

ЗМІСТ

Передмова	7
Розділ 1. Загальна характеристика гідрометалургійних процесів	9
1.1. Зміст гідрометалургійного процесу.....	9
1.2. Головні стадії гідрометалургійних процесів та їх стисла характеристика.....	10
Запитання для самоконтролю	14
Розділ 2. Підготовлення металовмісної сировини до перероблення	15
2.1. Механічне підготовлення сировини.....	15
2.1.1. Кількісні показники збагачування.....	18
2.1.2. Традиційні методи збагачення сировини.....	20
2.1.3. Спеціальні методи збагачення сировини	35
2.2. Зміна хімічного складу сировини.....	46
Запитання для самоконтролю	51
Розділ 3. Процеси вилугування	53
3.1. Суть методу	53
3.2. Термодинаміка вилугування	53
3.2.1. Термодинаміка простого розчинення.....	54
3.2.2. Термодинаміка вилугування, що відбувається внаслідок хімічної взаємодії (хімічне вилугування)	60
3.3. Кінетика вилугування	73
3.3.1. Стадії вилугування як гетерогенного процесу	73
3.3.2. Швидкість вилугування як гетерогенного процесу за участю твердої та рідкої фаз	76
3.3.3. Кінетичні моделі процесів вилугування	77
3.3.4. Вилугування за участю газофазного реагенту	89
3.4. Середовища, які використовують у процесах вилугування.....	92
3.4.1. Вода у процесах вилугування.....	92
3.4.2. Реагенти для хімічного вилугування.....	93
3.4.2.1. Застосування кислот для вилугування.....	93
3.4.2.2. Застосування лугів у процесах вилугування	95

3.4.2.3. Застосування розчинів солей у процесах вилуговування	96
3.4.3. Бактеріальне вилуговування	98
3.4.3.1. Мікроорганізми та їх застосування у гідрометалургії	98
3.4.3.2. Біосорбенти на основі біомаси мікроорганізмів	103
3.4.3.3. Амальгамне вилуговування	105
3.5. Приклади вилуговування металів із сировини різного хімічного складу	105
3.5.1. Вилуговування алюмінію із бокситових руд	106
3.5.2. Вилуговування міді із куприту	107
3.5.3. Вилуговування молібдену із його оксидів розчинами аміаку	108
3.5.4. Вилуговування оксидів урану із уранових руд	109
3.5.5. Вилуговування вольфраму із шестіту	111
3.5.6. Вилуговування сульфідів у присутності кисню	112
3.6. Промислові методи вилуговування	114
3.6.1. Вилуговування підземне	114
3.6.2. Купчасте вилуговування	117
3.6.3. Чанове вилуговування	119
3.6.4. Агітаційне вилуговування	120
Запитання для самоконтролю	128
Розділ 4. Концентрування розчинів вилуговування	130
4.1. Процеси йонного обміну в гідрометалургії	131
4.1.1. Загальні відомості, зміст методу	131
4.1.2. Характеристика іонітів	132
4.1.3. Класифікація іонітів	133
4.1.4. Кінетика йонного обміну	136
4.1.5. Динаміка йонного обміну в нерухомому шарі	137
4.1.6. Регенерація іонітів – концентрування розчинів	139
4.1.7. Обладнання для здійснення йоннообмінних процесів	141
4.2. Процеси рідинної екстракції у гідрометалургії	144
4.2.1. Суть методу та сфери його застосування	144
4.2.2. Класифікація екстрагентів та види екстракції	150

4.2.2.1. Екстракція нейтральними екстрагентами	151
4.2.2.2. Аніонообмінна екстракція	156
4.2.2.3. Катіонообмінна екстракція	157
4.2.3. Основні промислові способи здійснення екстракції	159
4.2.4. Реекстракція	164
4.3. Мембранні процеси у гідрометалургії	165
Питання для самоконтролю	167

