

Сініцина А.О., аспірантка, Карножицький П.П., аспірант

## БУРЕ ВУГІЛЛЯ – СИРОВИНА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ СОРБЕНТІВ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
м. Харків*

**Ключові слова:** буре вугілля, гумінові речовини, гумінові кислоти, ультрафільтрація, іони важких металів.

Скорочення викидів  $\text{CO}_2$  під час спалювання вуглеводневої сировини - нагальна проблема, що стоїть перед людством. Вимоги щодо викидів парникових газів регламентуються згідно Директиви Європейського Союзу 2019/944 [1].

Традиційно, протягом тривалого часу в Україні, буре вугілля використовувалось, як енергетичне паливо при отриманні електроенергії на ТЕЦ та, як місцеве паливо у вигляді вугільних брикетів.

В Україні досить великі запаси бурого вугілля. Його поклади зосереджені в Дніпровському буровугільному басейні, що знаходиться на правобережній частині України та займає центральне положення в структурі південно-західної частини Східно-Європейської платформи. Дніпровський буровугільний басейн має загальну площу близько 100 тис. км<sup>2</sup> та об'єднує буровугільні родовища Кіровоградської, Черкаської, Харківської, Дніпропетровської та інших областей. Глибина залягання вугільних пластів від 10 до 160 м, частіше 40–80 м, що дозволяє значну частину його запасів розробляти відкритим способом, а це в свою чергу робить виробництво значно дешевшим та безпечнішим. Буре вугілля переважно землисте, суббітумінозне для якого характерним є наявність вільних гумінових кислот та підвищений вміст фенольних, карбоксильних і гідроксильних груп. Ще буре вугілля характеризується низьким вмістом вуглецю та великим вмістом вологи [2].

Незважаючи на значні запаси бурого вугілля в Україні та сприятливі умови залягання, що дозволяють здійснювати видобуток найбільш економічним відкритим способом, а також унікальність фізико-хімічних і технологічних властивостей ставлять його на провідне місце як паливо і технологічну сировину. Буре вугілля є одним з основних природних ресурсів України, його балансові запаси марок А+В+С<sub>1</sub> складають 2593359,00 тис тонн, категорії С<sub>2</sub> – 299181,00 тис тонн. [3,4]. На теперішній час видобуток складає 9 тис. тонн із 80 родовищ для видобутку бурого вугілля лише 3 діючих [3]. При цьому, дефіцит інвестицій, застаріле обладнання та складні соціально-економічні умови стали причиною зниження виробництва бурого вугілля в країні в останні роки. Основна частина бурого вугілля, що видобувається, використовується як паливо, тільки незначна частина його знаходить технологічне застосування як сировина для одержання гірського воску, коксу і напівкоксу, а також гумінових речовин [4].

Для відновлення розроблення наявних розрізів необхідні пошуки нових шляхів здебільшого не паливного використання української сировини, які могли б збільшити

потребу вугілля в народному господарстві, а також сприяти скороченню викидів парникових газів, що утворюються під час спалювання газу.

Аналіз літератури з цього питання показує, що у світі триває інтенсивна робота з пошуку нових шляхів нетрадиційного використання цієї сировини [5,6].

Найціннішим компонентом бурого вугілля при його хімічній переробці є гумінові кислоти, що являють собою природні полімерні сполуки, які складаються з двох частин – каркасної (ароматичний вуглецевий скелет, пов'язаний з функціональними групами в основному карбоксильними, гідроксильними та метоксильними) і невпорядкованої периферії, що містить полісахаридно-поліпептидні та інші та інші фрагменти [7,8].

Найбільш поширеною є модель фрагмента гіпотетичної молекули гумінових кислот, яка відображає складність і різноманітність складових структур.

