

В.Г. ДЮЖЕВ, А.О. СІНИЦІНА, П.П. КАРНОЖИЦЬКИЙ, П.В. КАРНОЖИЦЬКИЙ
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ, ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗБІЛЬШЕННЯ СТАНДАРТІВ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ ВОДОРОЗЧИННИХ СОРБЕНТІВ ОТРИМАНИХ
З УКРАЇНСЬКОГО БУРОГО ВУГІЛЛЯ

У статті досліджені актуальні екологічні та соціально-економічні проблеми пов'язані з незадовільною якістю очищених стічних вод. Зазначено, що невід'ємними складовими стратегії розвитку життєзабезпечення є пошук оптимальних шляхів знешкодження негативних наслідків діяльності суб'єктів господарювання. В дослідження наведено характеристику стану стічних вод України та Харківського регіону. При фізико-хімічному очищенні стічних вод від іонів важких металів, запропоновано та розраховано економічну ефективність використання водорозчинного екологічно чистого сорбенту. Показано, що на основі українського бурого вугілля можна отримувати комплексоутворювач, собівартість якого значно нижче, ніж вартість синтетичних аналогів. Важливим пріоритетом використання водорозчинних гумінових речовин є великі запаси бурого вугілля в Україні, що також може сприяти поліпшенню економічних показників. 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. Відповідно, встановлено, що є недостатній рівень екоорієнтованих інновацій у промисловості, а також обсягів капітальних інвестицій на видобуток бурого вугілля України та розвиток водоохоронної діяльності. Проведене дослідження підтверджує важливість сприяння розвитку екоорієнтованих інновацій у промисловості, а також збільшення обсягів капітальних інвестицій на видобуток бурого вугілля України та розвиток водоохоронної діяльності. Визначено економічну ефективність використання гумінових речовин, отриманих з бурого вугілля Олександрійського родовища, для зв'язування іонів важких металів із застосуванням методу комплексоутворення-ультрафільтрації.

Ключові слова: ефективність; інновації; стандарти життєдіяльності; забруднення; стічні води; гумінові речовини; буре вугілля

V.H. DIUZHIEV, A.O. SINITSYNA, P.P. KARNOZHITSKYI, P.V. KARNOZHITSKYI
SOCIO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ISSUES OF IMPROVING THE VITAL ACTIVITY
STANDARDS FOR THE POPULATION WITH APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES
OF WATER RESOURCES PURIFICATION BASED ON WATER-SOLUBLE SORBENTS OBTAINED
FROM UKRAINIAN BROWN COAL

Current environmental and socio-economic problems related to unsatisfactory quality of sewage treatment have been investigated in the paper. It is noted that the search for optimal ways of neutralization of negative consequences of economic activity is an integral component of the strategy of life support development. The characteristic of the current state of the wastewater of Ukraine and Kharkiv region is given. The economic feasibility of using water-soluble environmentally friendly sorbent at the physical-chemical purification of sewage from ions of heavy metals is calculated. It has been proved that it is possible to receive a complexing agent with a much lower cost in comparison to synthetic analogues on the basis of brown coal the significant reserves of which Ukraine obtains. It is demonstrated that application of the combined method of ultrafiltration with complexation combining when using complexing agents based on humic substances of lignite allows to increase the degree of purification from heavy metal ions significantly. It has been established that the level of coordinated innovations in industry, as well as the volume of capital investments for the extraction of brown coal of Ukraine and the development of water protection activities is insufficient. The importance of its increase is justified. The economic efficiency of the humic substances obtained from the lignite of the Olexandriiske deposit usage for the binding of heavy metal ions using the complexation-ultrafiltration method was determined. It was noted that organization of a new modern production of effective reagents based on brown coal will lead to creation of additional jobs and will ensure compliance with drinking water quality standards, as well as to improve the ecological state of natural water sources. A new production will have a beneficial effect on development of brown coal mining regions infrastructure.

