

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategical adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES
DEPARTMENT OF ELECTROMETALLURGY NAMED AFTER
ACADEMICIAN MYKHAILO GASIK
PRYDNIPROVSKYI SCIENTIFIC CENTER OF THE NAS OF UKRAINE
UKRAINIAN ASSOCIATION OF MANUFACTURERS OF FERROALLOYS AND
OTHER ELECTROMETALURGICAL PRODUCTS
ACADEMY OF SCIENCES OF HIGHER EDUCATION OF UKRAINE



The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategic adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

dedicated to the
100th anniversary of the Department of Electrometallurgy named after Academician
Mykhailo Gasik

22-23 April 2025

DNIPRO

УДК 669:[005.591.6:620.92](082)

I 66

Рекомендовано до друку вченою радою Українського державного університету науки і технологій

(Протокол № 12 від 28.05.2025)

Рецензенти:

Грищенко С. Г. – голова ради директорів об'єднання “Укркольормет”, проф., д.т.н.

Камкіна Л. В. – декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій Українського державного університету науки і технологій, проф., д.т.н.

I 66 Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності і сталого розвитку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22–23 квітня 2025 р. / за заг. ред. Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 198 с.

У збірнику подано матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми розвитку сучасних технологій в металургійному виробництві, на залізничному транспорті, хімічних виробництвах. Значна увага приділена питанням цифрової трансформації, математичному моделюванню, мультидисциплінарним дослідженням.

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)

Recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian State University of Science and Technologies

(Minutes No. 12 dated May 28, 2025)

Reviewers:

Hryshchenko S. G. – Chairman of the Board of Directors of the Association "Ukrkolormet", Professor, Doctor of Technical Sciences

Kamkina L. V. – Dean of the Faculty of Metallurgical Processes and Chemical Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology, Professor, Doctor of Technical Sciences

Innovations in Metallurgy and Related Strategic Industries for Energy Efficiency and Sustainable Development : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, April 22–23, 2025 / edited by Yu. S. Proidak, O. V. Zhadanos. – Electronic edition. – Dnipro : USUST, 2025. – 198 p.

The collection presents materials highlighting current issues in the development of modern technologies in metallurgical production, railway transport, and chemical industries. Significant attention is paid to digital transformation, mathematical modeling, and multidisciplinary research.



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons

[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[\(«Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)
DOI 10.15802/978-617-8314-05-7

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	14
СЕКЦІЯ 1. СУЧАСНА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЯ: ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ	15
ПРОДУВАННЯ ВАННИ КОНВЕРТЕРА ПРИ РАФІНУВАННІ ФЕРОНІКЕЛЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОДНОСОПЛОВИХ ТА ТРИСОПЛОВИХ ФУРМ Акреєв В.В., Приходько С.В., Мельник С.О., Овчарук А.М.	15
ОГЛЯД ДОСТУПНИХ ДЖЕРЕЛ МАРГАНЦЕВОЇ СИРОВИНИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ УКРАЇНИ Аносов О.В., Гладких В.А., Рубан А.В., Рябцев О.О.	21
ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПІД ЧАС ВИПЛАВКИ МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ В УМОВАХ АТ НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОДУ ФЕРОСПЛАВІВ Бабуцький В.І., Зінченко О.М.	25
РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СПЛАВІВ МАРГАНЦІУ Величко К.О.	30
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОГО НАГРІВУ ЗАЛІЗО-РУДО-ВУГІЛЬНОГО БРИКЕТУ В ІНДУКЦІЙНОМУ ПОЛІ Грек О.С.	35
ІНТЕНСИФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЮ НА ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ Гришин О.М., Надточій А.А., Губа Р.М., Хромовський С.А.	40
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ВИРОБІВ Дерев'яно І.В., Жаданос О.В., Агєєв О.Г.	46
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ВУГЛЕЦЬКАРБІДОКРЕМНІЄВИХ БРИКЕТІВ В СТАЛЬ-КОВШІ ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ Жаданос О.В., Дерев'яно І.В., Шепетяк Є.О., Мацишин В.Г., Петренко М.С.	49
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ У МОДУЛЬНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ СИСТЕМАХ Ціколія А.З., Кононов Д.О.	54
ХАРАКТЕРИСТИКА ВУГЛЕЦЕВИХ ВІДНОВНИКІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ ФЕРОСИЛЦІУ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ КРЕМНІЮ Кравченко В.П., Гладких В.А., Рубан А.В., Малий Є.Д.	59

