ — 1; ▲ — 1,5; × — 2,0

Найбільший ефективний об'єм в процесі прокачування модельного розчину через шар сорбенту в 15 г становить 30,34, а при пропусканні розчину через 20 г сорбенту — 41,40. Ці значення в обох випадках спостерігаються для модельних розчинів з найвищою концентрацією іону важкого металу, а це дозволяє зробити висновок, що застосування адсорбційного методу з нерухомим шаром сорбенту для видалення полутантів низьких концентрацій (менше 0,5 г/дм<sup>3</sup>) можливо і за менших витрат бентоніту. Також зі збільшенням початкової концентрації іонів хрому в межах значень експерименту збільшується час появи перших слідів розчиненої речовини на виході з колони, а час до «проскоку» у всіх випадках швидко настає за концентрації забруднювача на виході з колони 70 % від початкової. Виключеннями є залежності за концентрації іонів Хрому(III) 0,5г/л — в цьому випадку збільшення концентрації на виході з колони має лінійний характер.

Як свідчать результати експерименту (табл. 1, 2), максимальне поглинання іонів Хрому(III) становить 70,2...83,2 % з витратою сорбенту масою 20 г і 63,5...82,2 % у випадку маси 15 г. Ефективність адсорбції зростає зі збільшенням шару адсорбенту, що можна пояснити розвитком активної сорбційної поверхні.

Таблиця 1

**Показники ефективності сорбції в залежності від концентрації іонів Хрому(III) в розчині. Маса бентоніту 15 г**

№ з/п	Час завантаження (t), хв.	$C_0(\text{Cr}^{3+})$ г/дм <sup>3</sup>	Перші сліди ( $\text{Cr}^{3+}$ ) в очищеному розчині, ОК	Ефективний об'єм ( $V_{\text{eff}}$ ), ОК	Динамічна обмінна ємність (Т)	$\alpha$ , %	
						$\alpha_{\text{max}}$	$\bar{\alpha}$
1	1080	0,5	1,39	11,03	0,001	95,6	82,2
2	1230	1,0	1,39	12,41	0,002	97,5	81,0
3	2480	1,5	0,92	23,45	0,002	98,6	74,0
4	3205	2,0	0,92	31,72	0,003	98,9	63,5

Таблиця 2

**Показники ефективності сорбції в залежності від концентрації іонів Хрому(III) в розчині. Маса бентоніту 20 г**

№ з/п	Час завантаження (t), хв.	$C_0(\text{Cr}^{3+})$ г/дм <sup>3</sup>	Перші сліди ( $\text{Cr}^{3+}$ ) в очищеному розчині, ОК	Ефективний об'єм ( $V_{\text{eff}}$ ), ОК	Динамічна обмінна ємність (Т)	$\alpha$ , %	
						$\alpha_{\text{max}}$	$\bar{\alpha}$
1	1380	0,5	1,03	13,79	0,0008	95,9	83,2
2	2520	1,0	0,69	22,07	0,0010	97,8	80,2
3	3720	1,5	0,69	38,06	0,0015	98,7	78,3
4	4100	2,0	0,69	41,38	0,0020	98,9	70,2

Невеликі значення динамічної обмінної ємності зумовлені тим, що перші сліди поліюанту визначені вже за 1—2 ОК, а це значення набагато нижче, ніж у випадку прокачування модельних розчинів з іонами інших поліюантів [7], хоча при цьому ступінь очищення перших об'ємів високій — 95,6...99 % для розчинів з різними концентраціями  $\text{Cr}^{3+}$ . Перші сліди іонів хрому з'являються раніше за використання 20 г бентоніту, також значення динамічної обмінної ємності дещо нижчі з використанням більшої кількості адсорбенту. Проте, приріст у динамічній обмінній ємності є невеликий у порівнянні з різницею між об'ємними швидкостями прокачування. Так різниця між об'ємами прокачаних стоків до «проскоку» значно вища з використанням 20 г бентоніту, а у дослідженнях концентрацій більших за 0,5 г/дм<sup>3</sup> ця різниця становить 10 ОК і вище. Отже, дослідження адсорбційного вилучення іонів Хрому(III) бентонітовими глинами підтверджує спроможність сучасної людини орієнтуватись на екологічно доцільну поведінку та демонструє активне ставлення до вироблення нових екологічних норм.

