

Композиційні наноструктуровані матеріали з регульованими фізико-хімічними властивостями

Композиционные наноструктурированные материалы с регулируемыми физико-химическими свойствами

Composite nanostructured materials with regulated the physicochemical properties

1. Номер державної реєстрації, номер, - 0117U000262,

2. Науковий керівник – д.х.н., чл.-кор. НАН України Корнілович Б.Ю., Корнілович Б.Ю., Kornilovych Borys Yu.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Отримано дослідні зразки новітніх каталізаторів та фотокаталізаторів на основі вперше синтезованих нанорозмірних оксидів металів, визначено кінетичні закономірності перебігу окисно-відновних процесів за їх участю у забруднених водних середовищах. Встановлено експериментальні залежності ступеня фотокаталітичного очищення модельних стічних вод від природи забрудника та його концентрації. Обґрунтовано технологічні параметри проведення рідиннофазних окисно-відновних процесів очищення стічних вод від політантів різного походження. Визначено технологічні параметри процесів фотокаталітичного та окисно-відновного очищення стічних вод від органічних та неорганічних забрудників створеними каталітичними системами на основі нанорозмірних оксидів металів. Розроблено технологічні засади очищення стічних вод фармацевтичних виробництв каталітичними наноструктурованими металоксидними системами.

Встановлено основні закономірності процесів одержання композиційних матеріалів на основі природних силікатів. Синтезовано аміно-функціональні, залізо– та кремнеземвмісні силікатні композити. Досліджено структурно-сорбційні характеристики та фізико-хімічні властивості одержаних поруватих багатофункціональних композитів. Встановлено, що отримані матеріали ефективно видаляють неорганічні токсиканти із вод, як в катіонній, так і аніонній формах, в широкому діапазоні рН. Показано, що одержані композити можуть бути використані як перспективні сорбенти для вилучення іонів металів (кобальту, арсену) та природних радіонуклідів (урану) із водного середовища, в тому числі із забруднених поверхневих та ґрунтових вод з підвищеною мінералізацією. Запропоновано технологічну схему одержання залізовмісних сорбентів на основі органофілізованого бентоніту та шляхи їх утилізації за керамічною технологією.

Розроблено технологію одержання піролітичним методом прозорих електропровідних оксидно-металевих покриттів на неорганічному натрійкальційалюмосилікатному флоат-склі. Виготовлено промислово-дослідні партії зразків скла спеціального призначення з електрообігрівом для захисту від запотівання та обмерзання. Розроблено технологію нанесення самоочисного фотокаталітичного покриття на основі анатаза на силікатне скло та виготовлено дослідну партію зразків. Показано високу ефективність застосування методу іонообмінного зміцнення для одержання багатошарових наноструктурованих склоподібних матеріалів.

(русс.)

Получены опытные образцы новейших катализаторов и фотокатализаторов на основе впервые синтезированных наноразмерных оксидов металлов, определены кинетические закономерности протекания окислительно-восстановительных процессов с их участием в загрязненных водных средах. Установлены экспериментальные зависимости степени фотокаталитической очистки модельных сточных вод от природы загрязнителя и его концентрации. Обоснованы технологические параметры проведения жидкофазных окислительно-восстановительных процессов очистки сточных вод от загрязнителей различного происхождения. Определены технологические параметры процессов фотокаталитической и окислительно-восстановительной очистки сточных вод от органических и неорганических загрязнителей созданными каталитическими системами на основе наноразмерных оксидов металлов. Разработаны технологические основы очистки

сточных вод фармацевтических производств каталитическими наноструктурированными металл-оксидными системами.

Установлены основные закономерности процессов получения композиционных материалов на основе природных силикатов. Синтезированы amino-функциональные, железо- и кремнеземсодержащие силикатные композиты. Исследованы структурно-сорбционные характеристики и физико-химические свойства полученных пористых многофункциональных композитов. Установлено, что полученные материалы эффективно удаляют неорганические токсиканты с вод, как в катионной, так и анионной формах, в широком диапазоне рН. Показано, что полученные композиты могут быть использованы как перспективные сорбенты для извлечения ионов металлов (кобальта, мышьяка) и природных радионуклидов (урана) с водной среды, в том числе из загрязненных поверхностных и грунтовых вод с повышенной минерализацией. Предложена технологическая схема получения железосодержащих сорбентов на основе органофилизированного бентонита и пути их утилизации по керамической технологии.