Keywords: efficiency; innovations; vital activity standards; pollution; sewage; humic substances; brown coal

Постановка проблеми. На даний час в Україні переважна більшість поверхневих водних об'єктів досягає критичного рівня забруднення, в тому числі важкими металами, що спричинене незадовільною якістю очищених стічних вод. Спостерігається погіршення якості водопостачання і зниження надійності робіт технічних систем, а споживання значно зростає, що може обумовити дефіцит чистої води [1]. Системи водовідведення та водопостачання застарілі, очисні споруди не дозволяють забезпечити очищення стічних вод відповідно до норм та вимог законодавства. Це призводить до скидання недостатньо очищених стічних вод у водні об'єкти. У воді присутні різні водні домішки, в тому числі іони важких металів, які є дуже небезпечними токсичними речовинами, що мають кумулятивну дію на гідробіоти. Надходячи у природні водойми, ці токсичні речовини накопичуються у воді і донних відкладеннях, стаючи, таким чином, джерелом вторинного забруднення. Важкі метали відносяться до

пріоритетних забруднюючих речовин, спостереження за якими обов'язково в усіх середовищах. Особлива токсичність для живих організмів при низькій концентрації важких металів. Діяльність промислових підприємств, мереж АЗС призводять до щоденного утворення великого обсягу стічних вод, які є сумішшю промислових і побутових стоків. Це, відповідно, впливає на стандарти життя та здоров'я людей негативним чином.

Актуальність дослідження. Проблема очищення промислових стоків з кожним роком набуває все більшого значення. Сучасний інтерес в реалізації екологічних заходів з різкого скорочення скидання у водойми неочищених стоків вимагає інтенсивних зусиль з розробки та вдосконалення технологій їх глибокого очищення. Проблема очистки стічних вод від іонів важких металів полягає в тому, що вони не вилучаються з води механічно, не видаляються при біологічному очищенні та традиційними методами водоочищення. Це обумовлює необхідність суворого

контролю за їх надходженням в навколишнє середовище. Значна вартість подібних технологій вимагає на практиці використання дорогих методів для їх уловлювання. Це створює негативний прецедент для економії на елементах очисних технологій. За рахунок цього, підприємства можуть знижувати собівартість продукції, що випускається і забезпечувати, до певної міри, свій рівень конкурентоспроможності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При очищенні стічних вод від важких металів використовують реагенту обробку, іонний обмін, адсорбцію та мембранні методи [2, 3]. В роботах [4–8] різними авторами описано застосування методу комплексоутворення – ультрафільтрації (КУУФ) з використанням різних комплексоутворювачів з різним співвідношенням до металів. В роботі [4] описана можливість застосування фероціаніду калію методом осадження. В статті [5] авторами описано вилучення урана методом ультрафільтрації з застосуванням комплексоутворювача зі співвідношенням 4:1 – поліетиленімін (ПЕІ). Авторами [6] досліджено використання тіосемикарбазида, як комплексоутворювача при баромембранній очистці розчинів з оптимальною концентрацією комплексоутворювача 10 мг/дм³. Застосування очистки синтетичними комплексоутворювачами описано в роботі [7] з використанням полідіаллідиметиламмоній хлорид (ПДАДМАХ), поліетиленімін (ПЕІ), дексан (ДЕ) у співвідношеннях до важких металів 1:2 (10:20 мг/дм³). Видалення міді з водних розчинів при використанні в якості комплексоутворювача – хітозана, описано в дослідженні проведеного авторами [8], у співвідношенні хітозана до металу 10:1.

Результати використання гумінових кислот, отриманих з бурого вугілля, у якості сорбенту наведено в багатьох наукових публікаціях [9–11]. В роботі [11] наведені результати використання гумінових речовин отриманих з бурого вугілля Олександрійського родовища при зв'язуванні іонів важких металів із застосуванням методу комплексоутворення – ультрафільтрації. Лабораторні дослідження довели, що ефективність сорбції такого методу становить 98 %. Як видно з отриманих даних, можливо стверджувати, що є перспектива для отримання та використання таких речовин.

Мета статті полягає в просуванні екоорієнтованих інновацій в промисловості, а також в обґрунтуванні збільшення обсягів капітальних інвестицій для видобутку бурого вугілля України, а також у розвитку використання гумінових речовин для сорбції важких металів та їх вилучення методом комплексоутворення – ультрафільтрації для глибинної доочистки стічних вод.

Основні результати дослідження. За даними «Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні» Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [12] в 2019 році у поверхневій воді було скинуто 5374 млн. м³ стічних вод із них: не очищених – 139 млн. м³ (2,59 %); недостатньо очищених – 598 млн. м³ (11,13 %); нормативно чистих без очищення – 3285 млн. м³

(61,13 %); нормативно очищених – 1188 млн. м³ (22,11 %). Дані у вигляді діаграми наведено на рис. 1.

