

## Реферат

наукової роботи Антоненко (Савченко) Т.С. *«Низькоенергетичний синтез магнетиту з слабомагнітних оксидів/гідроксидів заліза різного походження»*

**Актуальність теми дослідження.** Наукова робота пов'язана з синтезом магнітних зразків, перетворенням структури і магнітних властивостей синтетичних та природних гетиту і гематиту на магнетит у водному та вологому середовищі, під впливом різних зовнішніх чинників (тиск, температура, надвисокочастотне випромінювання та ін.), та використанням отриманих результатів для розробки і удосконалення методів перетворення окиснених залізних руд та відходів гірничо-збагачувальних комбінатів для виробництва залізрудних концентратів.

Тема виробництва залізрудних концентратів з гетитових та гематитових руд є актуальною уже впродовж декількох десятиріч. Для їх перетворення на сильномагнітний магнетит використовують різного роду відновники, високі температури, тиски, солі та луки. Перетворення слабомагнітних мінералів, гематиту та гетиту, на магнетит, відіграють дуже важливу роль для розширення мінерально-сировинної бази металургійного комплексу України. Перспективним джерелом гематит- та гетитвмісної сировини на сьогодні є окиснені залізні руди, які знаходяться у відвалах та хвостосховищах, що негативно впливає на екологічну ситуації території України, особливо Криворіжжя. Також такі поклади характерні для Німеччини (Рурський регіон) та Болгарії (Креніковичі). Поклади окиснених залізних руд характеризуються високою дисперсністю частинок, мають різноманітний мінеральний склад, що унеможлиблює ефективне їх перетворення існуючими методами. Однак, такі поклади не потребують подрібнення, що уже зменшує собівартість їх переробки.

На сьогодні, в результаті експлуатації родовищ, запаси залізних руд в Україні, що не потребують збагачення, вичерпуються. Підвищення ефективності використання залізних руд, зменшення відходів їх використання, які шкідливо впливають на довкілля, потребує постійного вдосконалення методів переробки та збагачення.

Не дивлячись на наявність значної кількості способів перетворення структури та магнітних властивостей слабомагнітних залізовмісних мінералів, механізми таких

перетворень досліджені недостатньо, а пошуки найбільш оптимальних способів перетворення слабомагнітних мінералів заліза на сильномагнітний магнетит продовжуються.

Отже, **мета роботи** – синтез магнітних зразків з слабомагнітних оксидів та гідроксидів заліза різного походження, визначення закономірностей утворення магнітних зразків в залежності від зовнішніх впливів, а також розробка, на основі отриманих результатів, рекомендацій щодо перетворення слабомагнітних мінералів заліза на сильномагнітні з метою створення залізородних концентратів.

У якості **об'єктів дослідження** використано синтетичні мінерали гетиту і гематиту, а також зразки природних гетиту і гематиту, представлені гетитовими і гематитовими рудами Криворізького та Керченського залізородних басейнів і відходи ГЗК (хвостосховище шахти «Північна» ім. В.А. Валявка).

**Методи дослідження** – комплекс аналітичних методів: 1) магнітометрія (магнітометр з датчиками Холла): визначення питомої намагніченості насичення вихідних та отриманих зразків; 2) термомагнітний аналіз (лабораторна установка): встановлення магнітних мінеральних фаз за температурою Кюрі; 3) багатофункціональний мікрохвильовий пристрій (Anton Paar Multiwave PRO): проведення перетворень оксидів та гідроксидів заліза в присутності надвисокочастотного випромінювання та під тиском; 4) рентгенофазовий аналіз (дифрактометр «ДРОН – 3М»): ідентифікація кристалічних речовин (фаз), що входять до складу зразків; 5) оптична мікроскопія (поляризаційні мікроскопи «Полам РП-1» та «Nikon eclipse LV 100pol»): визначення структури, текстури та мінерального складу слабомагнітних окиснених залізних руд; 6) скануюча електронна мікроскопія (скануючий електронний мікроскоп JSM-6700M): визначення морфології та розміру частинок синтетичних оксидів та гідроксидів заліза; 7) рентгенофлуоресцентний аналіз (спектрометр Thermo ARL Optim'X): визначення хімічного складу зразків; 8) спектрофотометрія (Spekol 1200): визначення кількості осадженого двовалентного заліза на поверхні зразків залізних руд; 9) Месбауерівська спектроскопія (спектрофотометр електродинамічного типу з джерелом  $\gamma$ -випромінювання  $^{57}\text{Co}$  (Cr)): визначення взаємного розташування іонів заліза в кристалічній ґратці.