### Висновки

Визначено ступінь очищення стічної води в процесі адсорбції з нерухомим шаром сорбенту за різних концентрацій іонів Хрому(III) та кількостях дозованого сорбенту. Встановлено що витрати бентоніту становлять 20...22 г/дм<sup>3</sup> забрудненої води для очищення розчину що містить іони  $\text{Cr}^{3+}$  концентрацією 1...2 г/дм<sup>3</sup>.

Доведено, що ефективність адсорбції зростає зі збільшенням шару адсорбенту. Так, максимальне поглинання іонів Хрому(III) відбувається з шаром сорбенту 20 г і низьких концентраціях забруднювача та становить 83,2 %.

Ефективність застосування природних мінеральних сорбентів, зокрема, бентонітових глин, для очищення стічних вод підтверджується їх перевагами перед іншими сорбентами, а саме: вони виграють у доступності, собівартості, в можливості регенерації та багаторазового використання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. М. Когановский, *Очистка и использования сточных вод в промышленном водоснабжении*. Москва: Химия, 1983, 297 с.
- [2] В. А. Проскуряков, и Л. И. Шмидт, *Очистка сточных вод химической промышленности*. Ленинград: Химия, 1997, 464 с.
- [3] R. Petrus, M. Malovanyj, J. Varchol, Z. Odnorig, I. Petrushka, and G. Leskiv, "Texnologiyi ochyshhennya stokiv iz zastosuvannam pryrodnykh dyspersnykh sorbentiv," *Ximichna promyslovist' Ukrainy*, № 2 (55). pp. 20-22, 2003.

- [4] G. V. Sakalova, T. M. Vasylynych, N. O. Koval, and V. A. Kashchei, "Investigation of the method of chemical desorption forextraction of nickel ions (II) from bentonite clays," *Environmental problems*, vol. 2, no. 4, pp. 187-190, 2017.
- [5] Myroslav Malovanyy, Halyna Sakalova, Tamara Vasylynych, Olha Palamarchuk, and Jaroslav Semchuk, "Treatment of Effluents from Ions of Heavy Metals as Display of Environmentally Responsible Activity of Modern Businessman," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, no. 4, April, pp. 167-176, 2019.
- [6] O. M. Palamarchuk, "Ekolohichna vidpovidalnist yak osnova funktsionuvannia suchasnoho suspilstva," *Aktualni problemy psykholohii : zb. nauk. pr. In-tu psykholohii im. H. S. Kostiuka NAPN Ukrainy*. Zhytomyr: Vyd-vo ZhDU im. I. Franka, t. 7 : *Ekolohichna psykholohiia*, № 26, pp. 401-411, 2011.
- [7] A. Malovanyy, E. Płaza, Y. Yatchyshyn, J. Trela, and M. Malovanyy, "Removal of nitrogen from the mainstream of municipal wastewater treatment plant with combination of ion exchange and canon process (IE-canon)–effect of NaCl concentration," *Future urban sanitation to meet new requirements for water quality in the Baltic Sea region, Joint Polish-Swedish Reports*, vol. 2, pp. 17-19, 2011.

Рекомендована кафедрою хімії та хімічної технології ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 13.04.2020

**Сакалова Галина Володимирівна** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри хімії та методики навчання хімії; професор кафедри екології та екологічної безпеки ВНТУ;

**Петрук Галина Дмитрівна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри хімії та методики навчання хімії;

**Василінич Тамара Миколіївна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри хімії та методики навчання хімії.

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Вінниця;

**Трач Ірина Анатоліївна** — канд. техн. наук, доцент кафедри екології та екологічної безпеки, e-mail: trachiryna2103@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**H. V. Sakalova**<sup>1, 2</sup>  
**I. A. Trach**<sup>2</sup>  
**H. D. Petruk**<sup>1</sup>  
**T. M. Vasylynych**<sup>1</sup>

## Research on the Efficiency of Waste Water Purification from Chromium(III) Ions by Bentonite Clays

<sup>1</sup>Vinnitsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsiubynsky;

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

*The work is devoted to the development of scientific bases of wastewater treatment of various industrial enterprises from chromium ions by adsorption by bentonite clays. The prospect and effectiveness of bentonite clays for wastewater treatment is confirmed by their advantages over other sorbents, namely: they are affordable, not high cost, the possibility of regeneration and multiple application.*

*The main advantages of using bentonites in water treatment technologies are their powerful geological resources, cheap rock extraction, easy preparation for transportation and use, the ability to use waste sorbents in other technologies, which eliminates the need for expensive regeneration costs.*