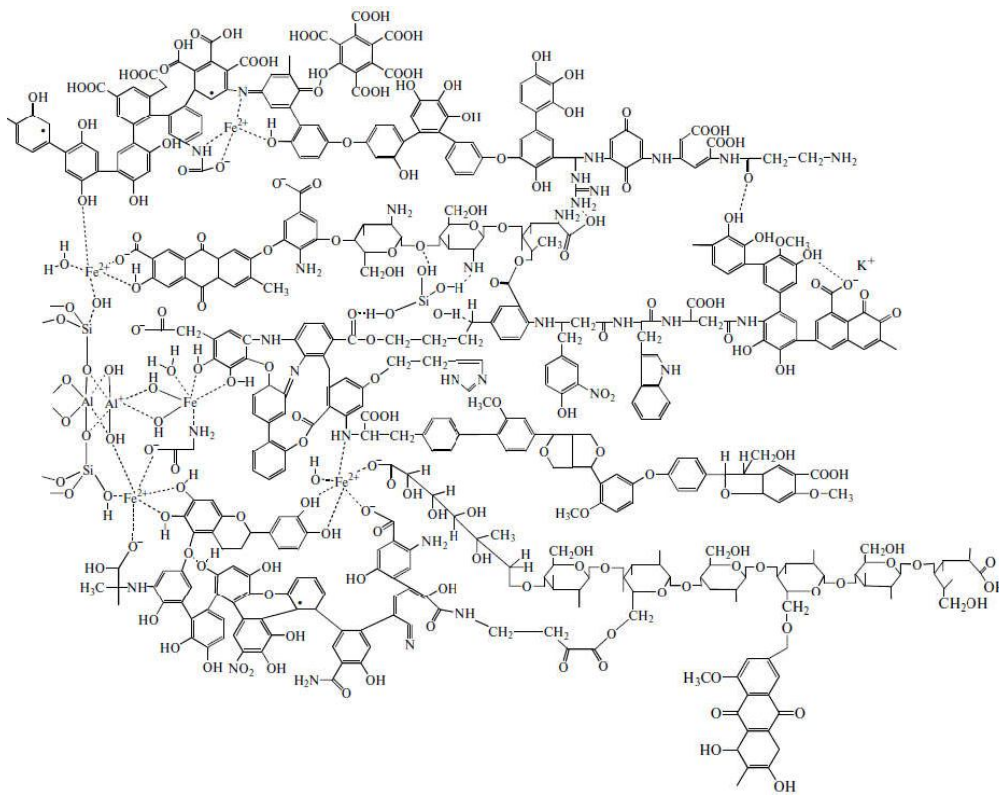


Рисунок 1 – Гіпотетичний фрагмент структури молекули гумінових кислот по Кляйнхемпелю [9]

Така будова зумовлює можливість використання бурого вугілля як сировини для одержання активних природних водорозчинних сорбентів, які володіють високою питомою поверхнею. Молекулярна маса гумінових кислот коливаються від 1500 та досягає 50000 у.о. [10]. Це залежить від походження та конкретної проби гумінових кислот. Завдяки таким великим розмірам молекул, а також великої кількості активних кисневмісних груп, таких як карбоксильні, спиртові та гідроксильні групи, сорбційні властивості гуматів повинні бути дуже виражені. В першу чергу, фенольні та карбоксильні групи при ароматичних структурах визначають високу сорбційну активність, особливо щодо іонів важких металів [10–12].

Утворення гуматів з водорозчинних гумінових кислот здійснюється за простою технологією при обробці бурого вугілля лужним розчином. при цьому утворюються водорозчинні сорбенти високої ємності.

В Україні переважна більшість поверхневих водних об'єктів досягає критичного рівня забруднення, в тому числі важкими металами, що спричинене незадовільною якістю очищених стічних вод. Проблема очищення промислових стоків з кожним роком набуває все більшого значення

Одним із найбільш токсичних важких металів, що потрапляють у природні водні джерела, є свинець. Його допустимий вміст в стічних водах для України становить до  $0,1 \text{ г/м}^3$ , свинець віднесений до 2-гої групи токсичності [13]. На території України у поверхневих водах свинець поширений практично скрізь. Перевищення ГДК найчастіше може зустрічатися, як у великих містах, так і в селищах. Основними джерелами надходження свинцю у навколишнє середовище та стічні води, є кольорова (98 %) і чорна металургія (2%) - це процеси отримання самого металу, сплавів, а також обробки сировини; машинобудування, паливна промисловість та енергетика; хімічна промисловість; побутові відходи.