**Основні результати наукової роботи.** Розроблено експериментальні способи синтезу магнетиту з слабомагнітних мінералів, гетиту і гематиту. Перетворення структури та магнітних характеристик зразків синтетичних та природних гетиту і гематиту відбувається шляхом нагрівання до температур менше 100 °С та під впливом надвисокочастотного випромінювання за присутності солі (сульфат заліза (II)) та основи (гідроксид амонію).

Показано, що після обробки гетиту і гематиту у водному розчині двовалентного заліза та гідроксиду амонію, слабомагнітні мінерали частково перетворюються на магнетит. Намагніченість отриманих зразків зростає в десятки разів та досягає 14  $A \cdot m^2/kg$  для зразка природного гематиту (гематитової руди Криворізького залізорудного басейну). Намагніченість насичення для зразків, отриманих з синтетичних мінералів склала 15-21  $A \cdot m^2/kg$ . За даними термомагнітного аналізу температура Кюрі є близькою до магнетита.

Досліджено процеси перетворення оксидів і гідроксидів заліза та зміну їх магнітних характеристик в залежності від співвідношення дво- та тривалентного заліза в лужному середовищі. Показано, що розмір синтезованих частинок лежить в діапазоні 9-30 нм, а намагніченість насичення змінюється від 19 до 65  $A \cdot m^2/kg$ . Показано, що в зразках із співвідношенням  $Fe^{3+}/Fe^{2+} > 2$  кількість наномагнетиту майже не збільшується. Решта зразка складається з гематиту або аморфної фази.

Проведено перетворення структури та магнітних характеристик руд синтетичних та природних гетиту і гематиту, шляхом впливу надвисокочастотного випромінювання за присутності солей (сульфат заліза (II)) та основи (гідроксид амонію), в діапазоні температур 100-260 °С та підвищеного тиску. Показано, що після даної обробки слабомагнітні мінерали, гетит та гематит, перетворюються на магнетит. Зроблено висновок, що надвисокочастотне випромінювання підсилює швидкість та ефективність процесів перетворення мінералів у водному середовищі. Питома намагніченість насичення, визначена для магнітних зразків, отриманих із синтетичного гематиту, знаходилась у межах 17-23  $A \cdot m^2/kg$ . Питома намагніченість насичення, визначена для магнітних зразків, отриманих із природного гематиту, становила 21-27  $A \cdot m^2/kg$ . Значення намагніченості насичення, які нижчі, ніж намагніченість насичення для чистого магнетиту (92  $A \cdot m^2/kg$ ), ми пов'язуємо з

наявністю неперетвореного гематиту в утвореному зразку. Температура Кюрі, визначена кривою охолодження отриманого зразка, становила  $\sim 560$  °C для обох зразків, що є близькою до температури Кюрі магнетиту ( $580$  °C).

Розроблено спосіб перетворення структури та магнітних властивостей оксидів та гідроксидів заліза у присутності вологого гелю крохмалю під впливом надвисокочастотного випромінювання. Встановлено, що оптимальний вміст води для перетворення природного гематиту знаходиться в діапазоні 1-2,5 мл, а час підігріву суміші зразка з крохмалем – в діапазоні 4-6хв. Також визначено залежність значення питомої намагніченості насичення від маси вихідного зразка при сушінні протягом 5хв. Питома намагніченість зменшується зі збільшенням маси зразка для перетворення.

Проведено перетворення структури та магнітних властивостей оксидів та гідроксидів заліза у присутності вологого гелю крохмалю під впливом надвисокочастотного випромінювання в залежності від температури перетворення (діапазон перетворення  $130-360$  °C). Встановлено, що діапазона температур  $130-240$  °C недостатньо для перетворення. Показано, що за температури  $240-360$  °C відбувається поступове зростання значень питомої намагніченості насичення, тобто відбувається перетворення слабомагнітних мінералів на магнетит.

