

schwingungen. *Z. Phys.*, 1 (241), 313–324. 7. Snopok, B. A., Kostyukovich, E. V., Lysenko, S. I., Lytvyn, P. M., Lytvyn, O. S. [et al.] (2001). Optical biosensors based on the surface plasmon resonance phenomenon: optimization of the metal layer parameters. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*, 4 (1), 56–69. 8. Homola, J., Koudela, I., Yee S. S. (1999). Surface plasmon resonance sensors based on diffraction gratings and prism couplers: sensitivity comparison. *Sensors and Actuators B*, 54, 16–24. 9. Gupta, G., Kondoh, J. (2001). Tuning and sensitivity enhancement of surface plasmon resonance sensor. *Sensors and Actuators B*, 122, 381–388. 10. Shalabney, A., Abdulhalim, I. (2010). Electromagnetic field distribution in multi-layer thin film structures and the origin of sensitivity enhancement in surface plasmon resonance sensors. *Sensors and Actuators A*, 159, 24–32. 11. Venger, Ye. F., Zinyo, S. A., Matsas, Ye. P., Samoylov, A. V., Ushenin, Yu. V. et al. (2007). Spektrometr poverkhnevoogo plazmonnogo rezonansu Plazmon-6. *Tezyu dopovidej naukovo-praktychnoyi konferenciyi SENSOR*, 111. 12. Shalabney, A., Abdulhalim, I. (2011).

Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors. *Laser Photonics Rev*, 5 (4), 571–606. 13. Chegel, V. I., M. Shirshov, Yu., Kostyukovich, S. O. [et al.] (2001). Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> structures using surface plasmon resonance spectroscopy. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 4 (4), 301–306. 14. Oficialnyj sajt OOO «ShOTT Farmasyutikal Pekkedzhing» [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: \www/URL: <http://www.schott.com/>. 15. Rakic, A. D., Djuricic, A. B., Elazar, J. M., Majewski, M. L. (1998). Optical properties of metallic films for vertical-cavity optoelectronic devices. *Appl. Opt.*, 37, 5271–5283. 16. Kedenburg, S., Vieweg, M., Gissibl, T., Giessen, H. (2012). Linear refractive index and absorption measurements of nonlinear liquids in the visible and near-infrared spectral region. *Opt. Mat. Express.*, 2, 1588–1611. 17. Azzam, R. M. A., Bashara, N. M. (1987). *Ellipsometry and Polarized Light*, Amsterdam: North-Holland, 583.

Надійшла (received) 04.12.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Дорожинський Гліб Вячеславович** – молодший науковий співробітник відділу фізико-технологічних основ сенсорного матеріалознавства, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарєва НАН України; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; тел.: 098-281-90-10; e-mail: [gvdorozinsky@ukr.net](mailto:gvdorozinsky@ukr.net).

**Дорожинский Глеб Вячеславович** – младший научный сотрудник отдела физико-технологических основ сенсорного материаловедения, Институт физики полупроводников имени В. Е. Лашкарёва НАН; пр. Науки, 41, г. Киев, Украина, 03028; тел.: 098-281-90-10; e-mail: [gvdorozinsky@ukr.net](mailto:gvdorozinsky@ukr.net).

**Dorozinsky Glib** – junior researcher of department of physical and technological bases of sensory materials, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine; 41 pr. Nauky, Kyiv, Ukraine, 03028;

УДК 577.15:644.5.096.4:543.42

**Н. А. ДЗЮБА, О. В. ЗЕМЛЯКОВА**

### ОСОБЛИВОСТІ ІММОБІЛІЗАЦІЇ $\alpha$ -АМІЛАЗИ НА БІЛКОВИХ ТА ПОЛІСАХАРИДНИХ МАТРИЦЯХ

В статті розглядається отримання біологічно активних добавок шляхом іммобілізації  $\alpha$ -амілази на білкових та полісахаридних матрицях. В результаті іммобілізації  $\alpha$ -амілази на матрицях утворюються зв'язки, які можна визначити за допомогою ІЧ-спектроскопії. Розглянуто можливість використання ІЧ-спектроскопії для аналізу зв'язків при іммобілізації  $\alpha$ -амілази на білковій та полісахаридній матрицях. Проведено глибокий аналіз зв'язків в молекулах матриць та іммобілізованого ферменту на матрицях різної природи. Визначено функціональні зв'язки за допомогою яких відбувається іммобілізація  $\alpha$ -амілази на глютині та агарі.

