

УДК 622.7

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук

(Україна, Полтава, Державний ВНЗ "Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка")

ВІТЧИЗНЯНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АДГЕЗІЙНОГО ЗБАГАЧЕННЯ ЗОЛОТА

Постановка проблеми та стан її вивчення. Розширення діапазону крупності перероблюваної сировини до мікронних і субмікронних фракцій обумовило необхідність пошуку нових способів збагачення золота з руд і розсипів. У кінці ХХ ст. за кордоном розроблено ряд способів адгезійного збагачення: процес CGA (Coal Gold Agglomeration) фірми British oil and minerals та Davy McKee, процес фірми Precious Mineral Technologies Pty Ltd, процес "Карбед" (Carbad) компанії Carbad Pty Ltd. та ін. [1-10]. З 1990 р. розпочато вітчизняні дослідження адгезійного збагачення золота і розробка основ відповідної технології. Роботи проводилися в Донецьку (Донецький політехнічний інститут, згодом – Донецький національний технічний університет), Києві (Інститут біоколоїдної хімії НАН України), а до кінця 1991 р. – і в Іркутську (ІРГИРЕДМЕТ – Іркутський науково-дослідницький інститут благородних і рідких металів і алмазов). Окремі результати цих досліджень публікувалися у вітчизняних наукових виданнях, деякі покладені в основу патентів України та Росії, але комплексного аналізу одержаних результатів та можливих шляхів розвитку досліджень не проводилося.

Мета статті – аналіз вітчизняних досліджень в галузі адгезійного збагачення золота, виокремлення його етапів та оцінка досягнутих результатів. Це дасть змогу опрацювати раціональні напрямки подальших дій вітчизняних фахівців зі збагачення корисних копалини для розвитку наукових основ і практики застосування процесу адгезійного збагачення золота, зокрема, для переробки українських золотоносних руд.

Виклад основного матеріалу

1-ий етап вітчизняних досліджень (російсько-український). За ініціативи ІРГИРЕДМЕТа у 1990-1991 рр. на кафедрі "Збагачення корисних копалин" Донецького політехнічного інституту була виконана замовлена ІРГИРЕДМЕТом науково-дослідна робота "Розробка режиму формування вуглемасляних гранул для процесу адгезійного вилучення золота" (А.Т. Єлішевич – науковий керівник, В.С. Білецький, П.В. Сергєєв, Ю.Л. Папушин – виконавці). Результатом цієї роботи стала режимна карта процесу масляної грануляції вугілля для одержання грануляту з раціональними для процесу адгезійного вилучення золота характеристиками. Рекомендовано як вихідне прийняти вугілля зольністю $A^d = 10\%$ крупністю $-0,074$ мм. Масляний агент – мазут марки М100, витрати якого були прямо пропорційні зовнішній питомій поверхні вугілля. Гранули одержували шляхом перемішування водо-вугле-масляної суміші в турбулент-

ному режимі протягом 10-15 хв. Середній еквівалентний діаметр одержаних вуглемасяних адгезійно активних гранул становив 2 мм. [11].

Для збагачення золота в якості вихідної взята руда родовища "Многовершинное" (ВО "Приморзолото") крупністю -100 мкм. Вміст золота у вихідній руді становив 7,0 г/т. Суміш вода-руда-гранули перемішувалася в турбулентному режимі. Пропорція руда:гранули = 92,5:7,5 на суху масу. Після агітації суміші вилучення золота в гранули складало понад 70% [12-14]. Випробовування виконані на лабораторно-полігонній базі ИРГИРЕДМЕТА за участі В.С.Білецького. За результатами досліджень і випробовувань одержано патент Росії на "Способ вилучення золота з руд і розсипів"[14], що і завершило 1-ий етап досліджень.

2-ий етап вітчизняних досліджень (український). Цей етап розпочався в 1993 р. і продовжувався до 2000 р. – це основний етап вітчизняних емпіричних та теоретичних досліджень процесу адгезійного збагачення золота (керівник НДР – В.С. Білецький). Його результати такі [15, 16].

Емпіричні дослідження [15] виконувалися в основному у 1993 р.

По-перше, в Донецькому політехнічному інституті (В.С. Білецький, А.І. Самойлов) – випробовування золотоносних руд на збагачуваність адгезійним методом на вуглемасяних гранулах-носіях в різних режимах їх пелетування і на різних маслах-зв'язуючи. Досліджені руди "мужіївська", "капітанка" та сульфідна киргизька руда. Встановлені раціональні режимні параметри пелетування гранул: витрати реагенту-зв'язуючого, гранулометричний склад вихідного вугілля, концентрація гідросуміші і тривалість пелетування, інтенсивність агітації гідросуміші. Раціональні параметри масляної агломерації вугілля: крупність вихідного вугілля 100-0 мкм; концентрація гідросуміші 150-250 г/л; частота обертання мішалки 1000-1500 хв⁻¹; тривалість агітації 7-10 хв. Раціональне масло-зв'язуючи (мазут, гас, ААР, брикетин+ААР, компресорне масло та ін.) підбирається для окремих руд індивідуально. Крім того, запропоновані раціональні схемні рішення процесу адгезійного збагачення золота, зокрема, з перемішувальною флотацією (рисунок).