Досліджено методом спектрофотометрії кількість осадженого двовалентного заліза при проведенні синтезу магнетиту з природних гетиту та гематиту у водному середовищі. Отримані результати показують, що для всіх досліджуваних зразків на поверхні осаджується велика кількість двовалентного заліза. Отримані результати добре визначено кількість осадженого двовалентного заліза на поверхні зразків природного гематиту, представленого гематитовою рудою Криворізького залізорудного басейну з різним розміром зерен та встановлено, що кількість осадженого двовалентного заліза зменшується зі збільшенням розміру зерен, оскільки зі збільшенням розміру частинок зменшуються їх питома поверхня.

Досліджено поведінку руд різного типу зі зміною рН середовища. Поведінка залізних руд в розчинах дво- та тривалентного заліза суттєво відрізняється: в розчині двовалентного заліза стрімке зростання рН починається при додаванні 2 мл гідроксиду амонію, а в розчині тривалентного заліза – при додаванні 16 мл

гідроксиду амонію. Зроблено висновок, що при взаємодії зразка з  $\text{Fe}^{2+}$  відбувається явище сорбції солі гептагідрат сульфату заліза (II) на їх поверхні, тому кількість гідроксиду амонію витрачається на підвищення рН і він не потрібен для нейтралізації  $(\text{SO}_4)^{2-}$  груп в розчині.

На основі отриманих результатів зроблено та запропоновано основні механізми перетворення гетиту і гематиту на магнетит у водному середовищі, які полягають в наступному. Для реакції у водному середовищі, після осадження двовалентного заліза на поверхні залізистих мінералів відбувається процес осадження гідроксиду заліза  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  на поверхні оксидів та гідроксидів заліза за рахунок підвищення рН умов середовища. Після цього, відбувається обмін електронами між  $\text{Fe}^{2+}$  в розчині і  $\text{Fe}^{3+}$  в структурі мінералу. Реакції переносу електронів дестабілізують структуру оксиду чи гідроксиду заліза (III), що веде до вивільнення утвореного іона  $\text{Fe}^{3+}$  в розчин та утворення магнетиту в результаті термічного нагрівання. В реакції з вологим гелем крохмалю, крохмаль виступає, як відновник. Карбон віддає свій електрон і відновлює іони  $\text{Fe}^{3+}$  до зарядового стану  $\text{Fe}^{2+}$ . В результаті реакції утворюється магнетит, вода та вуглекислий газ.

Останнім часом, багато наукових досліджень стосуються перетворень магнітних властивостей та структури слабомагнітних оксидів та гідроксидів заліза в зв'язку з розробкою нових способів збагачення окислених залізних руд. В Кривому Розі наразі існує багато техногенних покладів (хвостосховищ), на яких складуються відходи збагачення залізистих кварцитів. Мінеральний склад хвостів представлено, в основному, кварцом, магнетитом і гематитом. В незначних кількостях присутні карбонати, силікати (хлорит, слюда, амфібол, піроксен і ін.), апатит і ін. З рудних мінералів можуть бути присутні пірит і золото дрібне і тонке в зростках з магнетитом. Отже, наступним завданням було дослідити синтез зразків зі хвостосховища шахти «Північна» ім. В.А. Валявка у сухому середовищі в присутності вуглеводів та використання отриманих результатів для їх подальшої утилізації.

Проведено перетворення зразка відходів зі хвостосховища шахти «Північна» ім. В.А. Валявка з розміром зерен менше 0,05 мм. Досліджено мінеральний склад вихідного зразка відходів методом рентгенофазового аналізу: гематит, кварц,

наявні сліди магнетиту (характерні піки, Å: 2,96, 2,52, 2,08, 1,48). Намагніченість насичення вихідного зразка становила  $\sim 1 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$ . Після перетворення зразка за температури  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , згідно даним методу рентгенофазового аналізу, вміст магнетиту в зразку значно зріс. Характерні піки отриманого зразка після перетворення (Å) (4,87, 2,97, 2,54, 2,43, 2,10, 1,71, 1,61, 1,48) були віднесені до магнетиту. Намагніченість насичення, визначена для зразка, після перетворення склала  $47,1 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{кг}$ .

Досліджено отримані магнітні зразки методом термомагнітного аналізу та визначено температуру Кюрі. Показано, що при нагріванні зразка до  $T \approx 400 \text{ }^\circ\text{C}$  його намагніченість насичення збільшується. Зростання намагніченості насичення з подальшим нагріванням зразка обумовлено збільшенням кількості магнетиту у пробі. Після  $T \approx 570 \text{ }^\circ\text{C}$  (температура Кюрі для магнетиту) намагніченість насичення зменшується, що пов'язано залежністю зменшення намагніченості магнетиту внаслідок зростання температури.