**Ключові слова:** біологічно активні добавки, іммобілізація  $\alpha$ -амілази, глютин, агар, ІЧ-спектроскопія, функціональні продукти.

**Вступ.** Для профілактики прогресування захворювань, які пов'язані з порушенням ферментативної активності, разом з медикаментозною терапією, населенню необхідно вживати функціональні продукти харчування та біологічно активні добавки (БАД), які здатні регулювати рівень глюкози в крові людини. Асортимент функціональних продуктів в значній мірі визначається набором функціональних інгредієнтів або біологічно активних речовин (БАР), для більшості з яких ідентифікована їх основна потенційна користь для здоров'я.

Зважаючи на те, що ферменти мають білкову природу і досить не стабільні при температурі та концентрації іонів водню в середовищі постає актуальне питання стабілізації біокоректорів з метою подальшого їх використання в раціонах харчування та у складі харчових систем. Це обумовлює перспективність подальшого вивчення функціональних властивостей іммобілізованих ферментів та вивчення зв'язків, за рахунок яких проходить зв'язування ферменту з матрицею.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** В останні роки в Україні розробляється і

впроваджується значна кількість спеціальних харчових продуктів, БАД і продуктів лікувально-профілактичного призначення, які є джерелами цінних харчових речовин, що характеризуються здатністю до зв'язування і виведення радіонуклідів, токсинів, солей важких металів з організму [1].

Суттєві недоліки прямого введення БАР в організм людини обмежують їх використання: алергічні реакції, неспецифічна токсичність і пірогенність, чутливість до температури, рН та іонної сили, інактивація під дією ендогенних ферментів та інгібіторів [2]. Успіхи використання іммобілізованих препаратів в народному господарстві та медицині значною мірою визначаються вірністю вибору методу іммобілізації та природи носія, який використовується.

Носії, які використовуються для отримання іммобілізованих препаратів, повинні мати високу гідрофільність, стійкість до хімічних та мікробних уражень, легко активуватися (хімічним або фізичним методом), не впливати на активність БАР та володіти мінімальною неспецифічною адсорбцією. Наявність на носіїв і БАР зарядів з різними знаками значно

© Н. А. Дзюба, О. В. Землякова. 2015

сприяє іммобілізації. В якості матриць використовують: волокна на основі целюлози та декстрини [3], альгінова кислота і її солі, альгінатне волокно [4], колаген та продукти його гідролізу [5-7] та інші.

З природних полімерних носіїв для іммобілізації часто використовують агар – полісахарид, що складається з агарози та агаропектину [8]. Іммобілізацію ферментів на білкових носіях можна проводити як у відсутності, так і в присутності зшиваючих агентів. До недоліків білків, які можуть бути носіями, відносять їх високу імуногенність (за винятком колагену, глютину і фібрину).

Іммобілізація на носіях із зарядженими групами або буферними властивостями, що забезпечують оптимальне локальне рН в мікрооточенні БАД, перешкоджає розгортанню глобули білка, яке обумовлено зміною її іонізаційного стану. Механізм стабілізації БАД поліелектролітами та білками може пояснюватись декількома причинами. Утворення комплексу фермент-поліелектроліт змінює мікро-рН поблизу БАД, стабілізує структуру БАД за рахунок утворення нековалентних (водневих, донорно-акцепторних, електростатичних, гідрофобних) зв'язків між БАД та носієм, знижує локальну концентрацію агентів, що можуть призвести до денатурації [9].

Розробка ефективних матриць для іммобілізації  $\alpha$ -амілази та їх використання в харчовій промисловості є актуальною задачею, яка дозволить розширити асортимент БАД, страв і кулінарних виробів у закладах ресторанного господарства, підвищити їх функціональну цінність та більш раціонально використовувати натуральні компоненти сировини.

Відомо, що синтетичні і природні поліелектроліти здатні виділяти (концентрувати) білки з розбавлених водних систем у вигляді нерозчинних білок-поліелектролітних комплексів різної природи [10]. Процеси концентрації білка за допомогою полісахаридів не викликають денатурацію білка і втрату його розчинності, що дозволяє розглядати перспективи їх використання з метою отримання БАД, що містять біологічно активні речовини білкової природи – гідролази і їх інгібітори.