Спеціальні та комбіновані методи



Послідовність операцій та режими процесу адгезійного вилучення Au при використанні попередньо приготовлених вуглемасляних гранул-носіїв.

По-друге, в Інституті біоколоїдної хімії НАН України виконані експериментальні роботи (В.С. Білецький, В.Г. Степаненко) по концентрації на поверхні вуглемасляних гранул надтонких частинок золота. Для цього використовувався гель золота з часточками крупністю 20-30 нм. Показано, що така концентрація частково відбувається, але процес радикально інтенсифікується при модифікуванні поверхні вуглемасляних гранул краун-етером.

Теоретичні дослідження [16] виконувалися в основному у 2000 р. у Донецькому державному технічному університеті (В.С. Білецький, П.В. Сергєєв). Виконано аналіз теоретичних основ механізму отримання вуглемасляних гранул-носіїв, зокрема феноменологічної схеми, субпроцесів адгезійного контакту

"вугілля-масло" й елементарного акту вуглемалярної агрегації та формування гранул-носіїв. Крім того, методом планованого експерименту одержано статистичні математичні моделі, які описують картину впливу ряду факторів на липкість вуглемалярних гранул. [17].

3-ий етап вітчизняних досліджень (розвиток технології і випробовування її на різних рудах). На цьому етапі, який розпочався у 2000 р., розроблену технологію запропоновано для збагачення золотовмісних руд Алжиру (А. Кхелуфі, В.М. Самилін, В.С. Білецький) [18].

Узагальнення вітчизняних досліджень адгезійного збагачення золота виконано в рамках магістерської роботи А.С. Грабовецької в ДонНТУ (керівник В.С. Білецький) [19]. Розвиток досліджень в рамках цієї роботи дозволив розробити нове технічне рішення, яке захищене патентом України [20]. Новий спосіб вилучення золота з руд і розсипів включає перемішування золоторудної пульпи з вуглемалярними гранулами-носіями, безперервну подачу зв'язуючого пульпу реагента, відокремлення навантажених золотом гранул-носіїв від пульпи на грохоті, флотацію пульпи і відрізняється тим, що перемішування ведуть при турбулентності, яка оцінюється числом Рейнольдса Re в межах 900-12000 [20]. Цим досягається використання різних механізмів зустрічі адгезійно активних вуглемалярних гранул-носіїв та зерен золота.

В роботах [21-22] виконано узагальнення одержаних результатів дослідження процесу адгезійного збагачення золота та акцентовано увагу на перспективних напрямках подальших досліджень, зокрема, застосування краун-етерів для модифікації поверхні гранул-носіїв з метою підвищення ефективності вилучення ультрамікронного золота.

Висновки

1. Вітчизняні дослідження процесу адгезійного збагачення золота ведуться з 1990 р. Виконано 3 госпдоговірні та бюджетні науково-дослідні роботи в Донецькому національному технічному університеті, Інституті біоколоїдної хімії НАН України та ИРГИРЕДМЕТ. Результати цих робіт опубліковані в 10 статтях та доповідях конференцій, а також стали основою для одержання патентів України та Росії на технологію.

2. Вітчизняний технологічний процес адгезійного збагачення золота розроблений на рівні лабораторно-полігонних досліджень і потребує промислової апробації. Він вигідно відрізняється від вилуговування кращими екологічними показниками, які порівнюються до вугільних флотаційних технологій.

3. Процес адгезійного збагачення золота належить до наукоємних фізико-хімічних технологій і має перспективу розвитку шляхом підбору раціональних речовин-модифікаторів поверхні адгезійно активних вуглемалярних гранул-носіїв. Перспективним у цьому плані є краун-етер. Механізм його дії як концентратора ультрамікронного золота потребує подальшого вивчення.