STRENGTHENING OF DETAILS OF HEAT EXCHANGERS IN FOOD PRODUCTION BY ELECTROCHEMICAL DEPOSIT IN A LOW INDUCTION MAGNETIC FIELD Kovalyov S.V., Mishchenko V.I.	163
IMPROVING THE METHODOLOGY FOR DETERMINING THERMOPHYSICAL QUANTITIES OF THIN FILMS DEPOSITED ON A BASE METAL Kovalyov Stanislav, Kozlov Yaroslav	168
CONTROL OF IN VITRO SOLUBILITY OF BIOACTIVE GLASS BY GRAVIMETRIC METHOD Makedonska-Bilykh O.M., Khomenko O.S.	173
INNOVATIVE POLYMER IONIC LIQUIDS AND IONENE-TYPE IONIC LIQUIDS Sverdlikovska O.S., Potapchuk M.O.	178
SYNTHESIS AND PROPERTIES OF RADIOTRSPARENT CORDIERITE CERAMICS MODIFIED WITH MgO – Al ₂ O ₃ – B ₂ O ₃ – SiO ₂ GLASS Zaichuk O.V., Kalishenko Yu.R., Amelina O.A., Hordieiev Yu.S.	183
SECTION 4. IT-DIGITAL TRANSFORMATION IN PRODUCTION	188
INDUSTRIAL AI AND DIGITAL TRANSFORMATION OF UKRAINIAN INDUSTRY: STATUS, CHALLENGES AND PRACTICAL CASES Ochkasov O.B.	188
THE ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGY AND THE DEVELOPMENT OF NEW METHODS FOR SELECTING THE RATIONAL COMPOSITION OF METALLURGICAL SLAGS Dmytro Stepanenko, Daria Togobitska, Ganna Stovpchenko, Liudmyla Lisova	193

КОНТРОЛЬ РОЗЧИНОСТІ IN VITRO БІОАКТИВНОГО СКЛА ГРАВІМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Македонська-Білих О. М., Український державний університет науки і технологій
ННІ УДХТУ, Дніпро, Україна, o.m.makedonska-bilykh@ust.edu.ua

Хоменко О. С., Український державний університет науки і технологій ННІ УДХТУ,
Дніпро, Україна, o.s.khomenko@ust.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3753-3033>

Анотація. Біоскло має здатність до взаємодії з живими тканинами, сприяючи їх регенерації, а вимірювання розчинності важливе для оцінки його біоактивності та швидкості деградації. Встановлено особливості застосування гравіметричного методу визначення розчинності біостекла різного гранулометричного складу у фізіологічному розчині Рінгера. Підтверджено, що розмір часток біоскла суттєво впливає на його розчинність: чим менші частки, тим вища швидкість розчинення. В той же час, зниження втрат маси на пізніх етапах розчинення, може свідчити про утворення на поверхні часток шару гідроксиапатиту, що має бути враховане при інтерпретації результатів.

Ключові слова: біоактивне скло, розчинність in vitro, розчин Рінгера; гідроксиапатит.

CONTROL OF IN VITRO SOLUBILITY OF BIOACTIVE GLASS BY GRAVIMETRIC METHOD

Makedonska-Bilykh O. M., Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine, o.m.makedonska-bilykh@ust.edu.ua

Khomenko O. S., Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro,
Ukraine, o.s.khomenko@ust.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3753-3033>

Abstract. Bioglasses have the ability to interact with living tissues and contribute to their regeneration, and solubility measurement is important for assessing their bioactivity and degradation rate. The peculiarities of using the gravimetric method to determine the solubility of bioglasses with different particle size distributions in physiological Ringer's solution have been established. It was confirmed that the size of the bioglass particles has a significant effect on their solubility: the smaller the particles, the higher the dissolution rate. At the same time, a decrease in mass loss in the later stages of dissolution may indicate the formation of a hydroxyapatite layer on the surface of the particles, which should be taken into account when interpreting the results.

Keywords: bioactive glass, in vitro solubility, Ringer's solution, hydroxyapatite.

1 Вступ та мета

Біоматеріали – це природні або штучні речовини, що використовуються для заміни або посилення функцій живих тканин. Біоматеріали повинні гармонійно поєднуватися один з одним in vivo та бути біосумісними [1]. Вони також мають мати такі характеристики, як біоінертність, біоактивність, біостабільність і біорозкладність. Найбільш поширеними синтетичними біоматеріалами, які можуть легко зв'язуватися з кістковою тканиною, є біоактивні скла [2, 3].