Процес комплексоутворення ферменту з аніонним полісахаридом агаром в кислій області рН відбувається, в основному, за рахунок електростатичної взаємодії між зарядженими групами агару і ферменту (амілази) і водневими зв'язками, вище ізоелектричної точки (ІЕТ) комплексоутворення – за рахунок водневих зв'язків і слабких гідрофобних взаємодій. Фермент та глютин є речовинами білкової природи, тому в результаті іммобілізації вони утворюють міцні електростатичні зв'язки та зв'язки, які можна визначити за допомогою ІЧ-спектроскопії.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є аналіз та порівняння зв'язків між  $\alpha$ -амілазою та матрицями полісахаридної та білкової природи.

Задачею дослідження є визначення зв'язків між нативною  $\alpha$ -амілазою та матрицями різної природи з метою визначення раціональної технології отримання функціональної БАД.

Для досягнення поставленої мети було визначено основні задачі дослідження:

- розробити спосіб стабілізації інгібітору (шляхом його іммобілізації на полісахаридній та білковій матрицях);

- визначити зв'язки, завдяки яким проходить іммобілізація за допомогою ІЧ-спектроскопії.

**Матеріали та методи дослідження особливостей іммобілізації  $\alpha$ -амілази на білкових та полісахаридних матрицях.** Реєстрацію ІЧ-спектрів поглинання проводили на інфрачервоному спектрофотометрі FTIR-8400S фірми Shimadzu в діапазоні  $4000 \dots 400 \text{ см}^{-1}$ .

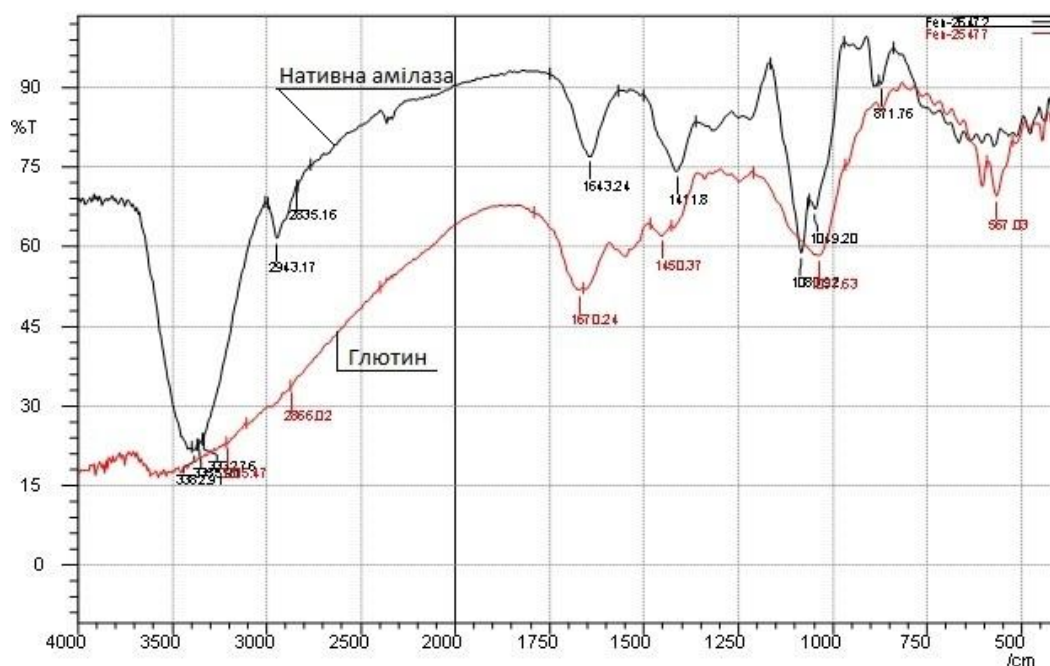
Для аналізу використовували 4 зразки попередньо висушені при  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  протягом 24 годин: перший зразок – 1 г амілази, другий зразок – 1 г глютину, третій зразок – 1 г агару, четвертий та п'ятий зразки – до 10 мл 0,1% розчину амілази вводили 10 г глютину (агару), іммобілізація проходила 20 хвилин після чого висушували.