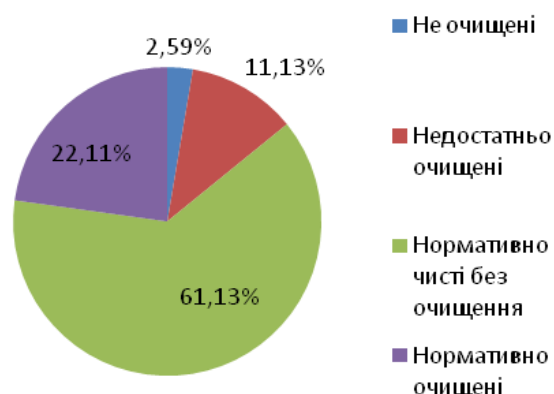


Рисунок 1 – Об'єм стічних вод за категоріями очищення, які було скинуто у поверхневій воді України в 2019 році, всього - 5374 млн. м³

На перший погляд, скинутих «не очищених» або «недостатньо очищених» не велика кількість, проте, для того, щоб їх очистити до «нормативно-очищених», необхідно використовувати методи очистки із застосуванням дорогих технологій. Окрім цього, поняття «нормативно чистими без очищення» передбачається такий самий цикл очищення. Це обумовлюється тим що стічні води «нормативно очищені» найчастіше контролюються в слухний для підприємства час, коли кількість стічних вод умовно відповідає «нормативно очищеним». Таким чином, ситуація із стічними водами виглядає досить негативно для стандартів життєдіяльності.

Загальна характеристика водних ресурсів Харківської області за результатами доповіді про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2019 році [13]: загальне водовідведення 289,3 млн. м³, із них: забруднених зворотних вод – 14,7 млн. м³, з них без очищення – 9,1 млн. м³, нормативно очищених – 182,8 млн. м³, нормативно чистих без очистки – 87,4 млн. м³. Дані у вигляді діаграми наведено на рис. 2.



Рисунок 2 – Загальне водовідведення в Харківській області у 2019 році у поверхневій водні загалом - 289,3 млн. м³

Потужність очисних споруд за 2019 рік становить – 505,4 млн. м³, в тому числі перед скидом до водного об'єкту – 480,6 млн. м³.

У 2019 році, скинуто забруднюючих речовин у водні об'єкти: магній – 2,818 тонн, залізо загальне – 50,41 тонн, алюміній – 1,773 тонни, марганець – 0,045 тонн, нікель – 3,821 тонн, мідь – 0,677 тонн, хром⁶⁺ – 0,771 тонн.

Значна кількість важких металів у стоках житлово-комунальної галузі: залізо загальне – 48,891 тонн, цинк – 4,070 тонн, марганець – 0,045 тонн, нікель – 3,820 тонн, мідь – 0,667 тонн, хром⁶⁺ – 0,468 тонн.

Із загального об'єму скиду нормативно-очищених зворотних вод в області (182,8 млн. м³) скид на спорудах механічної очистки складає 2,164 млн. м³ (1,18%), біологічної очистки – 180,2 млн. м³ (98,58 %) та фізико-хімічної очистки – 0,354 млн. м³ (0,19%).

Основні забруднювачі водних об'єктів (за сферами діяльності) підприємства за галузями економіки у 2019 році наведено у таблиці 1.

Одним із методів водоочищення є комплексоутворення – ультрафільтрації (КУУФ), суть якого полягає у зв'язуванні важких металів водорозчинними високомолекулярними комплексоутворювачами з подальшим виділенням комплексів, що утворилися над ультрафільтраційними мембранами. При цьому досягається високий ступінь очищення води та більша продуктивність, у порівнянні зі зворотним осмосом.