Ще один з токсичних металів є кадмій, його допустимий вміст в стічних водах до  $0,1 \text{ г/м}^3$  [13]. Сполуки кадмію токсичні та відносяться до речовин другого класу токсичності. Найсерйознішими забруднювачами вод кадмієм є підприємства гірничо-металургійного комплексу України. На територіях, наближених до виробництв, забруднені як всі поверхневі, так і підземні води, тому найбезпечнішим джерелом залишається вода з водопроводу, по можливості доочищена.

Для концентрування та глибокого доочищення стічних вод можуть використовуватись баромембранні процеси, рушійною силою яких є різниця тисків по обидва боки мембрани. За розмірами частинок об'єктів розділення і за структурою мембран, які для цього використовуються, розрізняють мікрофільтрацію, ультрафільтрацію, нанофільтрацію та зворотній осмос. Найбільш поширений метод очищення є ультрафільтрація, який є одним з надійних та ефективних методів відокремлення колоїдів, мікроорганізмів та макромолекул від розчинника або розчину низькомолекулярних речовин. Враховуючи невеликі осмотичні тиски високомолекулярних сполук та низький гідравлічний опір мембран для здійснення даного процесу необхідне прикладання надлишкового тиску в середньому від 2 до 5 атм [14–16].

Для більш ефективного очищення використовують метод комплексотворення-ультрафільтрація (КУУФ). Це гібридний підхід, який полягає в поєднанні ультрафільтрації з попередньою взаємодією та зв'язуванням металу у комплекс. Використовують, як синтетичні речовини, так і екологічні чисті, дешеві природні речовини, які мають детоксилогічну дію. Основою методу КУУФ – являється комплексотворення та іонообмін. Його перевага у високій селективності поділу, яка обумовлена хімічними властивостями хімічного реагента [17].

Ефективність розділення визначають розраховуючи потік крізь УФ мембрану прямо пропорційний до прикладеного тиску:

$$J = k\Delta p, \quad (1)$$

де  $J$  – мембранний потік;  $k$ - константа проникності;  $\Delta p$  – різниця тисків.

Константа проникності включає в себе всі види структурних факторів і становить для УФ мембран близько  $10 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ год} \cdot \text{бар}$  для більш відкритих мембран і порядку  $0,1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ год} \cdot \text{бар}$  для більш щільних мембран [14–16].

В якості комплексоутворювачів використовують синтетичні речовини (полімери різної хімічної природи: полідіалілдиметиламоній хлорид, поліетиламінін, декстран). До їх недоліків слід віднести негативний вплив на навколишнє середовище в результаті попадання у фільтрат водорозчинних молекул синтетичного комплексоутворювача та високу вартість.

Мета статті полягає у перевірці можливості використання водорозчинних сорбентів (гуматів натрію), одержаних з української сировини для глибокого доочищення стічних вод від іонів важких металів до норм ГДК методом комплексоутворення-ультрафільтрація.

Досліджували зразки бурого вугілля України Олександрійського родовища. Технічний аналіз, елементний склад та вихід на гумінових в перерахунку на суху органічну масу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники якості бурого вугілля

Технічний аналіз, %			Елементний аналіз, %					$(\text{HA})^{\text{daf}}_{\text{f}}$ , %
$\text{W}^{\text{a}}$	$\text{A}^{\text{d}}$	$\text{V}^{\text{d}}$	$\text{C}^{\text{daf}}$	$\text{H}^{\text{daf}}$	$\text{N}^{\text{daf}}$	$\text{S}^{\text{d}}_{\text{t}}$	$\text{O}^{\text{daf}}_{\text{d}}$	
16,8	48,7	29,1	61,1	5,56	0,51	3,64	29,2	79,4

Готували модельні розчини металів ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ) концентрацією 5 мг/л у дистильованій воді та у річній, додавали у них комплексоутворювач – гумати (натрієві солі гумінових кислот) з різною концентрацією від 0,0 до 30 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст металів у річній воді складає:  $\text{Cd}^{2+}$  – 0,0006 мг/л;  $\text{Co}^{2+}$  – <0,001 мг/л;  $\text{Cu}^{2+}$  – 0,0065 мг/л;  $\text{Fe}^{3+}$  – 0,0050 мг/л;  $\text{Hg}^{2+}$  – 0,0680 мг/л;  $\text{Mn}^{2+}$  – 0,5142 мг/л;  $\text{Ni}^{2+}$  – 0,0029 мг/л;  $\text{Pb}^{2+}$  – 0,0160 мг/л;  $\text{Zn}^{2+}$  – <0,001 мг/л.