**Наукова новизна.** 1) Вперше виявлено, що нагрівання гетиту та гематиту у водному розчині двовалентного заліза під впливом надвисокочастотного випромінювання та підвищеного тиску, призводить до перетворення мінералів на магнетит; визначено, що наступні умови (10 % розчин двовалентного заліза, час 30 хв, температура  $260 \text{ }^\circ\text{C}$  та тиск 60 Бар) є оптимальними для перетворення гематиту та гетиту на магнетит; 2) вперше показано, що при нагріванні, в присутності вологого гелю крохмалю під впливом надвисокочастотного випромінювання, природний гематит перетворюється на магнетит; оптимальні умови перетворення наступні: час перетворення – 5 хв, час нагрівання суміші зразка з крохмалем – 4-6 хв, вміст води по відношенню до крохмалю в суміші – 1-2,5 мл, мінімальна температура перетворення суміші зразка з крохмалем –  $240 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 3) уточнено механізми перетворення синтетичних та природних оксидів і гідроксидів заліза у водному середовищі в присутності іонів заліза та гідроксиду амонію; визначено кількість осажденного двовалентного заліза на поверхні частинок природних гетиту і гематиту.

**Практична значимість** отриманих результатів полягає у розв'язанні як фундаментальних задач, пов'язаних з механізмами перетворення оксидів та гідроксидів заліза, так і прикладних задач, пов'язаних із переробкою окиснених залізних руд та відходів гірничо-збагачувальних комбінатів.

**Основні науково-технічні результати (у порівнянні з кращими вітчизняними та зарубіжними аналогами).** Автору не відомі вітчизняні роботи, які б в обсязі виконаних досліджень, розглядали цю тему. У відділі фізики мінеральних структур та біомінералогії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України вперше було розроблено метод низькоенергетичного перетворення магнітних властивостей слабomagнітних окиснених залізних руд і залізрудних відходів. За кордоном роботи за цією тематикою поширені, але методики перетворення гетиту і гематиту на магнетит суттєво відрізняються.

**Обсяг впровадження роботи.** Основні положення обговорювались у ряді доповідей на українських та міжнародних конференціях 2013-2020 рр.: Всеукраїнській конференції-школі «Сучасні проблеми геологічних наук» (Київ, 2013), Мінералогическому семинаре с международным участием «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии. Юшкинские чтения – 2013.» (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 2013), XI Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців» (Кривий Ріг, 2015), наукової конференції з міжнародною участю «Геохронологія та рудоносність докембрію та фанерозою» (Київ, 2015), міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, 2016, 2018), 6-th International conference «Nanomaterials: Applications&Properties» (Lviv, 2016), X наукових читаннях імені академіка Євгена Лазаренка (с. Чинадієве, 2016), X міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів» (Кривий Ріг, 2016), XI міжнародній науково-практичній конференції магістрантів та аспірантів (Харків, 2017), International research and practice conference: Nanotechnology and Nanomaterials (Chernivtsi, 2017), Ukrainian Conference with International participation «Chemistry, physics and technology of surface» (Kyiv, 2018), XX Українській

конференції з неорганічної хімії за участі закордонних учених (Дніпро, 2018), 6th International Conference: "Nanotechnologies and Nanomaterials" (Kyiv, 2018), 5th International Conference: "Nanotechnologies" (Tbilisi, Georgia, 2018), науковій конференції «Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні» (Київ, 2019), XIII International conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (Kyiv, 2019), IEEE 9th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, NAP 2019 (Odesa, 2019), International research and practice conference "Nanotechnology and nanomaterials" (NANO-2020) (Lviv, 2020), Міжнародній науковій конференції «Докембрій: породні асоціації та їхня рудоносність» (Київ, 2020), Ukrainian Conference with International Participation «Chemistry, physics and technology of surface», dedicated to the 90th birthday of Academician Aleksey Chuiko (Kyiv 2020).