Таблиця 1 – Відведення води підприємствами (за сферами діяльності) протягом 2019 року, млн. м³

Сфери діяльності	Відведено зворотних вод у поверхневі водні об'єкти		
	всього	у т.ч. забруднених	з них без очищення
Електроенергетика	88,37	0,396	84,05
Вугільна промисловість	-	-	-
Металургійна промисловість	-	-	-
Хімічна та нафтохімічна промисловість	0,044	0,009	-
Машинобудування	0,973	0,401	0,206
Нафтогазова промисловість	0,069	-	-
Житлово-комунальне господарство	187,7	10,39	0,001
Сільське господарство	5,49	2,725	2,77
Харчова промисловість	0,495	0,38	0,044
Транспорт	0,263	0,002	-
Промисловість будівельних матеріалів	1,72	0,01	0,283
Інші галузі	1,11	0,421	0,009
Всього	286,2	14,73	87,36

В якості комплексоутворювачів використовують синтетичні речовини (полімери різної хімічної природи: полідіалілдиметиламоній хлорид, поліетиламінін, декстран [4–8]). До їх недоліків слід віднести негативний вплив на навколишнє середовище в результаті попадання у фільтрат водорозчинних молекул синтетичного комплексоутворювача та високу вартість, що досягає 22 тис. грн/кг. В той же час з українського бурого вугілля можна отримати за простою технологією сорбенти, собівартість яких не буде перевищувати 100 грн/кг. Враховуючи низьку вартість бурого вугілля – 1800 грн/т (середня

собівартість) та дешеву переробку – можна стверджувати, що заміна синтетичного комплексоутворювача дозволить суттєво здешевити процес очищення.

Важливим пріоритетом використання водорозчинних гумінових речовин є великі запаси бурого вугілля в Україні. Балансові запаси бурого вугілля (кат. А+В+С₁+С₂) складають 5,2% від загальних запасів вугілля України. Розподіл запасів бурого вугілля по адміністративних областях: Дніпропетровська – 1320,6 млн. т, Харківська – 390 млн. т, Кіровоградська – 750,8 млн. т, Закарпатська – 38,8, млн. т, Житомирська – 10,9 млн. т, Черкаська – 82,2, млн. т. [16]. Дані наведені на рис. 3.

Видобуток бурого вугілля є легкодоступним, тому що залягання пластів не глибоке, що дозволяє видобувати відкритим способом. Але на сьогоднішній день відсутній інтерес держави та приватних інвесторів до видобутку бурого вугілля. В основному його використовують як енергетичне паливо, щоб підвищити його теплотворну здатність буре вугілля піддають газифікації. Також з нього видобувають бітуми, гумінові речовини та смоли, але не в значних кількостях. Може бути використаний і в сільськогосподарській діяльності, за рахунок його адсорбуючих властивостей. Вартість бурого вугілля, яка складає 1800 грн/т, в середньому, нижче в порівнянні з кам'яним, та безпечніше за рахунок способу його добування. Напрями розвитку використання бурого вугілля є актуальними, що може залучити інвестиції та створити нові робочі місця в депресивних районах тощо [14–16].

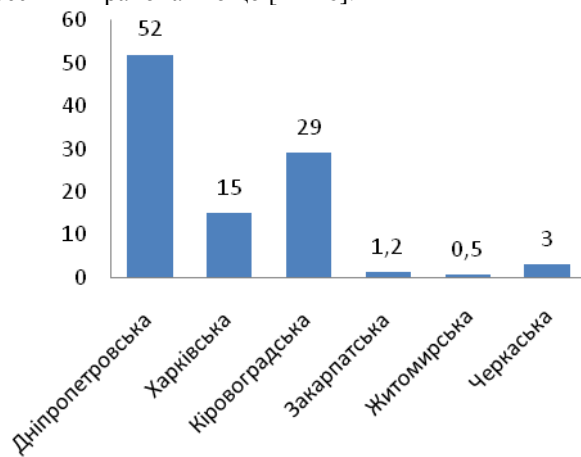


Рисунок 3 – Розподіл запасів бурого вугілля по адміністративних областях

Реагентним методом ступінь очищення стічних вод від важких металів складає від 70 до 85 %. Інша частина важких металів у кількості від 15 до 20 % від вихідного сумарного їхнього вмісту залишається в «очищеній» воді, яка для відповідності нормам ГДК повинна бути розведена водою, що не містить важких металів [11].

КУУФ застосовують для розділення малоконцентрованих розчинів, які у своєму складі містять практично однакові за властивостями іони.

За результатами експериментальних досліджень упродовж 2018–2022 року були розроблені технології очищення стічних вод з використанням водорозчинних

гумінових речовин. Після взаємодії гуматів з іонами важких металів зі стічних вод, що підлягають очищенню, спостерігається досягнення високих результатів, які відповідають вимогам та нормам законодавства.