В якості ультрафільтраційних мембран використовували мембрани UF-10-PA, які являють собою пористі полімерні плівки на основі поліаміду з розміром пор 10 нм, площа робочої поверхні мембрани –  $28,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Полімерні мембрани характеризуються підвищеною термо- та агресивостійкістю, нетоксичні, безпечні у роботі та можуть експлуатуватися при рН від 2 до 12 та максимальній температурі води – 100 °С. Мінімальна продуктивність дистильованої води –  $60 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \text{ год}$ .

Дослідження виконували в експериментальній установці (рис. 2), яка являє собою непроточну комірку об'ємом 0,2 дм<sup>3</sup> при температурі навколишнього середовища 25 °С. Розчин для розділення заливали через штуцер всередину прозорого циліндричного корпусу комірки, виконаного з полікарбонату. Для зниження впливу концентраційної поляризації комірка була забезпечена електромагнітною мішалкою. Необхідний тиск (0,2 МПа) над мембраною створювали перепуском певної порції стиснутого повітря з компресора вентилем спеціальними трубками через штуцер. У процесі поділу фільтрат, що пройшов мембрану та дренаж через отвір на нижньому фланці збирали у пробовідбірник та аналізували.

Ступіть розділення (селективність, R) мембрани по відповідному металу розраховували за формулою:

$$R = \frac{C_0 - C_\phi}{C_0} \cdot 100, \quad (2)$$

де  $R$  – коефіцієнт вилучення металів (селективність), %;  $C_0$  та  $C_\phi$  – концентрація металів у початковому розчині та у фільтраті, відповідно, мг/л.

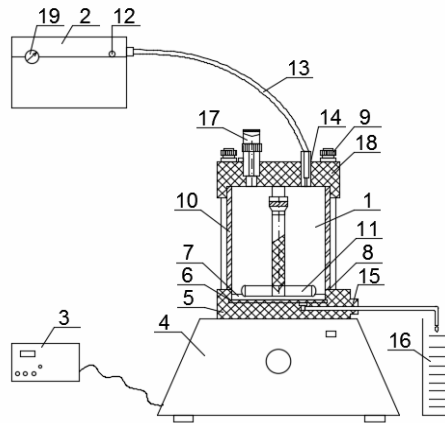


Рисунок 2 – Схема установки для фільтрації: 1 – мембранна комірка; 2 – компресор; 3 – строботахометр; 4 – магнітна мішалка; 5 – нижня основа комірки; 6 – пористий фторопласт; 7 – мембрана; 8 – силіконова гума; 9 – болти; 10 – корпус комірки; 11 – пропелер; 12 – вентиль; 13 – трубка; 14 – штуцер; 15 – отвір; 16 – пробочний збірник; 17 – захисний клапан; 18 – верхній фланець; 19 – манометр

Концентрацію металів у водних розчинах визначали на оптико-емісійному спектрометрі PlasmaQuant PQ 9000 Elite (Німеччина) високої роздільної здатності з індуктивно-зв'язаною плазмою.

Результати очищення водних розчинів від іонів металів в залежності від концентрації гумінових речовин, наведені у табл. 2 та на рис. 3,4

Аналізуючи наведені на рис. 3 графічні залежності можна зробити висновок, що з підвищенням концентрації гумінових речовин з 2,5 до 30 мг/л підвищується селективність вилучення металів.

Таблиця 2 – Концентрація іонів важких металів (мг/л) в залежності від концентрації гумінових речовин (мг/л)

Іон	Концентрація гумінових речовин, мг/л				
	2,5	5,0	10,0	20,0	30,0
Pb <sup>2+</sup>	3,449	1,071	0,541	0,257	0,123
Cd <sup>2+</sup>	3,868	2,211	1,123	0,512	0,197
В річній воді					
Pb <sup>2+</sup>	3,857	1,102	0,587	0,299	0,151
Cd <sup>2+</sup>	4,586	1,793	1,194	0,664	0,231

Необхідно зазначити, що виходячи з графічних залежностей, наведених на рис. 3 та рис. 4, ступінь вилучення іонів важких металів в залежності від концентрації гумінових речовин змінюється нелінійно. Найбільш оптимальною концентрацією гумінових речовин з точки зору вилучення іонів металів є 5 мг/л, подальше збільшення концентрації до 30 мг/л практично не призводить до значного росту вилучення іонів металів.