Реалізація отриманих результатів полягала в участі у грантах Національної академії наук для молодих вчених «Закономірності синтезу магнетиту з гематиту або гетиту, локалізованих в залізних рудах, під впливом різних відновників» (№ держ. реєстрації 0115U003824) та «Закономірності перетворення кристалічної структури та магнітних характеристик оксидів і гідроксидів заліза під впливом зовнішніх факторів» (№ держ. реєстрації 0117U006213). Результати роботи виконано відповідно до планів науково-технічних робіт «Створення діючих установок для омагнічування слабомагнітних окислених залізних руд і відходів гірничо-збагачувальних комбінатів та визначення оптимальних режимів омагнічування, в зв'язку з удосконаленням технологій виробництва залізорудних концентратів з важко збагачувальної залізорудної сировини» (№ держ. реєстрації 0114U001611), «Розробка нових методів та створення комплексу лабораторного обладнання для виробництва залізорудних концентратів з бідних окислених залізних руд, з використанням омагнічування руд та наступної сепарації рудних і нерудних мінералів за допомогою магнітних вихорів» (№ держ. реєстрації 0115U002878), цільових та конкурсних програм «Вивчення природи перетворення слабомагнітних оксидів/оксигідроксидів заліза в сильномагнітні оксиди під дією зовнішніх впливів для удосконалення технологій переробки природної та техногенної мінеральної сировини» (№ держ. реєстрації 0114U002921),



«Перетворення магнітних властивостей нанорозмірних оксидів та гідроксидів заліза для оптимізації виробництва залізородних концентратів» (№ держ. реєстрації 0116U006400) та відомчої програми «Особливості структури оксидів і гідроксидів заліза різного походження та перетворення їх властивостей під впливом зовнішніх факторів» (№ держ. реєстрації 0117U000095), конкурсної програми «Розробка нових підходів до вирішення проблем, пов'язаних з використанням бідних окиснених залізних руд та відходів гірничо-збагачувальних комбінатів для виробництва конкурентоздатних залізородних концентратів та поліпшення екологічного стану довкілля» (№ держ. реєстрації 0120U103389).

Розроблені методики перетворення гетиту і гематиту на магнетит у водному середовищі є важливими для апробації нових способів виробництва залізородних концентратів з важкозбагачуваної залізородної сировини. Впровадження зазначених результатів наукової роботи відкриває нові можливості для виробництва якісних залізородних концентратів з окиснених залізних руд та відходів гірничо-збагачувальних комбінатів, дає можливість покращити екологічну ситуацію залізородних регіонів, а також дозволяє підвищити якість технологій збагачення залізних руд.

**Досягнутий економічний ефект.** Даний цикл робіт орієнтований на перетворення слабомагнітних мінералів, гетиту і гематиту, на магнетит. Отримані результати, за умов реалізації, посприяють розширенню мінерально-сировинної бази України (отримання магнетитового концентрату) та підвищенню ефективності використання залізних руд, зменшення відходів їх використання, які шкідливо впливають на довкілля.

**Кількість публікацій:** 31, в т.ч. 8 статей. Загальна кількість посилань на публікації авторів/ h-індекс роботи, згідно баз даних складає відповідно: Web of Science – 3 / 1, Google Shcolar – 17 / 2, Scopus – 2 / 1.

Автор висловлює свою подяку всім науковцям, що приймали участь у співпраці при виконанні даного циклу робіт.



**Перелік наукових публікацій Антоненко (Савченко) Т.С. які увійшли до наукової роботи «Низькоенергетичний синтез магнетиту з слабомагнітних оксидів/гідроксидів заліза різного походження»**

***Наукові статті у виданнях, що входять до наукометричних баз Scopus:***

1) Lavrynenko O.M., Pavlenko O.Yu., Shukin Yu.S., Dudchenko N.O., Brik O.B., **Antonenko T.S.** Characteristics of nanocomposites formed on the steel surface contacting with precious metal solutions. in: Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019) (Eds. Pogrebnjak A. D., Bondar O.) – Springer, 2020. – P. 297-306. DOI: [10.1007/978-981-15-1742-6\\_28](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_28)

2) Ponomar V. P., **Antonenko T. S.**, Vyshnevskiy O. A., Brik A.B. Thermally induced changes in the magnetic properties of iron oxide nanoparticles under reducing and oxidizing conditions // Advanced Powder Technology. – 2020. – v. 31. – P. 2587–2596. DOI: [10.1016/j.appt.2020.04.021](https://doi.org/10.1016/j.appt.2020.04.021)