Разработана технология получения пиролитическим методом прозрачных электропроводящих оксидно-металлических покрытий на неорганическом натрий кальций алюмосиликатном флоат-стекле. Изготовлена опытно-промышленная партия образцов стекла специального назначения с электрообогревом для защиты от запотевания и обледенения. Разработана технология нанесения и изготовлена опытная партия образцов силикатного стекла с самоочищающимся фотокаталитическим покрытием на основе анатаза. Показана высокая эффективность применения ионообменного метода для получения упрочнённых многослойных наноструктурированных стекловидных материалов.

(англ.)

Prototypes of new catalysts and photocatalysts based on newly synthesized nanoscale metal oxides obtained, kinetic regularities of redox processes in which they participate in waste water determined. The experimental dependence of the degree of photocatalytic purification in model wastewater and the nature of the pollutant concentration established. Substantiation of technological parameters of the liquid-phase oxidation-reduction processes wastewater from the pollutants of various origins determined. Process parameters and process photocatalytic redox sewage from organic and inorganic pollutants created by catalyst systems based on nanoscale metal oxides defined. The technological bases of wastewater pharmaceutical manufactures catalytic nanostructured metal-oxide systems established.

The basic regularities of the processes of obtaining composite materials based on natural silicates have been established. Amino-functional, iron- and silica-containing silicate composites were synthesized. Structural-sorption characteristics and physicochemical properties of the obtained porous multifunctional composites were investigated. The materials obtained have been found to remove effectively inorganic toxicants from water, both in cationic and anionic forms, over a wide pH range. It is shown that the obtained composites can be used as promising sorbents for the extraction of metal ions (cobalt, arsenic) and natural radionuclides (uranium) from the aquatic environment, including contaminated surface and groundwater with high mineralization. The technological scheme of obtaining iron-containing sorbents on the basis of organophilized bentonite and the ways of their utilization by ceramic technology have been offered.

The technology of obtaining of transparent electrically conductive oxide-metal coatings on inorganic sodium-calcium aluminosilicate float glass by pyrolytic method was developed. The batches of industrial specimens of special purpose glass for protection against fogging and frostbite with transparent electric conductive coating were produced. The technology of production of self-cleaning photocatalytic coating based on anatase on silicate glass was developed and a pilot batch of samples was made. It was established that application of ion exchange method for hardening multilayered nanostructured glassy materials shows high efficiency.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. **Пат. на корисну модель 137171 Україна, МПК (2019.01) B01J20/06.** «Спосіб одержання фотокаталізатора-адсорбенту на основі оксиду цинку (IV)» [Текст] / Курпіта А.В., Якимечко М.М., Іваненко І.М., Астрелін І.М.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U 201902836; заявл. 22.03.2019; опубл. 10.10.2019, Бюл. №19, 2019. – 4 с.: іл.
2. **Пат. на корисну модель 137172 Україна, МПК (2019.01) B01J23/835.** «Спосіб одержання фотокаталізатора-адсорбенту на основі оксиду стануму (IV)» [Текст] / Курпіта А.В., Якимечко М.М., Іваненко І.М., Астрелін І.М.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U 2019 02838; заявл. 22.03.2019; опубл. 10.10.2019, Бюл. №19, 2019. – 4 с.: іл.
3. **Пат. на корисну модель 136147 Україна, МПК (2019.01) C01G 53/00.** «Спосіб одержання магнітних нікелевих феритів співосадженням з горінням» [Текст] / Лесік С.М., Возняк В.С., Іваненко І.М., Астрелін І.М.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U 201900935; заявл. 30.01.2019; опубл. 12.08.2019, Бюл. №15, 2019. – 4 с.: іл.
4. **Пат. на корисну модель 136137 Україна, МПК B01J 20/06 (2006.01).** «Спосіб одержання фотокаталізатора-адсорбенту на основі оксиду титану (IV)» [Текст] / Кух А.А., Биць О.В., Іваненко І.М., Астрелін І.М.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U 201900728; заявл. 24.01.2019; опубл. 12.08.2019, Бюл. №15, 2019. – 4 с.: іл.
5. **Пат. на корисну модель 129586 Україна, МПК C01G 99/00 (2006.01).** Спосіб синтезу композиту «Ni, Со-шпінель – активоване вугілля» [Текст] / Воронова А.С., Іваненко І.М., Астрелін І.М.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U 201802725; заявл. 19.03.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. №21, 2018. – 4 с.: іл.
6. **Пат. на корисну модель 126140 Україна, МПК C01B 33/32 (2006.01).** Спосіб виробництва рідкого скла [Текст] / Руда А.О., Іваненко І.М., Донцова Т.А., Астрелін І.М.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U 201712649; заявл. 20.12.2017; опубл. 11.06.2018, Бюл. №11, 2018. – 4 с.: іл.
7. **Пат. на корисну модель 128687 Україна, МПК C01B 33/00, C01B 33/14 (2006.01).** Спосіб синтезу силікагелю з рідкого скла [Текст] / Руда А.О., Мацепа Є.О., Іваненко І.М., Донцова Т.А., Астрелін І.М.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U 201712755; заявл. 22.12.2017; опубл. 10.10.2018, Бюл. №19, 2018. – 4 с.: іл.
8. **Пат. на корисну модель 136712 Україна, МПК C07C 209/36 (2006.01).** Композиційний залізовмісний сорбент на основі монтморилоніту для очищення вод від іонів важких металів [Текст] / Жданюк Н.В., Тобілко В.Ю., Корнілович Б.Ю.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U 2019 03109; заявл. 29.03.2019; опубл. 27.08.2019, Бюл. №16, 2019. – 4 с.
9. **Пат. на корисну модель 136581; Україна, МПК B01J 20/12 (2006.01), B01J 39/08 (2017.01)** Сорбент для очищення води від іонів важких металів та радіонуклідів [Текст] / Дорошенко Д.В., Пилипенко І.В., Корнілович Б.Ю.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – u201902283; заявл. 06.03.2019; опублік. 27.08.2019, Бюл. № 16/2019. – 3с.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Рівень розробки перевищує світовий рівень, оскільки каталітичні системи, що отримані, за своєю активністю перевищують фотокаталізатор Degussa P25, а також AEROXIDE® TiO₂ P25, що є лідерами на комерційному ринку на сьогоднішній день.