*Heavy metals form a group of the most dangerous pollutants in the environment. In surface natural reservoirs (seas, lakes, rivers, reservoirs) with industrial wastewater, a considerable amount of heavy metal ions enters, which become a significant obstacle in the life of microbiota. Heavy metals are supplied to wastewater from non-ferrous metallurgy, electronic radio and leather and fur industries, as well as from all industries where electroplating is used. Sewage may contain one component, but very often their number is higher.*

*The work is devoted to experimental studies of the process of sorption of Chromium ions (III) with a fixed sorbent layer by bentonite clays. The influence of various factors (process duration, adsorbent layer) on the degree of purification of waste water from nickel ions, the effect of pumping speed on the dynamic capacity of the sorbent was investigated and the effective volume was determined. We observe that the total adsorption capacity in the case of bentonite can be achieved in 4...6 hours.*

*Research has proven the feasibility of using bentonite clays for the treatment of wastewater from Chromium(III) ions.*

**Keywords:** pollution, wastewater, ecological safety, natural clay sorbents, adsorption, heavy metal ions.

**Sakalova Halyna V.** — Dr. Sc. (Chem.), Professor, Professor of the Chair of Chemistry and Methods of Teaching Chemistry, Professor of the Chair of Ecology and Environmental Safety;

**Trach Iryna A.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Ecology and Environmental Safety, e-mail: trachiryna2103@gmail.com ;

**Petruk Halyna D.** — Cand. Sc. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Chemistry and Methods of Teaching Chemistry;

**Vasylynych Tamara M.** — Cand. Sc. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Chemistry and Methods of Teaching Chemistry

**Г. В. Сакалова<sup>1,2</sup>**  
**И. А. Трач<sup>2</sup>**  
**Г. Д. Петрук<sup>1</sup>**  
**Т. Н. Васылиныч<sup>1</sup>**

## **Исследование эффективности очистки сточных вод от ионов Хрома(III) бентонитовой глиной**

<sup>1</sup>Винницкий государственный педагогический университет имени Михаила Коцюбинского;

<sup>2</sup>Винницкий национальный технический университет

*Рассмотрены вопросы разработки научных основ очистки сточных вод различных промышленных предприятий от ионов Хрома путем адсорбции бентонитовой глины. Перспектива и эффективность применения бентонитовых глин для очистки сточных вод подтверждаются их преимуществами перед другими сорбентами, а именно: они доступны, низкая стоимость, возможность регенерации и многократного использования.*

*Основными преимуществами использования бентонитов в водоочистных технологиях являются их мощные геологические запасы, дешевизна добычи породы, простая подготовка к транспортировке и использованию, возможность использования отработанных сорбентов в других технологиях, благодаря чему отпадает необходимость в дорогостоящей регенерации.*

*Тяжелые металлы образуют группу наиболее опасных загрязнителей окружающей среды. В поверхностные природные водоемы (моря, озера, реки, водохранилища) с промышленными сточными водами поступает значительное количество ионов тяжелых металлов, которые становятся существенным препятствием в жизнедеятельности микробионтов. Тяжелые металлы попадают в сточные воды с предприятий цветной металлургии, электронной радиотехнической и кожевенно-меховой промышленности, а также из всех производств, где используется гальваника. В сточных водах может содержаться один компонент, но очень часто их количество больше.*

*Проведены экспериментальные исследования процесса сорбции ионов Хрома(III) с неподвижным слоем сорбента бентонитовой глины. Исследовано влияние различных факторов (продолжительности процесса, слоя адсорбента) на степень очистки сточных вод от ионов Хрома, влияние скорости прокачки на динамическую емкость сорбента и определен эффективный объем. Определено, что полной адсорбционной емкости в случае с бентонитом возможно достичь за 4...6 час.*

*Исследованиями доказана целесообразность использования бентонитовых глин для очистки сточных вод от ионов Хрома(III).*

**Ключевые слова:** загрязнение, сточные воды, экологическая безопасность, природные глинистые сорбенты, адсорбция, ионы тяжелых металлов.

**Сакалова Галина Владимировна** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры химии и методики изучения химии, профессор кафедры экологии и экологической безопасности;

**Трач Ирина Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры экологии и экологической безопасности, e-mail: trachiryna2103@gmail.com ;

**Петрук Галина Дмитриевна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химии и методики изучения химии;

**Васылиныч Тамара Николаевна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химии и методики изучения химии