***Наукові статті у виданнях, що входять до наукометричних баз Web of Science:***

3) **Савченко Т.С.** Синтез і властивості синтетичних аналогів біогенного магнетиту / І. М. Герасимець, О. В. Петренко, Т. С. Савченко, Ю. В. Карданець, О. Є Гречановський. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. –К. – 2014. – Том 64, № 1. – С. 21–25. – (Серія «геологія»). DOI: [10.17721/1728-2713.64.04.21-25](https://doi.org/10.17721/1728-2713.64.04.21-25)

4) **Савченко Т.С.** Перетворення гематиту та гетиту на магнетит у водному середовищі за дії мікрохвильового випромінювання / Т.С. Савченко, Н.О. Дудченко, О.Б. Брик // Вісник Дніпропетровського університету. – Дніпро. – 2017. – Том 25, № 1. – с. 93–100. – (Серія «геологія, географія»). DOI: [10.15421/111711](https://doi.org/10.15421/111711)

5) **Савченко Т.С.** Термомагнитные исследования преобразования гематита в магнетит с использованием крахмала / В.П. Пономар, А.Е. Гречановский, А.Б. Брик, А.А. Юшин, В.П. Лютоев, Т.С. Савченко // Мінералогічний журнал. – К. – 2015 – Том 37, № 2 – С. 37– 45. DOI: [10.15407/mineraljournal.37.02.037](https://doi.org/10.15407/mineraljournal.37.02.037)

6) **Савченко Т.С.** Зміна магнітних характеристик оксидів та гідроксидів заліза у водному середовищі / Т.С. Савченко, О.Є. Гречановський, О.Б. Брик, Н.О. Дудченко // Мінералогічний журнал. – К. – 2017 – Том 39, № 1 – С. 46 – 52. DOI: [10.15407/mineraljournal.39.01.046](https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.01.046)

7) **Антоненко Т.С.** Перетворення слабомагнітних мінералів (гематит, гетит) на сильномагнітний магнетит у водному розчині солей заліза (II) / Т.С. Антоненко, О.Б. Брик, В. П. Пономар, Н.О. Дудченко // Мінералогічний журнал. – К. – 2018 – Том 40, № 2 – С. 36 – 44. DOI: [10.15407/mineraljournal.40.02.036](https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.036)

8) **Антоненко Т.С.** Взаємодія розчинів двовалентного заліза з рудами гетитового та гематитового типу / Т.С. Антоненко, О.Б. Брик, Н.О. Дудченко // Мінералогічний журнал. – К. – 2019 – Том 41, № 1 – С. 49 – 59. DOI: [10.15407/mineraljournal.41.01.049](https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.01.049)

***Матеріали конференцій у виданнях, що входять до наукометричних баз Scopus:***

9) **Savchenko T.S.** Preparation of magnetite particles from hematite and goethite in aqueous medium / T. S. Savchenko, V. P. Ponomar, N. O. Dudchenko, A. E. Grechanovsky, A. B. Brik. // Name of conference: Proceedings of 6-th International conference «Nanomaterials: Applications&Properties» (Lviv, Ukraine, 14-19 September 2016): 1; Sumy State University. – Sumy, 2016. – № 1. – 02MFPM04-1– 02MFPM04-3. DOI: [10.1109/nap.2016.7757283](https://doi.org/10.1109/nap.2016.7757283)

10) Lavrynenko O.M. Characteristics of Nanocomposites Formed on the Steel Surface Contacting with Precious Metal Solutions / Lavrynenko O.M., Pavlenko O.Yu., Shukin Yu.S., Dudchenko N.O., Brik O.B., **Antonenko T.S.** // Proceedings of the 2019 IEEE 9th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, NAP 2019 (Odesa, Ukraine, 15-20 September 2019): 1;

Sumy State University. – Ukraine: Sumy State University, 2019. – № 1. – 01SSAN27-1-01SSAN27-5 pp. DOI: [10.1109/NAP47236.2019.216980](https://doi.org/10.1109/NAP47236.2019.216980)

11) Ponomar V. Influence of redox condition of the transformation of magnetic properties of magnetite nanoparticles V. Ponomar, **T. Antonenko**, M. Bahmut, O. Vyshnevskiy, A. Brik // XIII International conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (Kyiv, Ukraine, 12-15 November 2019): 1; Taras Shevchenko National University "Institute of Geology". – Kyiv, 2019. – № 1. – 1-5p. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903254>