Для аналізу використовували пігулки, приготовані методом пресування з надлишком КВг. Маса наповнювача становила 150 мг, досліджуваного зразка – 1,5 мг. Отриману суміш піддавали подрібненню на вібраторі Фон Ардена впродовж 4 хв. Отриману порошокподібну масу (100 мг) використовували для приготування пігулки. Далі здійснювали вакуумування препарату в прес-формі під тиском  $150 \text{ кг/см}^2$ .

**Результати дослідження особливостей іммобілізації  $\alpha$ -амілази на білкових та полісахаридних матрицях.** В даному дослідженні в якості метода іммобілізації ферменту використовували метод комплексоутворення за рахунок електростатичної взаємодії (проста коацервація) та включення в гель.

В ІЧ-спектроскопії використовують середню частину ІЧ-області, а саме,  $4000\text{-}200 \text{ см}^{-1}$ . При розшифровці ІЧ-спектрів використовували довідкові матеріали [11] та мали на увазі, що в ІЧ-спектрах поліпептидів та білків виявляється декілька відносно сильних полос поглинання, які, як правило, відносяться до коливань пептидної групи  $-\text{CO-NH}-$ , як загальному структурному компоненту білкових молекул.

В результаті досліджень отримали ряд ІЧ-спектрів, деякі з них наведено нижче: нативна  $\alpha$ -амілаза, глютин (рис. 1), іммобілізована  $\alpha$ -амілаза на глютині (рис. 2).

Рис. 1 – ІЧ-спектри нативної  $\alpha$ -амілази та глютину

**Обговорення результатів особливостей іммобілізації  $\alpha$ -амілази на білкових та полісахаридних матрицях.** В спектрі  $\alpha$ -амілази (рис. 1) спостерігається широка смуга з піком поглинання при  $3382,91\text{ см}^{-1}$ , що свідчить про наявність вільних аміногруп. Симетричні коливання метильних груп характеризує пік  $2350\text{ см}^{-1}$ , також спостерігаються коливання в діапазоні  $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ , що є характерним для валентних коливань  $\text{C-H}$  груп. Наявність піку при  $1643,24\text{ см}^{-1}$  характеризує амід I, що дає змогу говорити про валентні коливання зв'язку  $\text{-C=O}$ .

В спектрі агару в області  $700\text{--}900\text{ см}^{-1}$  спостерігаються смуги поглинання, характерні для спектрів цукрів, в складі яких містяться ланки галактози, а також присутні смуги поглинання груп  $\text{-SO}_2\text{-O-}$  (сильна смуга поглинання з двома максимумами  $1260\text{ см}^{-1}$  і  $1230\text{ см}^{-1}$ ), обумовлена валентними асиметричними коливаннями груп  $\text{O=S=O}$ . Значне поглинання в області  $1230\text{--}1260\text{ см}^{-1}$  для агару свідчить про наявність сульфо- групи в ньому.

Аналіз ІЧ-спектрів глютину (рис. 1) показав наявність піку при  $3500\text{ см}^{-1}$ , що свідчить про те що глютин є продуктом гідролізу колагену (амід А), піки  $1670,24\text{ см}^{-1}$ ,  $1550\text{ см}^{-1}$  характеризують наявність амиду I та амиду II. Наявність валентних коливань  $\text{-C=I}$  груп неіонізованих та іонізованих кислот характеризує смуга поглинання при  $1620\text{ см}^{-1}$ .

При аналізі ІЧ-спектрів іммобілізованої амілази (рис. 2) шляхом включення в гель глютину видно, що практично всі  $\text{-OH}$  групи включені в водневий зв'язок, про що свідчить відсутність смуги поглинання при  $3650\text{ см}^{-1}$ . Широка полоса з піком при  $3332,76\text{ см}^{-1}$