Композиційні матеріали на основі природних силікатів мають рід переваг над аналогами, зокрема, характеризуються покращеними структурно-сорбційними характеристиками по відношенню до таких небезпечних неорганічних токсикантів, як кобальт, арсен, уран із забруднених мінералізованих вод, а також кращими економічними показниками порівняно із існуючими сорбентами на основі активованого вугілля та оксидів цирконію.

Розроблена методика одержання прозорого електропровідного покриття на склі не має аналогів у технології виготовлення скла в Україні. Найближчий аналог – скло з електропровідним покриттям, яке виготовляється виробниками Pilkington, Tycos Technoglass та Shenzhen Wanyelong Industry Co зі схожими параметрами по електропровідності, проте з меншим значенням коефіцієнту пропускання світла у видимій частині спектру.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розроблених технологій та обладнання дозволяє значно знизити собівартість водоочищення.

Композиційні силікатні сорбенти на основі бентонітових та палигорськітових глин проявляють високу ефективність при очищенні мінералізованих вод від забруднення важкими металами та природними радіонуклідами і мають високу конкурентоспроможність завдяки покращеним структурно-механічним властивостям і невисокій вартості.

Реалізація технології одержання прозорих електропровідних оксидно-металевих покриттів на неорганічному натрійкальційалюмосилікатному флоат-склі в промисловому масштабі дозволить значно знизити собівартість виготовлення виробів на основі скла з багатофункціональним покриттям, так як на українському ринку відсутній вітчизняний виробник такого скла.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Користувачами можуть бути фармацевтичні, фарбувально-оздоблювальні, харчові виробництва, підприємства хімічної і нафтопереробної галузі та інші, що стикаються з необхідністю очищення стічних вод.

Дослідні зразки високоефективних композиційних сорбційних матеріалів можуть будуть використані при розробці інноваційних технологій очищення вод на підприємствах атомної галузі України, в наукових установах НАН України - Інституті сорбції та проблем ендоекології та Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії.

На базі створеної методики може бути розроблена промислова технологія створення енергозберігаючого, електрообігріваного, оптичного або захисного скла широкого спектру призначення. Потенційними користувачами можуть стати військово-промисловий комплекс, підприємства та організації з виготовлення енергоощадливих вікон, транспортні компанії та приватні автокористувачі, тощо.