Біоактивні стекла використовуються для лікування переломів кісток, кісткових захворювань, а також у стоматології, завдяки своїй здатності до регенерації кісткової тканини. Першим розробленим біоактивним склом було 45S5 (Bioglass®) на основі системи $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O--CaO--P}_2\text{O}_5$ і є найбільш клінічно використовуваним склом для відновлення кісток і регенерації. Інші комерційно розроблені біоактивні скла, такі як 13-93 та S53P4 (BonAlive®), також є системами біоактивного скла на основі силікатів і показали свою придатність для регенерації кісткової тканини та реставрації зубів. Стекла на основі боратів характеризуються більш швидким розчиненням і утворенням апатиту на поверхні в порівнянні з силікатним склом. Такі стекла мають додаткову перевагу в тому, що швидкість утворення апатиту адаптується до метаболізму кісткової тканини і призводить до її поступової заміни, завдяки контрольованому розчиненню [4–6].

З часом біоскло розкладається і вивільняє розчинний кремнезем, кальцій і калій, що сприяє проліферації кісткових клітин, які допомагають в остеогенезі та ангіогенезі, завдяки поєднанню кристалізації апатиту на їх поверхні та вивільненню іонів. Біоскло взаємодіє з тканинами пацієнта, утворюючи зв'язок з кістковою тканиною, в якому шар гідроксиapatиту (ГАП) виступає в якості зв'язуючого між ними. Такий самий шар ГАП утворюється на поверхні біоскла при зануренні в модельовану біологічну рідину, яка має концентрацію іонів, порівнянну з тими, що спостерігаються в плазмі крові людини [2, 7].

Для забезпечення бажаної біологічної взаємодії, що описується як контрольоване вивільнення іонів з подальшим зв'язуванням тканин, вміст кремнезему в склі має становити від 45 до 55 мас.%. Чим нижчий вміст кремнезему, тим легше скло розчиняється в різних водних розчинах [3, 8]. Скло з вмістом SiO_2 понад 60 мас. % розчиняється настільки повільно, що не утворює на поверхні скла багатих на кремнезем і фосфату кальцію реакційних шарів. Отже, такі стекла не будуть з'єднуватися з кістковою та м'якими тканинами.

Контрольована, заздалегідь визначена розчинність біоскла, є критично важливою, оскільки дозволяє прогнозувати темпи регенерації тканин [1, 9]. Інтенсивність розчинення залежить від складу скла, морфології частинок, локального середовища навколо них і співвідношення площі поверхні скла до об'єму розчину. Серед існуючих методів контролю розчинності біостекол (індивідуальний аналіз іонів у розчині ICP-OES / ICP-MS або атомно-абсорбційною спектроскопією, UV-Vis спектрофотометрія, кондуктометрія / іонометрія та ін.), найбільш простим є гравіметричний метод, але з практичної точки зору він має певні особливості, які мають бути враховані.

Метою роботи є дослідження розчинності біологічно активного скла у фізіологічному розчині Рінгера в залежності від його фракційного складу за допомогою гравіметричного методу.

2 Методика

2.1 Синтез скла методом плавлення

Для синтезу скла обрано оксидну систему $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3$ (табл. 1). Для виготовлення скла застосовано такі сировинні матеріали: SiO_2 (маршаліт), Na_2CO_3 , CaCO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, H_3BO_3 , які є недорогими та доступними на ринку.

Таблиця 1 – Хімічний склад дослідного біоскла, мас. %

Найменування скла	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	B ₂ O ₃
S53P4+ B ₂ O ₃	51,5	22,3	20,4	2,9	2,9

Кількість всіх компонентів була точно визначена з урахуванням втрат при термічній обробці, матеріали були зважені та об'єднані в однорідну масу шляхом ретельного змішування в ступці. Варку скла здійснювали при 1300°C.

2.2 Дослідження розчинності in vitro

Визначення розчинності біостекла здійснювали гравіметричним методом. В якості фізіологічної рідини застосовували розчин Рінгера. Зразки скла були подрібнені до двох фракцій: 0,5–0,2 мм і <0,063 мм. Порошки попередньо зважували (~5 г), занурювали в розчин Рінгера (50 мл для всіх зразків) та інкубували в герметичних ємностях при температурі 36,6±0,5°C протягом 14 та 21 днів. Далі проби фільтрували, сушили та повторно зважували. За втратою маси оцінювали розчинність проб біостекла.

2.3 Дослідження фазового складу

Визначення фазового складу здійснювали за допомогою рентгенофазового аналізу. Цей метод дозволяє виявити та ідентифікувати кристалічні фази в матеріалі на основі характерного дифракційного розсіяння рентгенівського випромінювання атомними площинами кристалів. Кожна фаза має унікальну дифрактограму, тому її наявність у дослідному зразку за допомогою даного аналізу буде встановлена. Рентгенофазовий аналіз здійснювали за допомогою рентгенівського дифрактометру Дрон-3М з Cu_α випромінюванням, а ідентифікацію фаз – за даними міжнародної бази ICDD PDF.