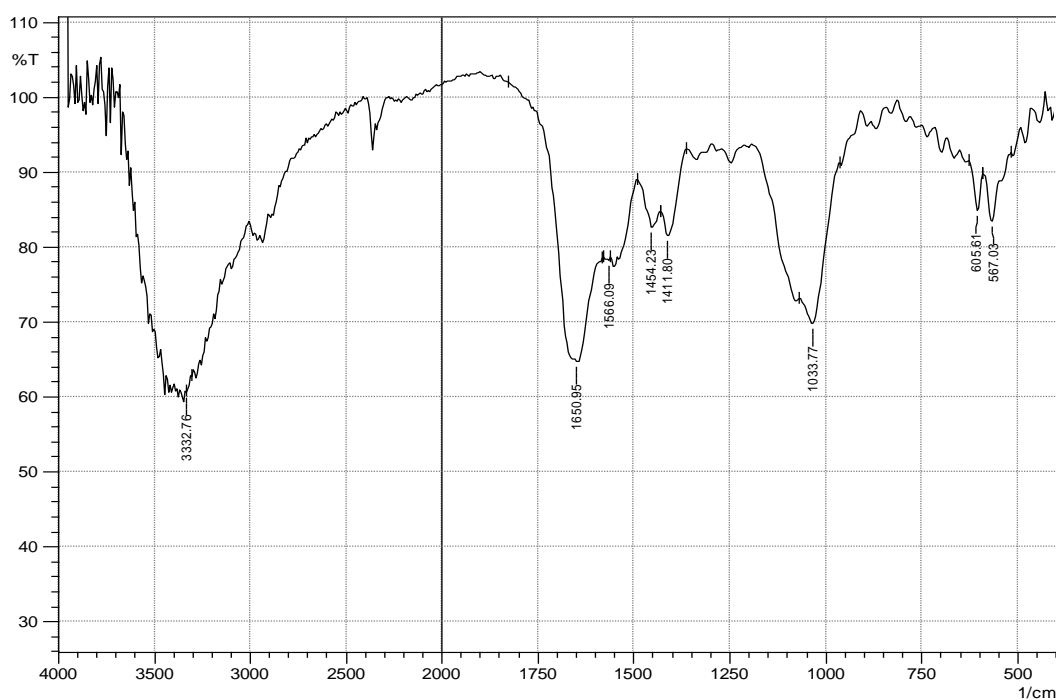
свідчить про те, що в іммобілізації взяли участь аміногрупи глютину, така широка полоса з'являється внаслідок коливань аміногруп, асоційованих водневими зв'язками ( $\text{-CO-NH-}$ ).

В спектрі іммобілізованої амілази на агарі спостерігається інтенсивна широка смуга з максимумом поглинання при  $3400\text{ см}^{-1}$ , яка зміщена в низькочастотну область в порівнянні з частотою вільних груп  $\text{OH-}$ , що свідчить про участь гідроксилів в системі водневих зв'язків. Відсутність смуги поглинання при  $3650\text{ см}^{-1}$  вказує, що практично всі гідроксильні групи включені в водневий зв'язок.

Групи  $\text{CH}_2\text{-}$   $\alpha$ -амілази зовсім не брали участь в іммобілізації як на полісахаридній так і на білковій матрицях, про що свідчить наявність полоси поглинання  $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ . Метильні групи амілази не взяли участь в утворенні комплексу про що свідчить наявність піку при  $2350\text{ см}^{-1}$ .

Щільність і міцність сітки водневих зв'язків досліджували за допомогою характерної смуги поглинання  $3400\text{ см}^{-1}$ , яка відповідає валентним коливанням гідроксильних груп. Для цього визначали напівширину смуги за хвиловими числами досліджуваної ділянки спектру.

Дані отримані за допомогою ІЧ-спектроскопії при порівнянні зразків ферменту та його іммобілізованої форми на матрицях полісахаридної та білкової природи показали зменшення напівширини смуги поглинання, яка відповідає валентним коливанням  $\text{OH-}$  груп, що вказує на збільшення кількості  $\text{OH-}$  груп, які беруть участь в міцних водневих зв'язках при іммобілізації.

Рис. 2 – ІЧ-спектр іммобілізованої  $\alpha$ -амілази на глютині

Отримані ІЧ-спектри показали, що амілаза іммобілізована методом механічного включення має незначні відхилення хвиль від ферменту в чистому вигляді, з чого можна зробити висновок, що міцні зв'язки не утворились, але процес іммобілізації відбувся. Амілаза іммобілізована на глютині методом включення в гель утворила стійкий комплекс, оскільки відхилення хвиль ІЧ-спектрі є значними. Наявність амідів I та амідів II в амілазі включеної в гель глютину дає змогу стверджувати, що в якості зв'язуючого компоненту могли виступити функціональні групи глютину.