Розділ 5. Одержання металів та їх сполук із водних розчинів..... 169

5.1. Одержання металів цементациєю	169
5.1.1. Зміст методу цементациї та сфери її застосування	169
5.1.2. Термодинамічні засади процесу цементациї	171
5.1.3. Механізм цементациї	173
5.1.4. Періоди процесу цементациї	178
5.1.5. Вплив різних чинників на перебіг цементациї	181
5.1.5.1. Вплив природи металу-цементатора	182
5.1.5.2. Вплив складу металу-цементатора	184
5.1.5.3. Вплив мети здійснення цементациї на вибір металу-цементатора	185
5.1.5.4. Вплив стану поверхні металу-цементатора	186
5.1.5.5. Вплив складу розчину вилуговування	189
5.1.5.6. Вплив концентрації йонів металу, який цементують	189
5.1.5.7. Вплив індиферентних йонів	190
5.1.5.8. Вплив значення pH електроліту	191
5.1.5.9. Вплив поверхнево-активних речовин	193
5.1.5.10. Вплив розчинених газів	194
5.1.5.11. Вплив температури	195
5.1.6. Синтез наноструктур та модифікація поверхні методом цементациї (гальванічного заміщення)	197
5.1.7. Обладнання для здійснення цементациї	199
5.2. Виділення металів та їх оксидів із розчинів електролітів відновленням газами	206
5.2.1. Осадження металів та їх оксидів воднем	207
5.2.2. Осадження металів вуглецю (II) оксидом	218

5.2.3. Осадження металів сірки (IV) оксидом	220
5.2.4. Обладнання для одержання металів відновленням газами.....	222
5.3. Реагентне осадження металів у вигляді малорозчинних сполук.....	223
5.3.1. Теоретичні основи процесу.....	223
5.3.2. Осадження гідроксидів металів із розчинів	230
5.3.3. Осадження металів у вигляді малорозчинних сульфідів	235
5.3.4. Термічне осадження металів із водних розчинів	239
5.3.5. Обладнання для реагентного осадження металів у вигляді малорозчинних сполук	241
Запитання для самоперевірки.....	242
Розділ 6. Інтенсифікація гідрометалургійних процесів.....	243
Запитання для самоконтролю.....	258
Розділ 7. Приклади реалізації типових гідрометалургійних технологій.....	260
7.1. Технологія комплексного перероблення мідно-нікелевих руд	260
7.2. Перероблення уранової руди	262
7.3. Біологічне вилуговування золота	265
7.4. Отримання золота, срібла та металів платинової групи із концентратів	267
7.5. Перероблення анодних шлаків (ІНКО-процес)	269
7.6. Перероблення мідно-нікелевого файнштейну (MRR-процес).....	270
Список літератури.....	273
Предметний покажчик	274

ПЕРЕДМОВА

Метали використовують у всіх без винятку сферах нашого життя. Із розвитком світової економіки їх споживання дедалі зростає. Разом із традиційним використанням металів для виробництва матеріалів найрізноманітнішого призначення (від залізничних мостів та будівельних конструкцій до літаків та хірургічних інструментів) з'являються усе нові сфери їх застосування, що зумовлено синтезом металевих наноматеріалів та нанокомпозитів із особливими функційними властивостями. Неоціненна роль кольорових металів у підвищенні обороноздатності країни.

Водночас, зі збільшенням обсягів та номенклатури металів, які використовують у різних галузях економіки, дедалі гострішим стає питання сировинної бази для їх отримання. Із кожним роком у сферу виробництва залучають природну сировину із усе меншим вмістом металів. Традиційні пірометалургійні виробництва – потужні джерела забруднення довкілля пилом, кислотоутворювальними та парниковими газами. До того ж здебільшого такі виробництва належать до вельми енергоємких. Тому роль гідрометалургійних технологій у загальному балансі виробництва металів, передусім, кольорових, шляхетних, рідкісноземельних, трансуранових, безумовно, зростатиме. Окрім значно меншої енергоємності, ці технології істотно безпечніші для навколишнього середовища, дають змогу економічно ефективніше переробляти низькоконцентровану природну та вторинну сировину за рахунок забезпечення глибини та повноти вилучення металів за низької температури. Застосування бактеріального вилуговування металів дає змогу практично

повністю відмовитись від хімічних реагентів, а відтак, уникнути забруднення природних водойм.

Гідрометалургійні процеси, наприклад, цементация та осадження газами металів із водних середовищ, дають можливість отримувати нанорозмірні матеріали із заданими властивостями. Чималий внесок у розвиток теорії та практики одержання таких матеріалів зробив професор кафедри хімії і технології неорганічних речовин Національного університету “Львівська політехніка”, лауреат Національної премії України ім. Б. Патона в галузі науки і техніки, доктор технічних наук Орест Кунтий зі своїми колегами.