8. Стан готовності розробки.

Нові технічні рішення по виробництву високоактивних каталітичних систем на основі нанорозмірних оксидів металів для окисно-відновних та фотодеструктивних процесів очищення стічних вод та їх використання в новітніх технологічних схемах очищення стічних вод від комплексу поллютантів як органічного, так і неорганічного походження.

Лабораторні серії зразків наноксидних каталізаторів; лабораторний реактор для фотокаталітичних випробовувань та методики їх проведення; експериментальні залежності властивостей отримуваних каталітичних систем від їх умов синтезу; кінетичні закономірності перебігу окисно-відновних та фотодеструктивних процесів за участю отриманих наноксидних каталітичних систем.

Технологічні параметри синтезу високоактивних нанокаталітичних металоксидних систем та їх використання в окисно-відновних специфічних методах очищення стічних вод.

Високоефективні композиційні силікатні матеріали для очищення мінералізованих вод від забруднення важкими металами та природними радіонуклідами, технологічна схема одержання залізовмісних сорбентів на основі органофілізованого бентоніту та шляхи їх утилізації за керамічною технологією.

Технологія створення тонкошарових прозорих покриттів на неорганічному склі, що характеризуються заданою величиною електропровідності.

9. Існуючі результати впровадження.

Проведено дослідно-промислові випробування розроблених каталітичних систем в реальних умовах для фотакаталітичного очищення стічних вод на ВАТ «Лубнифарм», НТЦ «Укрводбезпека», ТОВ «УкрХімАналіз», ТОВ «Лабораторія інноваційної технологічної очистки». Результати планується впровадити на ВАТ «Лубнифарм».

Одержані композиційні силікатні сорбенти запропоновано для використання при очищенні мінералізованих вод від сполук урану. Перевірка ефективності зазначених матеріалів проведена УкрНДПРІ промтехнології (м. Жовті Води) в результаті якої встановлено відповідність очищеної води вимогам НРБУ-97 для джерел водопостачання.

Технологія одержання прозорих електропровідних оксидно-металевих покриттів на неорганічному натрійкальційалюмосилікатному флоат-склі випробувана в реальних умовах при виробництві скла спеціального призначення на ТОВ «СІТАЛІ ГЛАСС» (м. Київ) та виготовлено промислово-дослідну партію зразків.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

хіміко-технологічний факультет, кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології. (044) 204-97-35, irinaiivanenko@hotmail.com; кафедра хімічної технології кераміки та скла (044) 204 – 97-87, htks@kpi.ua

