

10 т/га) та 6 фоні (розрахунок на врожай 40 т/га). Найбільшим перевитратою поживних речовин відрізняються посіви на 4 та 5 фонах;

2 – при оптимальній густоті стояння 100 тис./га, за якої накопичена найбільша врожайність зеленої та сухої маси, значно скорочується перевитрата поживних речовин. На 2, 3, 4 та 6 фонах спостерігається негативний баланс K_2O . Підвищене споживання калію у випадках покривається з допомогою використання поживних речовин із ґрунту. При густоті стояння 100 тис./га найкращим є баланс NPK також на 2, 6-му, а також 3-му тлі;

3 – у сприятливий для обробітку кукурудзи 2022 р. у посівах з густотою стояння 100 тис./га на всіх фонах, що вивчаються, складається негативний баланс NPK (винесено з урожаєм більше, ніж внесено), за винятком балансу азоту на 5 тлі та фосфору на 2- 5 фонів. У дефіциті залишається калій у всіх випадках, але на 1, 2, 6 фонах дефіцит його усувається використанням із ґрунту, на інших фонах дефіцит покривається наполовину.

Таким чином, прийняті для розрахунку показники виносу NPK та коефіцієнти використання їх з ґрунту та добрив є прийнятними для визначення середнього рівня врожайності з густотою 100 тис./га, за винятком збільшення урожаю 30 і 40 т/га.

При програмуванні більш високих урожаїв, які формуються у найбільш сприятливі роки, у розрахунках доцільно використати вищі показники виносу K_2O (ніж 3,7 прийняті у розрахунках).

Кращим методом визначення доз NPK на добре окультурених дерново-підзолистих ґрунтах з високим вмістом P_2O_5 є розрахунок потреби поживних речовин на врожайність, а не на збільшення врожаю, так як в останньому випадку відбувається перевитрата фосфорних добрив.

У середньому, включаючи холодні та спекотні посушливі роки, дійсно можливим рівнем врожаю кукурудзи є 45-50 т/га зеленої маси. При програмуванні врожаїв зеленої маси лише на рівні 45-50 т/га у розрахунках можна виключати винос азоту 2,7-2,9, P_2O_5 - 0,6-0,7, K_2O - 3,7-4,0 на 1 тону зеленої маси.

Список використаної літератури

1. Андрієнко А., Дергачов Д., Кузьмич В., Токар Б. Гібриди кукурудзи – такі схожі, такі різні // Агроном. 2015. № 1. - С. 130–138.
2. Белов Я. В. Напрями оптимізації технологій вирощування кукурудзи за умов змін клімату. Вісник аграрної науки Причорномор'я. Миколаїв, 2018. Вип. 4. - С. 74–81.
3. Філіп'єв І. Д., Димов О. М. Винос елементів живлення сільськогосподарськими культурами в умовах зрошення на формування одиниці врожаю залежно від добрив // Зрошуване землеробство. 2012. № 58. - С. 28–30.

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИЙ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ ВОЛЬФРАМУ З ОКСИГЕНВМІСНИХ СПОЛУК

Кулешов С. В., Медвежинська О. В., Новоселова І. А., Омельчук А. О.

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України

Завдяки своїм винятковим властивостям, вольфрам знаходить широке застосування у таких галузях, як радіоелектроніка (виготовлення електродів, контактів), електровакуумна техніка (нитки розжарювання, катоди), ядерна енергетика (тепловидільні елементи, захисні екрани), ракетно-космічна техніка (сопла двигунів, обтічники).

Найбільшим же споживачем вольфраму є гірничо-промисловість, де він використовується для виготовлення бурового інструменту та інших зносостійких деталей. Окрім цього, розглядаються можливості застосування вольфраму в нових технологіях, таких як електромобілі [1] та 5G телекомунікації [2]. На сьогодні спостерігається чітка тенденція до збільшення попиту на вольфрам та його сполуки. За прогнозами експертів [3] світовий ринок вольфраму очікує значне зростання. У 2023 році обсяг його виробництва сягнув 5,9 млрд. доларів США, а до 2031 року він подвоїться і досягне 9,4 млрд. Очікується, що протягом 2024–2031 років ринок вольфраму зростатиме в середньому на 6,1% щорічно, що свідчить про його високу динаміку та значний потенціал.

Існуючий промисловий метод отримання вольфраму з триоксиду вольфраму за допомогою водню має ряд істотних недоліків. Він потребує високих температур (~1500 °C), спеціального обладнання та дотримання суворих заходів безпеки при роботі з воднем. Розробка нових, більш енергоефективних та безпечних методів отримання вольфраму є актуальним завданням для науковців. Існують альтернативні методи, які можуть бути більш перспективними з точки зору економії ресурсів та безпеки, але вони потребують доопрацювання та масштабування.