3 Результати та їх обговорення

Гравіметричний метод полягає у вимірюванні зміни маси біоскла до та після занурення у модельне фізіологічне середовище (наприклад, розчин Рінгера) протягом заданого часу. Зменшення маси вказує на ступінь його розчинення. Усереднені заміри показників розчинності дослідних фракцій біоскла наведені на рис. 1.

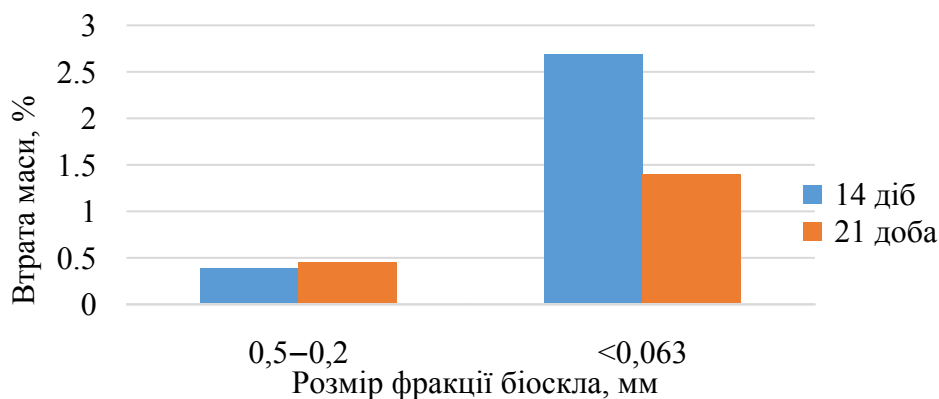


Рисунок 1 - Показники розчинності дослідних фракцій біоскла

Встановлено, що частки крупної фракції біоскла (проби 1 і 2) дуже повільно втрачають масу: через 14 днів – 0,39%, через 21 день – 0,45%. Для проб 3 та 4 (з розміром часток <0,063 мм) зафіксовано значно більші показники втрат: через 14 днів – 2,69%, через 21 день – 1,40%. Менший відсоток втрат проби 4 через 21 день у порівнянні з показником через 14 днів, дозволив припустити, що в результаті взаємодії з фізіологічним середовищем, на поверхні часток біоскла інтенсивно утворюється гідроксиапатит – бажана кристалічна фаза – аналог кісткової складової твердих біологічних тканин.

Відбуваються наступні хімічні реакції: спочатку іонний обмін між модифікаторами сітки зі скла (Na^+/K^+) та H^+ з розчину на поверхні скла утворює зв'язки $\text{Si}-\text{OH}$. Шар, багатий на кремнезем, утворюється, коли розчинений кремнезем зі скла, реконденсується на поверхні. На наступному етапі відбувається міграція та осадження Ca^{2+} і PO_4^{3-} зі скла та розчину з утворенням аморфної плівки $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$ на шарі з високим вмістом кремнезему. Включення гідроксилів і карбонатних груп з розчину призводить до утворення ГАП.

Наявність ГАП у фракції біоскла <0,063 мм після витримки у фізіологічному розчині 21 добу підтверджено за допомогою рентгенофазового аналізу (рис. 2).

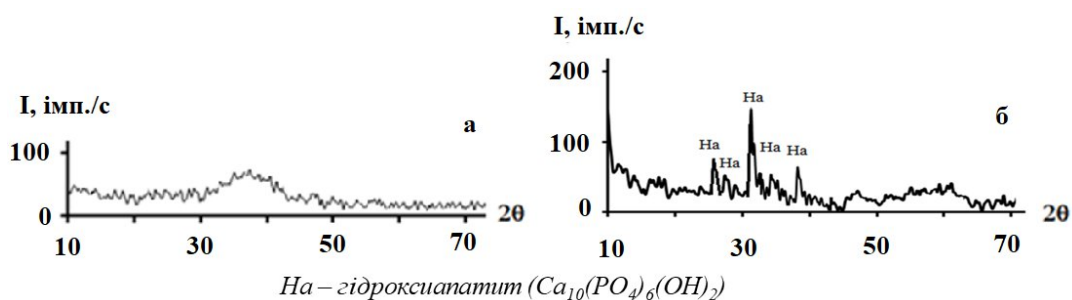


Рисунок 2 – Рентгенограми біоскла фракції <0,063 мм до (а) та після (б) витримки у фізіологічному розчині 21 добу

Після витримки у розчині Рінгера на рентгенограмі (рис. 2б) з'явилися дифракційні максимуми (піки), характерні кристалічній фазі – гідроксиапатиту Ha ($d=3,45; 3,16; 2,81; 2,72 \text{ \AA}$), що пояснює зменшення втрати маси зразків.