11. Фото розробки



Рисунок 1 - Дослідні зразки скла з прозорим електропровідним покриттям

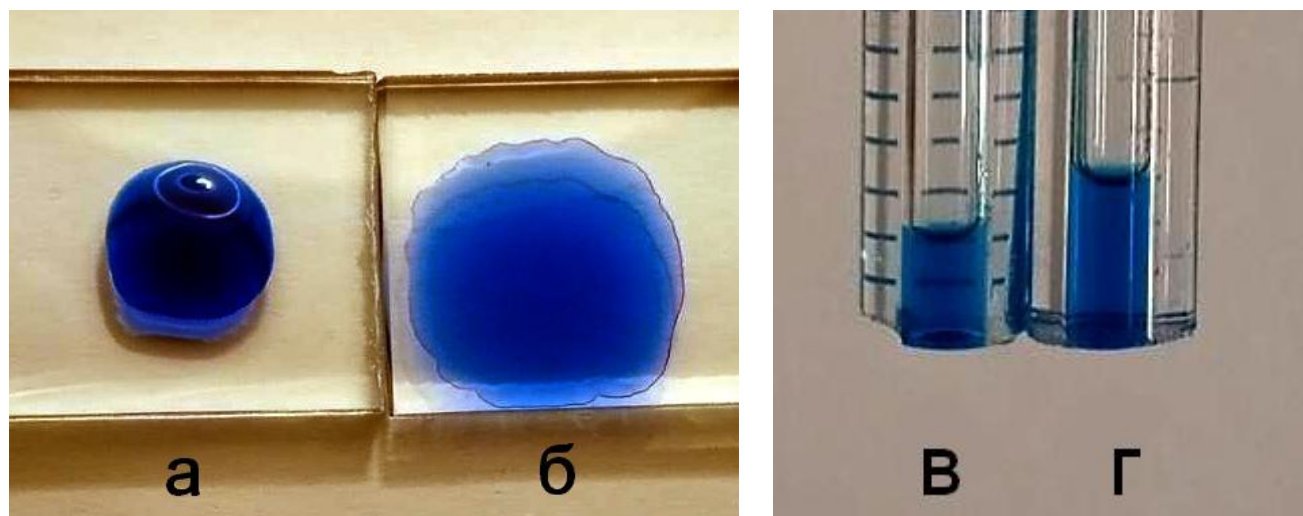


Рисунок 2 - Зразки натрійкальційалюмосилікатного (а) та боросилікатного (в) скла з нанесеним

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

Статті у фахових виданнях

1. Іваненко І.М., Кезікова Ю.Є., Кух А.А., Нагаєвська С.Д. Композитний адсорбент-фотокаталізатор на основі активованого вугілля і титану (IV) оксиду / Екологічні науки № 3(26). – С. 138-142.
2. Дорошенко Д.В., Пилипенко І.В., Корнілович Б.Ю. Сорбція іонів кобальту і метиленового блакитного наноконкомпозитами монтморилоніт-кремнезем // Наукові вісті КПП. - 2018. – №. 3. – С. 99-105.
3. Ковальчук І.А., Пилипенко І.В., Корнілович Б.Ю. , Башак О.Є. Сорбційне очищення мінералізованих підземних вод від сполук урану з використанням піларованих глин// Доповіді НАН України. – 2019, № 10. – С. 82-88.
4. D. Doroshenko, I. Pylypenko, B. Kornilovych, I. Subbota. Preparation of porous silica nanocomposites from montmorillonite using sol-gel approach. // Technology audit and production reserves. – 2018. – Т. 4. – №. 3 (42). – С. 16-23.
5. Bondarieva A., Tobilko V., Kholodko Yu., Kornilovych B. Obtaining of iron-containing silicate composites for contaminated water purification from arsenic compounds // Technology Audit and Production Reservers - Vol 3, No 3(47), 2019, P. 14 - 19.
6. Iatsenko A., Mishchenko A., Kornilovych B. Investigation of thermal stability, optical properties, phase and chemical composition of transparent conductive tin oxide films deposited by pyrolytic method on silica float glass //Technology audit and production reserves. – 2019. – Т. 5. – №. 3 (49). - P. 10-14.
7. Plemyanikov M., Kornilovych B. Preparation of a self-cleaning glass using solutions of titanium fluor complexes //Technology audit and production reserves. – 2019. – Т. 5. – №. 3 (49). - P. 4-9.

Статті, що цитуються у базі SCOPUS та WoS

1. Ivanenko, I., Voronova, A., Astrelin, I., Romanenko, Y. Structural and catalytic properties of Ni-Co spinel and its composites / Bulletin of Materials Science, 2019. – Vol. 42, Iss. 4, 172.
2. Ivanenko I., Lesik S., Astrelin I., Fedenko Y. (2019) The Perspective Synthesis Methods and Research of Nickel Ferrites. In: Fesenko O., Yatsenko L. (eds) Nanocomposites, Nanostructures, and Their Applications. NANO 2018. Springer Proceedings in Physics, Vol 221. Springer, Cham. pp 527-545. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17759-1_36.
3. Ivanenko I., Fedenko Y., Ruda A., Tetiana M. (2019) Current State of Fuel Cell Research. In: Fesenko O., Yatsenko L. (eds) Nanophotonics, Nanooptics, Nanobiotechnology, and Their Applications. NANO 2018. Springer Proceedings in Physics, vol 222. Springer, Cham. pp 443-456 https://doi.org/10.1007/978-3-030-17755-3_30.
4. Kukh, A.A., Ivanenko, I.M. & Astrelin, I.M. TiO₂ and its composites as effective photocatalyst for glucose degradation processes. Applied Nanoscience. – 2019. – Vol. 9. – P. 677-682. <https://doi.org/10.1007/s13204-018-0691-2>.
5. Diao G.Q., Li H., Ivanenko I., Dontsova T., Astrelin I., Xi F.Y., Gu X.Z. Comparison of SnO₂-carbon nanotubes composite and the SnO₂-carbon black mixture as an anode for Li-ion batteries / The 7th Global Conference on Materials Science and Engineering. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 474 (2019) 012022.
6. Voronova A., Ivanenko I. Synthesis Methods and Modern Direction in Modification of Nickel Cobaltite and Composite Nanoparticles with It's / Participation Proceedings of the 2018 IEEE 8th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2018), 2018, Part 1. – P. 288-292.
7. Ruda A.O., Ivanenko I.M., Burmak A.P. The Point of Zero Charge and H₂O₂ Decomposition Activity of Nanoporous Carbon Modified with Nitrogen and Cobalt Nanoparticles / Proceedings of the 2018 IEEE 8th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2018), 2018, Part 2. – P. 65-69.