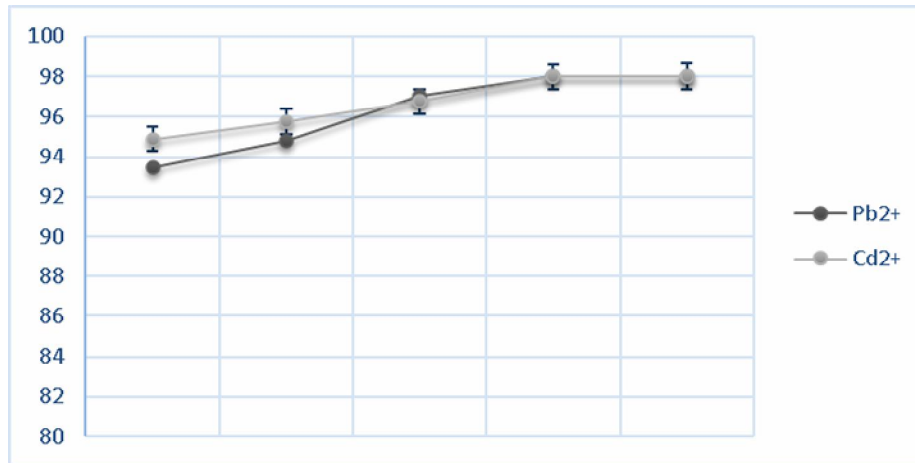


Рисунок 3 – Селективність вилучення металів в залежності від концентрації гумінових кислот у дистильованій воді

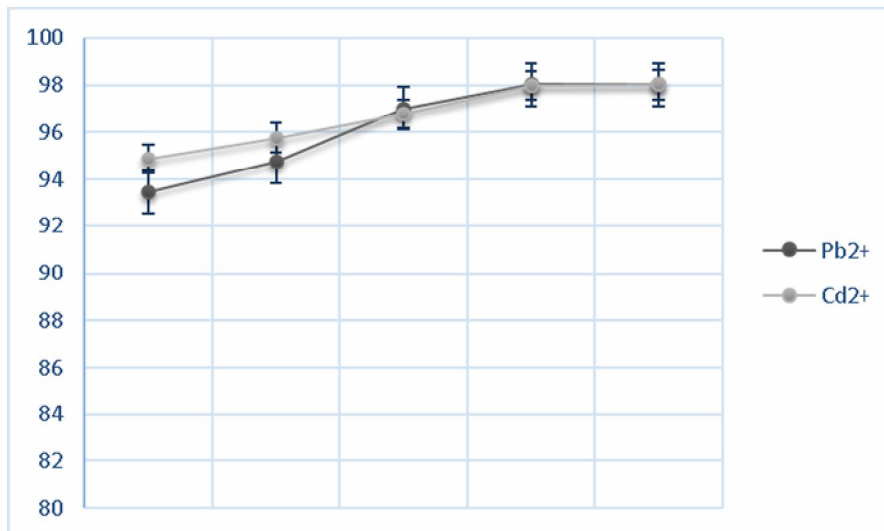


Рисунок 4 – Селективність вилучення металів в залежності від концентрації гумінових кислот у річній воді

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Буре вугілля Олександрійського родовища є цінною сировиною для одержання гумінових кислот та їхніх похідних.
2. Гумати натрію, одержані з бурого вугілля, є ефективними водорозчинними сорбентами, що зв'язують у воді іони важких металів, таких як свинець та кадмій.
3. При використанні ультрафільтраційних мембран можна забезпечити істотне зниження залишкової концентрації іонів свинцю і кадмію в стічній воді до норм, що дозволяють використовувати її багаторазово в технологічному циклі. Селективність

процесу очищення досягається при цьому як для дистильованої води, так і для річкової води

4. Деяке зниження ефективності очищення при роботі з річковою водою пов'язане з наявністю іонів інших металів і може бути компенсоване збільшенням витрат гуматів.

#### Літератури

1. Директива європейського парламенту і ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін до директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/944/oj>.