**Висновки.** Таким чином данні аналізу отриманих ІЧ-спектрів свідчать про складну будову молекули ферменту при включенні в гель полісахаридної або білкової природи та служить підтвердженням гіпотези про те, що функціональні групи в складі глютину та агару здатні до утворення зв'язків з ферментами. Це дає можливість рекомендувати глютин та агар в якості ефективних матриць для іммобілізації ферментів з метою створення БАД направленої дії.

**Список літератури:** 1. Дерев'яно, Л. П. Роль біологічески активних добавок к пище для профилактики заболеваний населения на пороге нового тысячелетия [Текст] / Л. П. Дерев'яно // Сборник материалов международной научно-практической конференции "Пути сохранения здоровья населения Украины на границе тысячелетий" 30.05.-02.06.2000 г. Ялта – Киев: Общество "Знание" Украины. – 2000. – С. 18–21. 2. Чепчерук, Г. С. Иммуобилизованные ферменты в клинической хирургии [Текст] / Г. С. Чепчерук, В. В. Лищенко // Вест. Хирургии, 1985. – No 3, Т. 134. – С. 126–130. 3. А. С. 730694 (СССР). Модифицированный терриллином декстран, обладающий фибринолитической способностью [Текст] / А. Г. Алексеева, Г. Е. Гринберг, Г. М. Линбергаум и др. – Б/о No 16.–1980.– С. 86. 4. Корниш-Боуден, Э. Основы ферментативной кинетики [Текст] / Э. Корниш-Боуден. – М.: Мир.– 1979.– 280 с. 5. Земцова, Л. В. Иммуобилизация протосубтилина на полимерных носителях и исследование свойств иммуобилизованного фермента. В кн.: Иммуобилизованные протеолитические ферменты в лечении гнойно-некротических процессов [Текст] / Л. В. Земцова, В. К. Старостина, Д. П. Булдаева. –

Новосибирск, 1981.– С. 9–23. 6. Иванова, Л. А. Коллаген в технологических лекарственных формах: монография [Текст] / И. А. Сычеников, Т. С. Кондратьева. – М.: Медицина, 1984. – С. 112. 7. Yu, P. Optimization of conditions for enzymatic production collagen hydrolysates from a long-value acaudinamolpadioides and their activities [Text] / Yu P., Chen H. // J. Food Biochem. – 2013. – Vol. 38. – P. 227–235. 8. Крусір, Г. В. Основы комплексообразования ингибитор панкреатической амилазы-полисахарид [Текст] / Крусір Г. В., Севастьянова О. В., Кушнір Н. А. // Зернові продукти і комбікорми.– 2009, – No 1. – С. 16–19. 9. Крусір, Г. В. Порівняльна характеристика фізико-хімічних властивостей рослинного інгібітору  $\alpha$ -амілази та БАД на його основі [Текст] / Г. В. Крусір, Н. А. Кушнір // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць / Редкол.: О. І. Черевко (відпов. ред.) та ін.; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі.– Харків, 2008. – Вип. 2 (8). – С. 521–527. 10. Кикнадзе, Э. В. Применение полиэлектролитов для выделения ингибитора трипсина из технологических отходов фракционирования белков листьев люцерны [Текст] / Э. В. Кикнадзе, Ю. А. Антонов // Прикладная биохимия и микробиология Т. 34. – 1998, No 5. – С. 508–512. 11. Тарасевич, Б. Н. Справочные материалы. ИК спектры основных классов органических соединений [Текст] / Б. Н. Тарасевич // МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра органической химии // Москва, 2012. – С. 55.