*Матеріали конференцій:*

12) Савченко Т.С. Синтез і властивості синтетичних аналогів біогенного магнетиту / І. М. Герасимець, О. В. Петренко, **Т. С. Савченко**, О. Б. Брик, Н. О. Дудченко, Ю. В. Карданець // Всеукраїнська конференція-школа «Сучасні проблеми геологічних наук» (Київ, Україна, 15-19 квітня 2013): 1; Київський Національний Університет ім. Т. Шевченка. – Київ, 2013. – № 1. – С. MGP42–MGP43

13) Савченко Т.С. Синтез и свойства синтетических аналогов биогенного магнетита / И. Н. Герасимец, О. В. Петренко, **Т. С. Савченко**, А. Б. Брик, Н. А. Дудченко, Ю. В. Карданец // Материалы минералогического семинара с международным участием «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2013)» (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 19-22 мая 2013): 1; Институт геологии Коми. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2013. – № 1. – С. 444–445.

14) Савченко Т.С. Термомагнітні дослідження фазових перетворень гетиту та гематиту у присутності відновників / В.П. Пономар, **Т.С. Савченко** // Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців» (Кривий Ріг, Україна, 26–28 березня 2015): 1; Криворізький Національний Університет. – Кривий Ріг, 2015. – № 1. – С. 103 – 110.

15) Савченко Т.С. Фазові перетворення гетитових руд за даними методу термомагнітного аналізу / В.П. Пономар, **Т.С. Савченко**, Н.О. Дудченко, О.Б. Брик // Збірник тез наукової конференції з міжнародною участю «Геохронологія та рудоносність докембрію та фанерозою» (Київ, Україна, 17–18 листопада 2015): 1; Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. – Київ, 2015. – № 1. – С. 142–143.

16) Савченко Т.С. Фазові перетворення залізних руд у водному середовищі / **Т.С. Савченко**, В.П. Пономар // Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців» (Кривий Ріг, Україна, 26-28 березня 2015): 1; Криворізький Національний Університет. – Кривий Ріг, 2015. – № 1. – С. 93 – 97.

17) Savchenko T.S. Non-redox transformation of goethite in aqueous medium / **T.S. Savchenko**, V.P. Ponomar, N.O. Dudchenko, A.V. Brik // Збірник тез наукової конференції з міжнародною участю «Геохронологія та рудоносність докембрію та фанерозою» (Київ, Україна, 17–18 листопада 2015): 1; Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. – Київ, 2015. – № 1. – С. 144–145.

18) Савченко Т.С. Перетворення структури гетиту в розчині солей двовалентного заліза / В.П. Пономар, **Т.С. Савченко** // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, Україна, 25–27 травня 2016): 1; Криворізький Національний Університет. – Кривий Ріг, 2016. – № 1. – С. 55–60.

19) Савченко Т.С. Дослідження характеристик магнетиту, синтезованого у водному середовищі / **Т.С. Савченко**, О.Є. Гречановський, О.Б. Брик // Матеріали X наукових читань імені академіка Євгена Лазаренка (Львів- Чинадієве, 9-11 вересня 2016): 1; Львівський національний університет імені Івана Франка. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – № 1. – С. 84–85

20) Савченко Т.С. Створення магнітопорядкованих наночастинок у водному середовищі за різних співвідношень  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  / **Т.С. Савченко**, Н.О. Дудченко, О.Є. Гречановський, О.Б. Брик // Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів» (Кривий Ріг, Україна, 24-

26 листопада 2016): 1; Криворізький Національний університет. – Кривий Ріг, 2016. – № 1. – С. 92–95

21) Савченко Т.С. Створення магнітних сорбентів в матриці з мезопористого кремнію / **Т.С. Савченко**, О. І. Стич, Н.О. Дудченко // Матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції магістрантів та аспірантів (Харків, Україна, 18-21 квітня 2017): 3; Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут». – Харків: НТУ ХПІ, 2017. – № 2. – С. 196–197

22) Savchenko T.S. Synthetic nanosized magnetically ordered iron oxides for medical-biological application / N.O. Dudchenko, **T.S. Savchenko**, O.B. Brik // International research and practice conference: Nanotechnology and Nanomaterials (NANO-2017) (Chernivtsi, Ukraine, 23-26 august 2017): 1; Institute of Physics of NAS of Ukraine. – Kiev: SME Burlaka, 2017. – № 1. – 176 p.