2. Саранчук В.І., Ільяшов М.О., Ошовський В.В, Білецький В.С. Основи хімії і фізики горючих копалин – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – С. 640.

3. Мінеральні ресурси України – Київ, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2020. 270с. Mineralni resursy Ukrainy: <https://minerals-ua.info/>.

4. Собко Б.Е. Потенциальная роль бурого угля в энергетическом балансе страны / Б.Е. Собко, А.А. Шустов., А.П. Белов // Национальный горный университет, Интехпроект. – Днепр. – 2018. – С. 42.

5. Babets, Ye.K., Bielov, O.P., Shustov, O.O., Barna, T.V., Adamchuk, A.A. (2019). The development of technological solutions on mining and processing brown coal to improve its quality. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho hirnychoho Universytetu*, 6, 36–44. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/005>.

6. Wilson M.A., 1987. *NMR Techniques and Application in Geochemistry and Soil Chemistry*. Pergamon, Oxford.

7. Smernik R.J., Olk D.C., Mahieu N. Quantitative solid-state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy of organic matter fractions in lowland rice soils // *European journal of Soil Science*. 2004. № 55. P. 367–379.

8. Kleinhempel D. Ein Beitrag zur Theorie des Huminstoffzustandes // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 1970. V. 14. № 1. P. 3–14.

9. Tipping E Cation binding by humic substances / *Cambridge environmental chemistry series*. – No. 11. – UK: Cambridge University Press. – 2004. – 434 p.

10. Schnitzer M., Khan S.U. Humus Substances: Chemistry and Reactions // *Soil Organic Matter Development of Soil Science*. 1978. № 8. P. 1–64.

11. Kluc akova M (2018) Size and Charge Evaluation of Standard Humic and Fulvic Acids as Crucial Factors to Determine Their Environmental Behavior and Impact. *Front. Chem.* 6235. doi:10.3389/fchem.2018.00235.

12. Tipping E Cation binding by humic substances / *Cambridge environmental chemistry series*. – No. 11. – UK: Cambridge University Press. – 2004. – 434 p.

13. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрощування та удобрювання.

14. Брик М.Т. Енциклопедія мембран. Т.1-2. / М.Т. Брик. – К.: Вид. дім «Києво-Могилянська академія», 2005.

15. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер. –М.: Мир, 1999. – 513 с.

16. Baker R.W. Membrane technology and applications / R.W. Baker; [2nd edition]. – Chichester: Wiley, 2004. – 544 p.

17. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев Наукова думка, 1983. 240 с.

Bibliography (transliterated)

1. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU.

2. Saranchuk V.I., Pliashov M.O., Oshovskyi V.V, Biletskyi V.S. Osnovy khimii i fizyky horiuchykh kopalyn [Fundamentals of chemistry and physics of fossil fuels]. – Donetsk: Skhidnyi vydavnychi dim, 2008. – 640 p.

3. Derzhavne naukovo-vyrobnyche pidpryyemstvo «Derzhavnyy informatsiynny heolohichnyy fond Ukrayiny» [State Scientific and Production Enterprise "State Geological Information Fund of Ukraine"] Mineral'ni resursy Ukrayiny [Mineral resources of Ukraine], – Kyiv, 2020. 270 p. Available at: <https://minerals-ua.info> (accessed 17.04.2023).

4. Sobko B.E., Shustov B.E., Belov A.P. Potentsialnaya rol burogo uglya v energeticheskom balanse strani [The Potential Role of Brown Coal in the Energy Balance of the Country] Natsionalnii gornii universitet, Intekhproekt [National Mining University, Intech-project]. Dnepr. 2018. 42 p.

5. Babets, Ye.K., Bielov, O.P., Shustov, O.O., Barna, T.V., Adamchuk, A.A. (2019). The development of technological solutions on mining and processing brown coal to improve its quality. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho hirnychoho Universytetu*, 6, 36–44. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/005>.

6. Wilson M.A., 1987. NMR Techniques and Application in Geochemistry and Soil Chemistry. Pergamon, Oxford.

7. Smernik R.J., Olk D.C., Mahieu N. Quantitative solid-state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy of organic matter fractions in lowland rice soils // *European journal of Soil Science*. 2004. № 55. P. 367–379.