8. Lesik S., Ivanenko I.M., Perecos A.O. Magnetically Separable Catalysts for the Hydrolysis of Borohydrides / Proceedings of the 2018 IEEE 8th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2018), 2018, Part 4. – P. 80-83.
9. Ivanenko I., Dontsova T., Fedenko Y. Applications Perspectives of Nanodispersed Chalcogenides of Transition Metals in Photocatalysis / Chapter In Nanochemistry, Biotechnology, Nanomaterials, and Their Applications, 2018. Springer Processing in Physic, Vol. 214. – P. 99-113.
10. Diao G., Li H., Liang H., Ivanenko I., Dontsova T., Astrelin I. CVD Synthesis of Multi-Walled Carbon Nanotubes onto Different Catalysts at Low Temperature / NANO: Brief Reports and Reviews, 2018. – Vol. 13, No. 4. – 1850036 (11 pages).
11. Doroshenko D., Pylypenko I., Kovalchuk I., Kornilovych B., Spasonova L. Investigation of the structure and sorption peculiarities of cobalt and uranium ions by nanocomposites based on montmorillonite and tetraethoxysilane // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 5/6 (95), P. 6-11.
12. Kornilovych B., Wireman M., Ubaldini S. Uranium removal from Groundwater by Permeable Reactive Barrier with Zero-Valent Iron and Organic Carbon Mixtures: Laboratory and Field Studies // Metals. – 2018, N 6, Vol. 408, 21 p.
13. Tobilko V., Spasonova L., Kovalchuk I., Kornilovych B., Kholodko Yu. Adsorption of Uranium (VI) from Aqueous Solutions by Amino-functionalized Clay Minerals // Colloids Interfaces 2019, 3, 41.

Статті в закордонних виданнях

1. Shamslyna M.O., Ivanenko I.M. Adsorption on Platinum Single Crystals: A Review / Journal of Water Science and Engineering, 2019. – Т.1, №1. – С. 1-9.

Підручники

1. Конструкційні матеріали в технології неорганічних речовин [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / І. М. Іваненко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,80 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 262 с.
2. Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / І.М. Іваненко, Т.А. Донцова, Ю.М. Феденко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,75 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 232 с.
3. Інноваційні неорганічні технології [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / Т. А. Донцова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Т. А. Донцова – Електронні текстові дані (1 файл: 11,0 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 291 с.
4. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, І. В. Пилипенко, Б. Ю. Корнілович; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 298 с.

Дисертації

1. Макарчук О.В. «Магнітні наноконпозиційні сорбенти на мінеральній основі для очищення стічних вод» 05.17.21 - Технологія водоочищення, 2018р., науковий керівник – Донцова Т.А. КПІ ім. Ігоря Сікорського.
2. Янушевська О.І. «Водоочисна технологія утилізації відходів різання монокристалів кремнію» 05.17.21 - Технологія водоочищення, 2018 р., науковий керівник – Супрунчук В.І, КПІ ім. Ігоря Сікорського.
3. Жданюк Н.В. Розробка сорбентів на основі модифікованих глин для захисту вод від неорганічних токсикантів, 21.06.01 – Екологічна безпека, 2019 р., науковий керівник – Корнілович В.Ю., КПІ ім. Ігоря Сікорського.

13. **Надати ключові слова до розробки:** оксиди, композити, каталізатор, адсорбент, фотокаталізатор, синтез, будова, властивості, композиційні силікатні сорбенти, очищення вод, прозоре електропровідне покриття, флоат-скло з покриттям.