

Толстов О.С., учень 9-класу КЗО «НМЛ «Дніпро» ДОР, МАН
Науковий керівник: Клімкіна І.І., к.б.н., доцент кафедри екології
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна)

МІКРОБІОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕСУЛЬФОРИЗАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

Усі види палива, незалежно від його походження та ступеня метаморфізму містять в собі сірку у вигляді різноманітних сполук. Сірка у вугіллі виступає як шкідливий домішок – при спалюванні кам'яного вугілля утворюються газоподібні сполуки сірки, що забруднюють атмосферу. З атмосфери сірчана кислота випадає на поверхню землі у вигляді сірчано-кислих дощів. За деякими даними, у деяких країнах Західної Європи за рік на 1 га поверхні землі з дощами випадає до 300 кг сірчаної кислоти. При коксуванні кам'яного вугілля у кокс потрапляє до 80–90 % сірки, що у наступному призводить до погіршення якості металургійної продукції [1].

Тому ставиться питання про необхідність переробки бідних (забалансових) руд, удосконалення існуючих та розроблення нових методів збагачення на основі бактеріального вилуговування, при цьому дуже важливо враховувати необхідність економії енергії, заміни існуючих технологій та охорони навколишнього середовища.

Бактеріальне вилуговування кольорових та рідкісних металів доцільно використовувати не лише для бідних і забалансових руд та відвалів гірничо-металургійних підприємств, але і для руд зі складним речовим складом, комплексним і поліметалічним рудам з дуже тонкою вкрапленістю цінних компонентів.

Із 104 відомих на наш час елементів періодичної системи Менделєєва 60 здатні концентруватися або розсіюватися мікроорганізмами, інші 21 елементи (за винятком 6 інертних газів та 17 штучно отриманих) через незначну відомість поки що не можуть бути впевнено віднесені до сфери мікробіологічних перетворень [1].

У сферу перетворених мікроорганізмами сполук потрапляють практично всі елементи, з яких складаються мінерали кольорових і рідких металів: *Cu, Zn, Pb, As, S, Ca, Na, Si* та ін. Тому, очевидно, що мінерали, що виступають як джерело харчування для мікроорганізмів (сульфіди, самородні метали), можуть взаємодіяти з продуктами їх метаболізму (окислені мінерали, благородні метали, силікати) або вилужуватися, а коштовні метали і елементи вилучатися з розчинів. Виявлено, що бактерії окислюють мідь, цинк, свинець, нікель, сурму, вісмут, молібден та інші [1]. Визначено їх використання з метою десульфуризації вугілля, що набуває важливого значення як для вугільної та металургійної промисловості, так і для охорони навколишнього середовища

Сполуки сірки у камяному вугіллі представлені складним комплексом органічних і неорганічних сполук. Неорганічна сірка представлена трьома компонентами (піритна, сульфатна, елементарна) і зустрічається у двох станах – окисленому та відновлюваному. Відновлені сполуки сірки представлені сульфідами металів. Сульфіди існують у вугіллі у вигляді піриту, рідше марказиту (вони мають однаковий склад – FeS_2 і різну кристалічну структуру). Пірит виступає постійним компонентом вугільного пласту, а на окремих ділянках його вміст досягає 10–20 %. Значно рідше, не більше 0,1 % неорганічна сірка зустрічається у вигляді сульфатів, насамперед гіпсу CaSO_4 та сірчано-кислого заліза FeSO_4 . Високий вміст сульфатної сірки свідчить про окислюючі процеси у вугіллі (частина піритної сірки переходить у сульфатну). Органічна сірка, що міститься у вугіллі, представлена сумішшю сіркоорганічних сполук. Органічну сірку визначають як сумарну кількість сірки, приєднаної до органічної речовини різними типами зв'язків, які стійкі у водяних розчинах (кислих і лужних) і руйнуються лише під час термообробки.