Отже, гравіметричний метод визначення розчинності біоскла відрізняється простотою виконання, дозволяє здійснити пряму оцінку розчинності, має низьку вартість та достатньо високу точність при правильній підготовці проб. Але, оскільки біостекла при контакті з фізіологічним розчином перетерплюють не тільки процес розчинення, а і осадження йонів кальцію та фосфору у формі ГАП, то гравіметричний метод визначення розчинності може показати дещо викривлену експериментальну картину. Тому рекомендується здійснювати комплексний аналіз розчинності із застосуванням рентгенофазового аналізу.

4 Висновки

У ході дослідження розчинності біоскла за допомогою гравіметричного методу встановлено, що швидкість втрати маси залежить від розміру часток: дрібнодисперсні фракції (<0,063 мм) демонструють значно вищу розчинність у порівнянні з крупними.

Спостережене зменшення втрати маси дрібної фракції на 21 добу порівняно з 14-ю добою свідчить про утворення ГАП на поверхні часток, що підтверджено рентгенофазовим аналізом. Це утворення, в свою чергу, може знижувати подальше розчинення біоскла. Гравіметричний метод є зручним та доступним для попередньої оцінки розчинності біоскла, однак з огляду на складність фізико-хімічних процесів, що супроводжують розчинення (зокрема осадження біоактивних фаз), його результати можуть бути частково викривленими. Тому доцільним є поєднання гравіметричного методу з рентгенофазовим аналізом для більш повного уявлення про поведінку біоскла у фізіологічному середовищі.

Бібліографічний список

1. Chandra G., Pandey A. Biodegradable bone implants in orthopedic applications: a review. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*. 2020. Vol. 40. Is. 2. P. 596–610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2020.02.003>
2. Dash P.A., Mohanty S., Nayak S. K. A review on bioactive glass, its modifications and applications in healthcare sectors. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2023. Vol. 614. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2023.122404>
3. Özarslan A. C., Yücel S. Comprehensive assessment of SrO and CuO co-incorporated 50S6P amorphous silicate bioactive glasses in vitro: Revealing bioactivity properties of bone graft biomaterial for bone tissue engineering applications. *Ceramics International*. 2023. Vol. 49. Is. 9. P. 13940–13952. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.12.276>
4. Prasad S., Datta S., Adarsh T., Diwan P., Annapurna K., Kundu B., Biswas K. Effect of boron oxide addition on structural, thermal, in vitro bioactivity and antibacterial properties of bioactive glasses in the base S53P4 composition. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2018. Vol. 498. P. 204–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2018.06.027>
5. Prasad S., Fábíán M., Tarafder A., Kant S., Sinha P. K. et al. Factors governing the sinterability, In vitro dissolution, apatite formation and antibacterial properties in B₂O₃ incorporated S53P4 based glass powders. *Ceramics International*. 2022. Vol. 48. Is. 4. P. 4512–4525. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.10.237>
6. Wen C., Xie M., Yan S., Chen Q., Jin J. et al. Effects of B₂O₃ on the structural evolution and biological behavior of borate bioactive glasses by sol-gel and melting methods. *Ceramics International*. 2024. Vol. 50. Is. 22. P. 47864–47875. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.09.131>
7. Sinitsyna P., Engblom M., Hupa L. Analysis and modelling of in vitro bioactivity for bioactive glass microspheres and granules in continuous fluid flow conditions. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2024. Vol. 637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2024.123029>
8. Sinitsyna P., Karlström O., Sevonius C., Hupa L. In vitro dissolution and characterisation of flame-sprayed bioactive glass microspheres S53P4 and 13–93. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2022. Vol. 591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2022.121736>
9. Vallet-Regi M., Salinas A.J. Mesoporous bioactive glasses for regenerative medicine. *Mater. Today Bio*. 2021. Vol. 11. P. 100–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2021.100121>

Наукове видання

Загальна редакція Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса

**ІННОВАЦІЇ В МЕТАЛУРГІЇ І СУМІЖНИХ СТРАТЕГІЧНИХ ГАЛУЗЯХ ДЛЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Електронне видання

Відповідальні за випуск: Пройдак Ю. С., Жаданос О. В.
Комп'ютерна верстка та дизайн: Жаданос О. В.

*Відповідальність за достовірність інформації, представленої в збірнику,
несуть автори*

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022