Витрата ефективних комплексоутворювачів при очищенні води методом КУУФ залежить від ступеня забрудненості і становить від кількох десятків до сотень грамів на кубічний метр води, що очищається. При цьому треба розуміти, що основна мета запропонованого методу, полягає в доведенні концентрації іонів токсичних металів до норм ГДК. На мембрани подається вода, що пройшла всі стадії попереднього очищення. Це дозволяє покращити умови роботи мембран, збільшити їх продуктивність і забезпечити ефективне використання комплексоутворювача.

Згідно даних доповіді про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2019 році [13] скинуто забруднюючих речовин у водні об'єкти (житлово-комунальна галузь): цинк – 3,970 тонн, нікель – 3,723 тонн, мідь – 0,648 тонн.

Із об'єму скиду в Харківській області припадає на фізико-хімічну очистку 0,354 млн. м³. Допустимі величини показників якості для стічних вод, відповідно становлять: цинк – 0,5 мг/л, нікель – 0,2 мг/л, мідь – 1,0 мг/л.

Для порівняння, економічні показники використання різних реагентів для глибокого очищення води від важких металів наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Витрати на реагент-комплексоутворювач при доочищенні стічної води від іонів важких металів.

№ п/п	Реагент	Співвідношення реагент: метал	Вартість реагенту, грн/кг	Витрати на доочищення води до норм ГДК, грн/м ³
1	Поліетиленімін (ПЕІ)	2:1	22000	≈ 1000
2	Хітозан	10:1	3700	≈ 850
3	Гумати бурого вугілля	4:1	100	≈ 6

Примітка: вихідна концентрація важких металів у воді, що надходить на доочищення, становила: цинк – 11,5 г/м³; нікель – 10,8 г/м³; мідь – 1,9 г/м³. Очищення здійснювалося до норм ГДК на ультрафільтраційних мембранах ПА-10.

Висновки.

1. Збільшення концентрації важких металів у стічних водах вимагає використання сучасних дорогих методів очистки, що дозволяють досягти норм ГДК. Це призводить до значного збільшення вартості очистки.

2. Витрати на застосування баромембранних технологій очищення води, зокрема методу КУУФ, багато в чому визначаються вартістю реагенту-комплексоутворювача.

3. Показано, що на основі українського бурого вугілля можна отримувати комплексоутворювач, собівартість якого не перевищує 100 грн/кг. Це значно нижче, ніж вартість закордонних синтетичних аналогів.

4. Виходячи з вищевикладеного можна зробити загальний висновок, що при використанні баромембранних методів глибокого очищення води від іонів важких металів із застосування гумінових речовин на основі бурого вугілля, замість синтетичних комплексоутворювачів, дозволить значно скоротити витрати

при фізико – хімічній очистці для досягнення норм ГДК. Це забезпечить економічну ефективність під час очищення води в Харківському регіоні при фізико – хімічній очистці з розрахунку – економія складе більше 100 млн. грн.

5. Поряд із високими економічними показниками, використання гумових сорбентів має високі соціальні результати:

- створення додаткових робочих місць та розвиток інфраструктури регіонів видобутку бурого вугілля, що також позначається на їхніх економічних показниках;

- створюються умови для фактичного забезпечення реалізації стандартів по питній воді, що в свою чергу, позитивно впливатиме на здоров'я та позитивність життя населення.