Список літератури

1. Лицензия на угольно-агломерационный процесс извлечения золота // Mining J. – 1990. – 314, № 8066. – P. 297-298.
2. Bonny C.F. Coal-Gold Agglomeration // Rand. Gold Conf. – Arisona, USA – 1988., 23-24 January.
3. House C.J., Townsend I.G., Veal C.J. Напівпромислова переробка хвостів шляхом агломерації вугілля-золото // Rand. Int. Gold Conf. – Australia, 1988. – November.
4. House C.J., Townsend I.G., Veal C.I. Coal Gold Agglomeration // Int. Mining – 1988. – September. – P. 17-19.
5. Bellamy S.A., House C.J., Veal C.J. Вилучення тонкого золота з розсипів шляхом агломерації вугілля-золото // Gold Forum on Technology and Practices: "World Gold-89". – Litterton, Colorado, USA. – 1989. – P. 347-352.
6. Coal-Gold Agglomeration // Mining J. – 1990. – 314, №8070. – P. 382.
7. Cadzow M., Lamb R. Carbad Gold Recovery // Gold Forum "World Gold-89". – Litterton, Colorado, USA. – 1989. – P. 375-379.
8. Патент 589291 Австралії. МКІ В03J 05/00. Вилучення алмазів та благородних металів / Mainwaring D., Cadzow M. Precious Mineral Technologies Pty Ltd - №77231/87. Заявл. 21.08.86. Опубл. 05.10.89.
9. Mcclelland G.E., Hill S.D. Вилучення срібла і золота з низькосортної сировини // Mining Congress Journal. – 1981. – P. 17-41.
10. Sandhurst project to recover gold from Australian tailings // Eng. and Mining J. – 1987. – 188, №1. – P. 14-15.
11. Разработка режима формирования углемасляных гранул для процесса адгезионного извлечения золота: Отчет о НИР (заключительный), Донец. политехн. ин-т; рук. А.Т. Елишевич; исполн.: В.С.Белецкий, П.В.Сергеев, Ю.Л.Папушин – Донецк, 1992. – 76 с.
12. Разработка экологически безопасной технологии извлечения золота из рудного сырья на основе процесса адгезии // В. С. Белецкий, В. П. Бескровная, Г. Б. Рашковский и др. // СибЭко'93: Междунар. конф. по экологии Сибири. Ч. 2 / Иркут. политехн. ин-т, Ун-т г. Мишкольц. – Иркутск, 1993. – С. 6-7.
13. Белецкий В.С., Елишевич А.Т. Адгезионный метод извлечения золота из руд и россыпей // Благородные и редкие металлы: Сб. информ. материалов междунар. конф. "БРМ-94", 19-22 сент. 1994 г., Донецк. Ч. 1. / Междунар. инженер. акад., Гос. ком. Украины по вопр. науки и технологии, М-во финансов Украины и др. – Донецк, 1994. – С.25-26.
14. Патент Росії № 2047381. Российская Федерация, МПК В03В7/00. Способ извлечения золота из руд и россыпей / Белецкий В.С. [UA], Рашковский Г.Б. [RU], Елишевич А.Т. [UA], Зборщик М.П. [UA], Чернов В.К. [RU], Тихонова О.Н. [RU]; заявители Иркутский государственный научно-исследовательский институт редких и цветных металлов ("Ир Гиредмет") и Донецкий политехнический институт (Украина). – Заявка № 92009366/03; опубл. 10.11.1995; приоритет 21.12.1992. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.freepatent.ru/patents/2047381> <http://ru-patent.info/20/45-49/2047381.html>
15. ГР UA01001064Р Исследование процессов масляной агломерации угля как основы адгезионного обогащения золота: отчет о НИР (заключительный) / Донец. политехн. ин-т; рук. В.С.Белецкий; исполн.: А.И.Самойлов – Донецк, 1993. – 79 с.
16. ДР 0199U001117 Розробка наукових основ процесу адгезійного збагачення тонкодисперсного золота / Донецьк. держ. політехн. ун-т; керівн. В.С. Білецький; відп. викон. П.В. Сергеев – Донецьк, 2000. – 90 с.
17. Математичне моделювання процесу адгезійного контакту "вуглемасляна речовина – золото" / В. С. Білецький, П. В. Сергеев // Наук. пр. Донец. держ. техн. ун-ту. Сер. гірничо-електромеханічна. – Донецьк, 2002. – Вип. 42. – С. 39-42.

Спеціальні та комбіновані методи

18. Кхелуфи А., Самылин В.Н., Белецкий В.С. Технические решения для обогащения золотосодержащих руд Алжира // Благородные и редкие металлы: Сб. информ. материалов 3-й междунар. конф. "БРМ-2000", Донецк – Святогорск, 19-22 сент. 2000 г. – Донецк, 2000. – С. 173.

19. Грабовецька А.С. Дослідження та розробка основ адгезійної технології збагачення золота (магістерська робота). – ДонНТУ, 2007. – 101 с.

20. Патент України № 31453. МПК⁷В03В7/00. Спосіб вилучення золота з руд і розсіпів / Білецький В.С., Грабовецька А.С.; заявник і власник патенту Донецький державний технічний університет. – № 4200713430; заявл. 03.12.2007; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7. – 2 с.

21. Самилін В. Технологія розробки тонкозернистої фракції золотовмісних руд / В. Самилін, С. Самилін, В. Білецький // Донец. вісн. Наук. т-ва ім. Шевченка. – Донецьк, 2010. – Т. 29. – С. 113-122.

22. Білецький В.С. Випробування процесу адгезійного збагачення золота та використання краун-етеру для його інтенсифікації. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 58(99)-59(100). – С. 201-206.

© Білецький В.С., 2015

*Надійшла до редколегії 20.08.2015 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*