Одним із таких методів є електрохімічний, а саме електровідновлення оксигенвмісних сполук вольфраму (CaWO_4 , WO_3 тощо) у розплавах солей. Цей метод значно скорочує технологічну схему виробництва, реалізується за нижчих температур (700–900 °C) і дає можливість одержувати як порошки, так і покриття металу з високою чистотою. Тому дослідження прямого електрохімічного відновлення оксигенвмісних сполук вольфраму має не лише науковий, але й практичний інтерес.

У даному повідомленні представлено результати досліджень електрохімічного відновлення оксигенвмісних сполук вольфраму (WO_3 , CaWO_4 , $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_3\text{WO}_3\text{F}_3$) в розплавлених сумішах галогенідів натрію, калію та кальцію. Порошки вольфраму одержували потенціостатичним електролізом за потенціалів у межах -1 – -3 В за температури 750 °C використовуючи різний матеріал катоду, склад електролітичної ванни та прекурсорів вольфраму (табл.1). Більш детальну інформацію стосовно методики проведення експерименту та механізмів відновлення наведено у роботах [4-6].

Таблиця 1.

Умови електрохімічного синтезу вольфраму.

Склад фонового електроліту	Джерело W, % (мас.)	Потенціал, В	Матеріал катоду	Вихід за струмом, % (мас.)
NaCl–KCl (1:1)	$\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$, 6,9	-1,1	Pt	45,3
Na,K Cl (1:1)–NaF, 10 % (мас.)	$\text{Na}_3\text{WO}_3\text{F}_3$, 12,0	-1,3	Pt	66,7
NaCl–CaCl ₂ (1:2)	WO_3 , 1,9	-3,0	Ga	65,0
NaCl–CaCl ₂ (1:2)	CaWO_4 , 2,3	-2,5	Ga	70,1

Варто зазначити, що на відміну від традиційних методів, де використовуються тверді катоди (Pt, Ni, W тощо), наше дослідження пропонує нове рішення – використання рідкого галієвого катоду. Він забезпечує не тільки надійний контакт з високодисперсними порошкоподібними вихідними сполуками вольфраму та їх рівномірну поляризацію, але й забезпечує захист відновленого металу від забруднення продуктами електролізу та електролітом ($d_W = 19,25$; $d_{\text{Ga розпл.}} = 6,1$; $d_{\text{розпл. ел.}} \sim 2,2 \text{ кг/дм}^3$). Крім того, галій має меншу

питому масу ніж триоксид вольфраму і тому захищає WO_3 від небажаної взаємодії з хлоридом кальцію, що унеможливило утворення летких оксохлоридів вольфраму та неконтрольовані втрати вихідних реагентів. Завдяки великій різниці температур кристалізації розплавленого електроліту (понад $500\text{ }^\circ\text{C}$) та галієвого катоду ($\sim 30\text{ }^\circ\text{C}$), а також різниці питомих мас складових електролітичної суміші, виділений при електролізі дрібнодисперсний порошок вольфраму легко відокремлюється від розплаву та галію. В інтервалі температур $600\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$, за яких відбувається електроліз зазначених сполук, галій не випаровується, не взаємодіє ні з компонентами розплаву, ні з вихідними сполуками вольфраму, ні з вольфрамом.

На рис. 1 наведено типові зображення сканувальної електронної мікроскопії отриманих вольфрамових порошків.

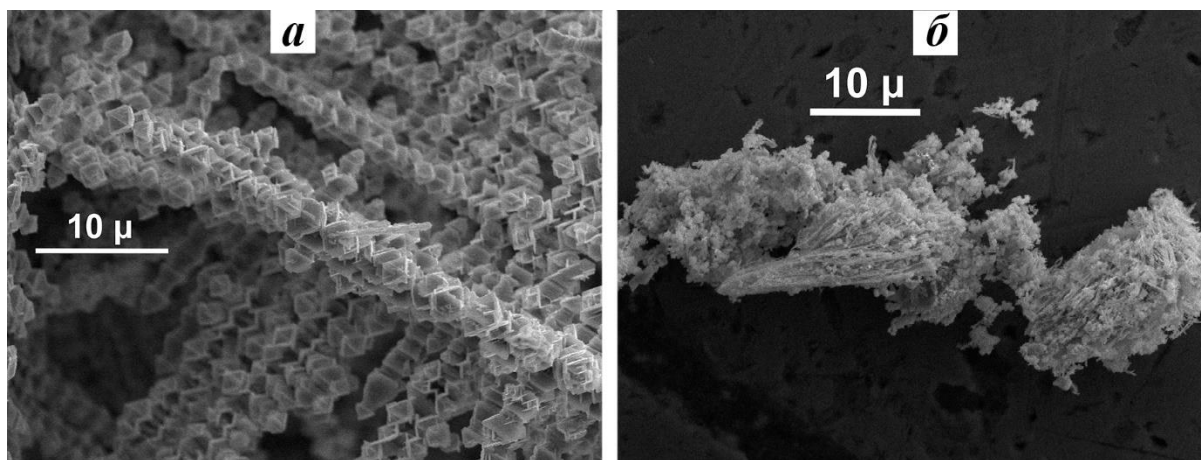


Рисунок 1. СЕМ-зображення вольфраму отриманого з $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$ (а) та з CaWO_4 (б).