Список літератури

1. Бабенко Т. В. Почта Ю. В. Системи водопостачання населених пунктів України *Екологічна Безпека, охорона праці Науковий вісник НГУ*, 2012. №2. С. 105-108.
2. Когановский А. М. *Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод*. Киев Наукова думка, 1983. 240 с.
3. Baker R., *Membrane technology and application*, McGraw-Hill, New York, 2000. 514 p.
4. Гомеля М.Д. Терещенко О. М. Мельниченко С.В. Вилучення йонів міді з води із застосуванням фероціаніду калію та водорозчинного поліелектроліту *Інтегровані технології промисловості Інтегровані технології та енергозбереження*, 2017. Вип. 4. С. 76-79.
5. Криворучко А.П. Атаманенко І.Д. Юрлова Л.Ю. Извлечение Урана из вод с различным содержанием методом ультрафильтрации *Технология водоподготовки и деминерализация вод* Химия и технология воды, 2011. т.33, №2. С. 169-173.
6. Водянка В.Р. Макаров А.С. Балакина М.Н. Борул С.Д. Кучерук Д.Д. Применение тиосемикарбазида в процессах баромембранной очистки сточных вод *Технология водоподготовки и деминерализация вод* Химия и технология воды, 2011. т.33, №3. С. 334-344.
7. Siyanitsa V.V., Kochkodan V. M, Goncharuk V.V. Removal of Humic Compounds From Aqueous Solutions by the Complexation – Ultrafiltration Method *Journal of Water Chemistry and Technology*, 2007. vol. 29. No 3. pp. 131-135.
8. Вербич С.В. Чорнокур Г.С. Брик М.Т. Видалення міді із водних розчинів методом комплексоутворення-ультрафільтрація *Наукові записки хімічної науки і технології*, 2005. т.43. С. 19-25.
9. Manzak, Aynur, Kurşun, Cem, Yıldız, Yasemin. Characterization of humic acid extracted from aqueous solutions with polymer inclusion membranes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2017 vol. 81 pp.14–20.
10. Ashok K. Pandey, Shri Dhar Pandey, Virendra Misra Stability Constants of Metal–Humic Acid Complexes and Its Role in Environmental Detoxification *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2000, Vol 47. pp. 195-200.
11. Sinitsyna A. O., Karnozhitskiy P. V., Miroshnichenko D. V., Bilets D. Yu. The use of brown coal in Ukraine to obtain water-soluble sorbents *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022. № 4. pp. 5-10.
12. Харківська обласна державна адміністрація. Департамент захисту довкілля та природокористування. *Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2019 році*. Харків, 2020 р. 171 с. [Електронний ресурс] URL: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdili/486/2736/105379> (дата звернення: 10.09.2022).
13. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2019 році*. 2020. 53с. [Електронний ресурс]. URL: <https://mepr.gov.ua/news/37844.html> (дата звернення: 10.09.2022).

14. Собко Б.Е., Шустов Б.Е., Белов А.П. *Потенциальная роль бурого угля в энергетическом балансе страны* Национальный горный университет, Интехпроект. Днепр. 2018. 42 с.
15. Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України» *Мінеральні ресурси України*, – Київ, 2020. 270 с. [Електронний ресурс] URL: <https://minerals-ua.info> (дата звернення: 17.09.2022).
16. Офіс ефективного регулювання BRDO *Зелена книга регулювання ринку вугілля*, 2019 [Електронний ресурс] URL: <https://regulation.gov.ua> (дата звернення: 20.09.2022).
8. Verbych S.V. Chornokur H.S. Bryk M.T. Vydalennya midi iz vodnykh rozchyniv metodom kompleksoutvorenniya-ul'trafil'tratsiya [Removal of copper from aqueous solutions by the complexation-ultrafiltration method] *Naukovi zapysky khimichni nauky i tekhnolohiyi* [Scientific notes chemical sciences and technologies], 2005. Vol.43. pp. 19-25.
9. Manzak, Aynur, Kurşun, Cem, Yıldız, Yasemin. Characterization of humic acid extracted from aqueous solutions with polymer inclusion membranes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2017 vol. 81 pp.14–20.
10. Ashok K. Pandey, Shri Dhar Pandey, Virendra Misra Stability Constants of Metal–Humic Acid Complexes and Its Role in Environmental Detoxification *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2000, Vol 47. pp. 195-200.
11. Sinit'syna A. O., Karnozhitskiy P. V., Miroshnichenko D. V., Bilets D. Yu. The use of brown coal in Ukraine to obtain water-soluble sorbents *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022. № 4. pp . 5-10.
12. Kharkivs'ka oblasna derzhavna administratsiya. Departament zakhystu dovkilliya ta pryrodokorystuvannya [Kharkiv Regional State Administration. Department of Environmental Protection and Nature Management]. *Dopovid' pro stan navkolyshn'oho pryrodnoho sere dovyscha v Kharkivs'kiy oblasti u 2019 rotsi* [Report on the state of the natural environment in the Kharkiv region in 2019]. Kharkiv, 2020 171 p. Available at: <https://kharkivoda.gov.ua/oblasna-derzhavna-administratsiya/struktura-administratsiyi/strukturni-pidrozdzili/486/2736/105379> (accessed 10.09.2022).
13. Ministerstvo zakhystu dovkilliya ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine] *Natsional'na dopovid' pro stan navkolyshn'oho pryrodnoho sere dovyscha v Ukraini u 2019 rotsi* [National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2019]. 2020. 53 p. Available at: <https://mepr.gov.ua/news/37844.html> (accessed 10.09.2022).
14. 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] *Natsionalni gornii universitet, Intekhproekt* [National Mining University, Intechproject]. Dnepr. 2018. 42 p.
15. Derzhavne naukovo-vyrobnyche pidpryyemstvo «Derzhavnyy informatsiynyy heolohichnyy fond Ukrainy» [State Scientific and Production Enterprise "State Geological Information Fund of Ukraine"] *Mineral'ni resursy Ukrainy* [Mineral resources of Ukraine], – Kyiv, 2020. 270 p. Available at: <https://minerals-ua.info> (accessed 17.09.2022).
16. Офіс ефективного регулювання BRDO [BRDO Effective Regulation Office] *Зелена книга регулювання ринку вугілля* [Green book on regulation of the coal market], 2019 Available at: <https://regulation.gov.ua> (accessed 20.09.2022).