23) Antonenko T.S. Transformation of the magnetic properties of synthetic goethite and hematite in an aqueous medium / **T. S. Antonenko**, N.O. Dudchenko, A.B. Brik // Ukrainian Conference with International participation «Chemistry, physics and technology of surface» (Kyiv, Ukraine, 23-24 may 2018): 1; Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine. – Kyiv, 2018. – № 1. – 23p.

24) Антоненко Т.С. Перетворення гетиту та гематиту на сильномагнітний магнетит у водному розчині солей заліза (II) / **Т.С. Антоненко**, Н. О. Дудченко, О.Б. Брик // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, Україна, 23–25 травня 2018): 2; Криворізький Національний Університет. – Кривий Ріг, 2018. – № 1. – С. 103

25) Антоненко Т.С. Перетворення синтетичного лепідокрокіту на магнетит / **Т.С. Антоненко**, Н.О. Дудченко, О.Б. Брик // Матеріали XX Української конференції з неорганічної хімії за участі закордонних учених (Дніпро, Україна, 17 – 20 вересня 2018): 1; Український державний хіміко-технологічний університет. – Дніпро: ЛІРА, 2018. – № 1. – С. 156

26) Antonenko T.S. Phase transformation of synthetic nanosized goethite by reducing with carbohydrates / N.O. Dudchenko, **T.S. Antonenko**, A.B. Brik // 6th International Conference: "Nanotechnologies and Nanomaterials" (NANO-2018) (Kyiv, Ukraine, 27 - 30 August 2018): 1; Institute of Physics of NAS of Ukraine. – Kiev: SME Burlaka, 2018. – № 1. – 118p.

27) Lavrynenko O. M. Magnetic properties of aurum-bearing nanoparticles formed on steel surface under rotation-corrosion dispergation conditions /, N. O. Dudchenko, Yu. S. Shchukin, **T.S. Antonenko**, A.B. Brik // 5th International Conference: "Nanotechnologies" (NANO-2018) (Tbilisi, Georgia, 19 - 22 november 2018): 1; Georgian Technical University. –Georgia: Technical university, 2018. – № 1. – 116p.

28) Цимбал О.Ю. Вплив мікрохвильового випромінювання на процеси перетворення гематиту на магнетит у водному середовищі / О.Ю. Цимбал, **Т.С. Антоненко**, Н.О. Дудченко, О.Б. Брик, В.В. Овсієнко, Ю.І. Черевко // Збірник тез наукової конференції (Київ, Україна, травня 2019): 1; Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. – Київ, 2019. – № 1. – С. 212-213

29) Lipatov O. Ye. Synthesis of magnetite nanoparticles by co-precipitation with different alkali under thermal treatment / Lipatov O. Ye., **Antonenko T.S.**, Dudchenko N.O., Brik A.B., Ovsienko V.V., Tkachuk S.Yu // Abstract Book of participants of the International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO-2020) (Lviv, Ukraine, 26 – 29 August 2020) :1. Lviv, 2020. – № 1. – 183p.

30) Антоненко Т.С., Брик О.Б., Дудченко Н.О., Овсієнко В.В., Черевко Ю.І. Перетворення синтетичного гематиту на магнетит під впливом надвисокочастотного випромінювання за різних температури та тиску / **Т.С. Антоненко**, О.Б. Брик, Н.О. Дудченко, В.В. Овсієнко, Ю.І. Черевко // Збірник тез Міжнародної наукової конференції «Докембрій: породні асоціації та їхня рудоносність» (Київ, Україна, 22–24 вересня 2020) ): 1; Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. – Київ, 2020. – № 1. – С. 42-45.

31) Antonenko T.S. Transformation of hematite using gel-like starch under microwave radiation / **T.S. Antonenko**, A.B. Brik, N.O. Dudchenko // Ukrainian Conference with International Participation «Chemistry, physics and technology of surface», dedicated to the 90th birthday of Academician Aleksey Chuiko (Kyiv, Ukraine, 21-22 October 2020) : 1; Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine. – Kyiv, 2020. – № 1. – 25p.

Кількість публікацій: 31, в т.ч. 8 статей. Згідно бази даних Google Scholar, загальна кількість посилань - складає 17, h-індекс (за роботою) = 2; згідно бази даних Web of Science, загальна кількість посилань - складає 3, h-індекс (за роботою) = 1; згідно бази даних Scopus, загальна кількість посилань - складає 2, h-індекс (за роботою) = 1.