8. Kleinhempel D. Ein Beitrag zur Theorie des Huminstoffzustandes // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 1970. V. 14. № 1. P. 3–14.

9. Tipping E Cation binding by humic substances / *Cambridge environmental chemistry series*. – No. 11. – UK: Cambridge University Press. – 2004. – 434 p.

10. Schnitzer M., Khan S.U. Humus Substances: Chemistry and Reactions // *Soil Organic Matter Development of Soil Science*. 1978. № 8. P. 1–64.

11. Kluc akova M (2018) Size and Charge Evaluation of Standard Humic and Fulvic Acids as Crucial Factors to Determine Their Environmental Behavior and Impact. *Front. Chem.* 6235. doi:10.3389/fchem.2018.00235.

12. Tipping E Cation binding by humic substances / *Cambridge environmental chemistry series*. – No. 11. – UK: Cambridge University Press. – 2004. – 434 p.

13. DSTU 7369:2013. Stichni vodi. Vimogi do stichnikh vod i ikhnikh osadiv dlya zroshuvannya ta udobryuvannya.

14. Bryk M.T. Entsyklopediia membran. [Encyclopaedia of membranes]. T.1–2. / M. T. Bryk. – K.: Vyd. dim «Kyievo-Mohylianska akademiia», 2005.



15. Mulder M. Vvedenye v membrannuiu tekhnolohiyu [Introduction to membrane technology]. / M. Mulder. –М.: Myr, 1999. – 513 p.
16. Baker R. Membrane technology and application, McGraw-Hill, New York, 2000. 514 p.
17. Koganovskii A.M. Adsorbtsiya i ionnii obmen v protsessakh vodopodgotovki i ochistki stochnikh vod [Adsorption and ion exchange in water and wastewater treatment processes]. Kiev Naukova dumka, 1983. 240 p.

УДК 622.33:66.081.63:553.9

Сінціна А.О., аспірантка, Карножицький П.П., аспірант

### БУРЕ ВУГІЛЛЯ – СИРОВИНА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ СОРБЕНТІВ

Досить значні запаси бурого вугілля зосереджені в Дніпровському буровугільному басейні України. Вигідним є його видобування відкритим способом, адже залягання пластів є незначним. Українське буре вугілля переважно землисте, суббітумінозне, що в свою чергу характеризується підвищеним вмістом вільних гумінових кислот. Незважаючи на значні запаси бурого вугілля в Україні та сприятливі умови залягання, його видобуток є незначним. Основна частина бурого вугілля, використовується як паливо, а незначна частина його як сировина. Нами було досліджено буре вугілля Олександрійського родовища України, яке містить велику кількість (близько 80 %) гумінової кислоти, яка являється основою для отримання ефективних водорозчинних сорбентів. У статті досліджені та визначено ефективність використання бурого вугілля Олександрійського родовища для отримання гумінових речовин, їх елементний склад та вихід гумінових кислот з них. Визначено ефективність використання гумінових речовин отриманих з бурого вугілля Олександрійського родовища при зв'язуванні іонів важких металів ( $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ) із застосуванням методу комплексоутворення – ультрафільтрація. Визначено продуктивність ультрафільтраційних мембран з розчином гуматів. Розраховано коефіцієнт затримки іонів металів, який залежить від концентрації гумінових речовин. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що застосування методу ультрафільтрація-комплексоутворення з використанням комплексоутворювачів на основі гумінових речовин бурого вугілля Олександрійського родовища, дозволяє значно підвищити ступінь очищення водних розчинів від іонів важких металів. Дані дослідження є актуальними та розширюють можливості застосування бурого вугілля. Показано, що на основі українського бурого вугілля можна отримувати екологічний та дешевий комплексоутворювач. Важливим пріоритетом використання водорозчинних гумінових речовин є великі запаси бурого вугілля в Україні, що також може сприяти поліпшенню економічних показників. Також, проведені дослідження дозволяють стверджувати, що застосування комбінованого методу, що поєднує ультрафільтрацію з комплексоутворенням при використанні комплексоутворювачів на основі гумінових речовин бурого вугілля, дозволяє значно підвищити ступінь очищення від іонів важких металів.