References (transliterated)

1. Babenko T. V. Pochta Yu. V. *Systemy vodopostachannia naselenykh punktiv Ukrainy* [Water supply systems of populated areas of Ukraine]. *Ekolohichna Bezpeka, okhorona pratsi Naukovyi visnyk NHU* [Ecological Safety, occupational health and safety Scientific Bulletin of NSU], 2012, No 2 pp. 105-108.
2. 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.
3. Baker R., *Membrane technology and application*, McGraw-Hill, New York, 2000. 514 p
4. Homelya M.D. Tereshchenko O.M. Mel'nychenko Ye.V. Vyluchennya yoniv midi z vody iz zastosuvanniam ferotsianidu kaliyu ta vodorozchynnoho polielektrolitu [Extraction of copper ions from water using potassium ferrocyanide and a water-soluble polyelectrolyte] *Intehrovani tekhnolohiyi promyslovosti Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozbezhezhennya* [Integrated technologies of industry Integrated technologies and energy saving], 2017. No 4. pp. 76-79.
5. Krivoruchko A.P. Atamanenko I.D. Yurlova L.Yu. Izvlechenie Urana iz vod s razlichnim solesoderzhaniem metodom ultrafiltratsii [Extraction of Uranium from waters with different salinity by ultrafiltration] *Tekhnologiya vodopodgotovki i demineralizatsiya vod. Khimiya i tekhnologiya void* [Water treatment technology and water demineralization], 2011. Vol.33, No 2. pp. 169-173.
6. Vodyanka V.R. Makarov A.S. Balakina M.N. Boruk S.D. Kucheruk D.D. Primenenie tiosemikalbazida v protsessakh baromembranoi ochistki stochnikh vod [The use of thiosemicarbazide in the processes of baromembrane wastewater treatment] *Tekhnologiya vodopodgotovki i demineralizatsiya vod. Khimiya i tekhnologiya void* [Water treatment technology and water demineralization], 2011. Vol.33, No 3. pp. 334-344.
7. Siyanitsa V.V., Kochkodan V. M, Goncharuk V.V. Removal of Humic Compounds From Aqueous Solutions by the Complexation – Ultrafiltration Method *Journal of Water Chemistry and Technology*, 2007. Vol. 29. No 3. pp. 131-135.

Надійшла (received) 01.10.2022

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дюжєв Віктор Геннадійович (Diuzhev Viktor Hennadiiovych) – доктор економічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри Економіки бізнесу і міжнародних економічних відносин; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9929-2431>; e-mail: Viktor.Dyuzhev@khpri.edu.ua

Сініцина Анастасія Олександрівна (Sinitsyna Anastasiia Oleksandrivna) – Національний Технічний Університет «Харківський політехнічний інститут», аспірантка кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива, Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1031-8605>; e-mail: an.sinic24@gmail.com,

Карножицький Павло Павлович (Karnozhyskiy Pavlo Pavlovych) – Національний Технічний Університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива, Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4740-1971>; e-mail: pavlokarnoenv@gmail.com

Карножицький Павло Володимирович (Karnozhyskiy Pavlo Volodymyrovych) – кандидат технічних наук, Старший науковий співробітник, Національний Технічний Університет «Харківський політехнічний інститут», провідний науковий співробітник кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива, Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0001-6019-8432> e-mail: kp@kpi.kharkov.ua