Морфологія вольфраму отриманого за різних умов відрізняється. Порошки вольфраму, отримані із $\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_7$, мають добре впорядковану дендрито-подібну форму (рис.1, а), а з CaWO_4 характеризуються волокнистою структурою із кулеподібними включеннями (рис.1, б). Розмір частинок вольфраму, розрахований на основі рентгенограм за формулою Шеррера, для усіх зразків знаходиться у межах $30\text{--}50\text{ нм}$. Відмінність форм частинок W, отриманого за різних умов та вихідних речовин, їх нанорозмірність може впливати на властивості вольфраму. Це може бути використано для пошуку нових областей застосування, зокрема в електрокаталізі.

Ми розглянули можливість використання одержаного вольфраму як катодний матеріал для реакції електрокаталітичного відновлення водню й отримали обнадійливі результати [7]. Початок виділення водню зафіксовано за потенціалу $-0,3\text{ В}$; перенапруга за густини струму 10 мА/см^2 становила $-0,55\text{ В}$; кутовий коефіцієнт нахилу прямої для ділянки Тафеля – 140 мВ .

Таким чином, електрохімічний синтез вольфраму з оксигеновмісних сполук у розплавах солей є перспективним методом отримання цього металу, сплавів та сполук на його основі. Ми плануємо проводити подальші дослідження, щоб оптимізувати умови електрохімічного синтезу вольфраму, здійснити синтез його сплавів з кобальтом та молібденом, сполук з карбоном (подвійних та потрійних карбідів) у формі порошків та покриттів, що дозволить значно розширити галузі його застосування.

Список використаної літератури

1. Internal-strain-controlled tungsten bronze structural ceramics for 5G millimeter-wave metamaterials / L. Li et al. Journal of Materials Chemistry C. 2021. Vol. 9, Is. 40. P. 14359–14370.
2. Powering the future: tungsten (W) and electric vehicles. URL: <https://almonty.com/2023/03/10/powering-the-future-tungsten-w-and-electric-vehicles/> (дата звернення: 13.02.2024)
3. Tungsten-based materials market size, share, industry, forecast and outlook (2024–2031). URL: <https://www.datamintelligence.com/research-report/tungsten-based-materials-market> (дата звернення: 13.02.2024).
4. Електрохімічний синтез карбідів вольфраму в сольових розплавах для електрокаталізу / І. А. Новоселова та ін. Український хімічний журнал. 2016. т. 82, № 11. С. 67–76.
5. Електровідновлення дивольфрамат- та карбонат-аніонів у хлоридному розплаві / І. А. Новоселова та ін. Український хімічний журнал. 2021. т. 87, № 12. С. 97–108.
6. Bosenko O., Kuleshov S., Bykov V., Omel'chuk A. Electrochemical reduction of tungsten (VI) oxide from a eutectic melt $\text{CaCl}_2\text{--NaCl}$ under potentiostatic conditions. Journal of the Serbian Chemical Society. 2022. Vol. 87, (7–8). P. 897–889.
7. Кулешов С. В., Новоселова І. А., Медвежинська О. В. Каталізатори електролітичного виділення водню на основі сполук вольфраму та вуглецю. Український хімічний журнал. 2023. т. 89, № 6. С. 79–96.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИРОДНИХ СОРБЕНТІВ У ВИДАЛЕННІ НАФТОЗАБРУДНЕНЬ З ВОДОЙМ

Лисенко М. О.

Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка

Сучасний темп використання та видобутку нафтових продуктів по всьому світу передусім виникненню проблеми очищення природних вод від нафтових забруднень. Основною проблемою залишається незаконний скид нафтових відпрацювань у природні водойми, внаслідок чого ґрунтові води втрачають свої нормальні органолептичні показники. З цією метою широко проводяться дослідження по очищенню води від нафтозабруднень шляхом використання сорбентів природнього походження.

Широкого використання набули сорбенти органічного походження. У якості таких сорбентів часто використовують деревні опилки, зернові продукти у висушеному стані, відходи з виробництва льону, макулатуру або папір, шерсть. При аналізі літературних джерел було виявлено, що найкращим сорбентом з-поміж перерахованих вище сорбентів є шерсть. Такий сорбент має можливість поглинути від 8 до 10 кг нафти на 1 тону шерсті. Завдяки структурі шерсті, вона легко піддається віджиму летких нафтових продуктів, але швидко стає непридатною для подальшого використання.[3]

Більш ефективним для очистки водойм вважається хітозан, що здатен сорбувати забруднення на високому рівні.

Хітозан – природний поліаміносахарид, що має лінійну будову. Отримують хітозан переважно з панцирів ракоподібних. Має вигляд дрібного порошку кремового відтінку без запаху та смаку. Особливістю даної речовини є те, що вона містить велику кількість вільних аміногруп, що зв'язують вільні протони та набувають позитивного заряду. Хітозан погано розчинний у воді, однак за рахунок високої поверхневої активності та адсорбційної