Піритна сірка – основний вид сірчаних сполук у вугіллі, на її долю у середньому приходиться 62 % загального вмісту сірки. Форми включень сірчаного колчедану у вугільні пласти різноманітні. Пірит, сформований у період вугленакопичення, розподіляється по вугільній речовині рівномірно, у тонко дисперсній формі і, як правило, пов'язаний з органічною масою вугілля [1]. Сульфатна сірка в українському вугіллі міститься у незначній кількості (до 0,1 %), частіше зустрічається у вугіллі, що довго зберігається на поверхні. Ця форма сірки – результат окислення піриту, у вугіллі вона у вигляді тонких додавань з гіпсу. Елементарна сірка – залишки сірки що не прореагувала з вугіллям, вона розподіляється у вигляді тонко дисперсних сполук. У вугіллі її близько 0,15 %. Нижня межа вмісту загальної сірки у вугіллі у всьому світі знаходиться близько 0,2 – 0,3 %, а верхній – близько 10 % [1, 2]. Жовта елементарна сірка являє собою кільце з восьми атомів (C₈); вона погано розчиняється у воді [1].

Хімічні методи, засновані на дії окислювальних і рідше відновлювальних агентів, призводять до переведення сірки у газоподібні чи розчинні у водних середовищах продукти. Наприклад, пароповітряна обробка вугілля Донбасу при 200–350 °C переводить 55 % початкової кількості сірки у SO₂. Під дією водних розчинів окислювачів (наприклад, азотної кислоти) з вугілля вилучається практично вся неорганічна та більше 70 % органічних сполук сірки [1, 2]. Наступне вилучення сірки відбувається при його коксуванні, коли сірка переходить у газ. При цьому видаляється 18–20 % сірки, залишок переходить у кокс [1, 2].

Для десульфурізації вугілля може бути застосований штам *Acidithiobacillus ferrooxidans* як характерний представник хемолітоавтотрофів, який не вимагає коштовних мінеральних речовин і додаткових факторів росту, окислює двовалентне залізо у трьохвалентне, елементарну і сульфідну сірку до сульфатів, що сприяє її виносу з руди [1–4]. Визначено [12], що десульфурізація пласта вугілля з вмістом загальної сірки 3,85 % складала 3,44 % і була обумовлена виносом лише піритної сірки. При цьому, піритна сірка вилучалася на 35,78 %, а вміст загальної сірки визначеного пласта зменшувався на 60,08%. Відсоток вилучення піритної сірки склав 72,73 %. Вміст органічної сірки даного пласту знижувався на 45,95 %. При дії *Acidithiobacillus ferrooxidans* піритна сірка вилучалася краще, ніж органічна (72,73 % проти 45,95 %).

Показано метод удосконалення флотаційного знесірчення, що базується на обробленні вугілля бактеріями (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) [4]. Суть методу – введення в склад піриту бактеріальних клітин з відмінними гідрофільними властивостями (збільшується гідрофільність піриту). Як наслідок, зростає ступінь відділення піриту від вугільної маси. Таким чином, застосування сучасних методів знесірчення вугілля на підставі біотехнологічних методів з використанням мікроорганізмів є перспективним з точки зору вирішення як технологічних, так і екологічних проблем.

Список використаних джерел:

1. Блайда І.А., Васильєва Т.В. Бактеріальна десульфурізація вугілля // Мікробіологія і біотехнологія. – 2017. – № 3. – С. 6–23. DOI: [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2017.3\(39\).110877](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2017.3(39).110877)

2. N. Vasylieva, T. Brodiazhenko, T. Vasylieva, N. Limanska, I. Marinova, I. Blyayda. Поліморфізм штамів *Acidithiobacillus ferrooxidans*, ізольованих із відходів вугільної та енергетичної промисловості України // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. – 2020. - № 82. – С. 80–88. <https://doi.org/10.30970/vlubs.2020.82.06> , ISSN 0206-5657

3. Valdés J. Pedroso I., Quatrini R., Dodson R. J., Tettelin H., Blake R., Eisen J. A., Holmes D. S. *Acidithiobacillus ferrooxidans* metabolism: from genome sequence to industrial application // BMC Genom. 2008. No. 9(1). P. 597–620.

4. Hołda A. and Młynarczykowska A. (2014) Bioflotation as an Alternative Method for Desulphurization of Fine Coals – Part I. Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 7, 263–268.