**Ключові слова:** буре вугілля, гумінові речовини, гумінові кислоти, ультрафільтрація, іони важких металів.

Синицына А.А., аспірантка, Карножицкий П.П., аспірант

## **БУРЫЙ УГОЛЬ – СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ СОРБЕНТОВ**

Достаточно значительные запасы бурого угля сосредоточены в Днепровском буругольном бассейне Украины. Выгодным является его добыча открытым способом, ведь залегание пластов является незначительным. Украинский бурый уголь преимущественно землистый, суббитуминозный, что в свою очередь характеризуется повышенным содержанием свободных гуминовых кислот. Несмотря на значительные запасы бурых углей в Украине и благоприятные условия залегания, его добыча незначительна. Основная часть бурого угля, используется как топливо, а незначительная часть его как сырье. Нами был исследован бурый уголь Александрийского месторождения Украины, который содержит большое количество (около 80 %) гуминовой кислоты, которая является основой для получения эффективных водорастворимых сорбентов. В статье исследованы и определена эффективность использования бурого угля Александрийского месторождения для получения гуминовых веществ, их элементный состав и выход гуминовых кислот из них. Определена эффективность использования гуминовых веществ, полученных из бурого угля Александрийского месторождения при связывании ионов тяжелых металлов ( $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ) с применением метода комплексообразования – ультрафильтрация. Определена производительность ультрафильтрационных мембран с раствором гуматов. Рассчитан коэффициент задержки ионов металлов, который зависит от концентрации гуминовых веществ. Проведенные исследования позволяют утверждать, что применение метода ультрафильтрация – комплексообразование с использованием комплексообразователей на основе гуминовых веществ бурого угля Александрийского месторождения, позволяет значительно повысить степень очистки водных растворов от ионов тяжелых металлов. Данные исследования являются актуальными и расширяют возможности применения бурого угля. Показано, что на основе украинского бурого угля можно получать экологический и дешевый комплексообразователь. Важным приоритетом использования водорастворимых гуминовых веществ являются большие запасы бурого угля в Украине, что также может способствовать улучшению экономических показателей. Также, проведенные исследования позволяют утверждать, что применение комбинированного метода, сочетающего ультрафильтрацию с комплексообразованием при использовании комплексообразователей на основе гуминовых веществ бурого угля, позволяет значительно повысить степень очистки от ионов тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** бурый уголь, гуминовые вещества, гуминовые кислоты, ультрафильтрация, ионы тяжелых металлов

Sinitsyna A.O., PhD student, Karnozhytskyi P.P., PhD student

## **LIGNITE AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF WATER-SOLUBLE SORBENTS**

Large lignite reserves are concentrated in the Dnipro lignite basin of Ukraine. It is profitable to extract it by open-pit mining, as the seams are shallow. Ukrainian lignite is pre-

dominantly earthy, subbituminous, which in turn is characterized by a high content of free humic acids. Despite the significant lignite reserves in Ukraine and favourable conditions, its production is insignificant. Most of the lignite is used as fuel, and a small part of it is used as raw material. We have studied the lignite of the Oleksandriya deposit of Ukraine, which contains a large amount (about 80 %) of humic acid, which is the basis to produce effective water-soluble sorbents. The article investigates and determines the efficiency of using lignite from the Oleksandriya deposit to produce humic substances, their elemental composition, and the yield of humic acids from them. The efficiency of the use of humic substances obtained from lignite of the Alexandria deposit in the binding of heavy metal ions ( $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ) using the method of complexation - ultrafiltration - was determined. The performance of ultrafiltration membranes with a humate solution was determined. The retention coefficient of metal ions, which depends on the concentration of humic substances, was calculated. The conducted studies allow us to assert that the application of the ultrafiltration-complexation method using complexing agents based on humic substances of lignite from the Alexandria deposit can significantly increase the degree of purification of aqueous solutions from heavy metal ions. These studies are relevant and expand the possibilities of using lignite. It has been shown that Ukrainian lignite can be used to produce an environmentally friendly and cheap complexing agent. An important priority for the use of water-soluble humic substances is the large lignite reserves in Ukraine, which can also contribute to improving economic performance. Also, the studies conducted suggest that the application of a combined method that combines ultrafiltration with complexation when using complexing agents based on lignite humic substances can significantly increase the degree of purification from heavy metal ions.

**Keywords:** lignite, humic substances, humic acids, ultrafiltration, heavy metal ions.