**Bibliography (transliterated):** 1. Derevianko, L. P. (2000). Rol byolohychesky aktivnykh dobavok k pyshche dlia profylaktyky zabolevaniy naseleniya na porohe novoho tysiacheletiya. Sbornyk materiyalov mezhdunarodnoi nauchno-praktycheskoi konferentsyy "Puty sokhraneniya zdorovia naseleniya Ukrainy na hranytse tysiacheletyi" 30.05.-02.06.2000 h. Yalta, Kyev: Obshchestvo "Znanye" Ukrainy, 18-21. 2. Chepcheruk, H. S., Lyshenko, V. V. (1985). Ymmobylyzovannye fermenty v klynicheskoy khyyurhyy. Vest. Xyyurhyy, T. 134, No 3, 126–130. 3. Alekseeva, A. H., Hrynberh, H. E., Lynberhaum, H. M. (1980). A. S. 730694 (SSSR). Modyfytsyrovanniy terryllynom dekstran, obladaiyushchy fybrynolytycheskoy sposobnostyu. No 16, 86. 4. Kornysh-Bouden, E. (1979). Osnovy fermentatyvnoy kynytyky. Moskva: Myr, 280. 5. Zemsova, L. V., Starostyna, V. K., Buldaeva, D. P. (1981). Ymmobylyzatsiya protosubtylyna na polymernykh nosyeliakh y yssledovanye svoystv ymmobylyzovannoho fermenta. V kn.: Ymmobylyzovannye proteolytycheskye fermenty v lecheny hnooinokroticheskykh protsessov. Novosybyrsk, 9–23. 6. Yvanova, L. A., Sichenykov, Y. A., Kondrateva, T. S. (1984). Kollahen v tekhnolohyy lekarchvennykh form: monohrafyia. Moskva: Medytyna, 112. 7. Yu, P., Chen, H. (2013). Optimization of conditions for enzymatic production collagen hydrolysates from a long-value acaudinamolpadioides and their activities. J. Food Biochem., Vol. 38, 227–235. 8. Krusir, H. V., Sevas-

tianova, O. V., Kushnir, N. A. (2009). Osnovy kompleksoutvorennia inhibitor pankreatychnoi amilazy-polisakharyd. Zernovi produkty i kombikormy, No 1, 16–19. **9.** Krusir, H. V., Kushnir, N. A. (2008). Porivnialna kharakterystyka fizyko-khimichnykh vlastyvoستي roslynnoho inhibitoru  $\alpha$ -amilazy ta BAD na yoho osnovi. Prohresyvni tekhnika ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli: Zb. nauk. Prats. Redkol.: O. I. Cherevko (vidpov. red.) ta in.; Khark. derzh. un-t kharchuvannia ta torhivli. Kharkiv, Vol. 2 (8), 521–527. **10.**

Kyknadze, E. V., Antonov, Yu. A. (1998). Prymenenye polyelektrolytov dlia videleniya ynhybytora trypsyna yz tekhnolohycheskykh otkhodov fraktsyonyrovaniya belkov lystev liutserni. Prykladnaia byokhymyia y mykrobyolohyia, T. 34, No 5, 508–512. **11.** Tarasevych, B. N. (2012). Spravochnie materiyali. YK spektri osnovnykh klassov orhanycheskykh soedyneni. MHU ymeny M. V. Lomonosova, khymycheskyi fakul'tet, kafedra orhanycheskoi khymy. Moskva, 2012.

Надійшла (received) 07.06.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Дзюба Надія Анатоліївна** – кандидат технічних наук, доцент, Одеська національна академія харчових технологій; Кафедра Технології ресторанного і оздоровчого харчування; вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039; тел.: 096-68-67-740; e-mail: [adya282@rambler.ru](mailto:adya282@rambler.ru).

**Дзюба Надежда Анатольевна** – кандидат технических наук, доцент; Одесская национальная академия пищевых технологий; Кафедра Технологии ресторанного и оздоровительного питания; ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039; тел.: 096-68-67-740; e-mail: [adya282@rambler.ru](mailto:adya282@rambler.ru).

**Dzyuba Nadya** – Candidate of Science (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Associate Professor, Department of Technology restaurant and health food; Odessa National Academy of Food Technologies; str. Kanatna 112, Odessa, Ukraine, 65039; tel.: 096-68-67-740; e-mail: [adya282@rambler.ru](mailto:adya282@rambler.ru).

**Землякова Олена Володимирівна** – старший методист, Одеська національна академія харчових технологій; Кафедра Технології ресторанного і оздоровчого харчування; вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039;

**Землякова Елена Владимировна** – старший методист, Одесская национальная академия пищевых технологий; Кафедра Технологии ресторанного и оздоровительного питания; ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039; тел.: 097-591-98-77.

**Zemlyakova Elena**, senior methodologist Department of Technology restaurant and health food; Odessa National Academy of Food Technologies. Address: str. Kanatna 112, Odessa, Ukraine, 65039; tel.: 097-591-98-77.

УДК 669.295

**И. Ф. ЧЕРВОНЫЙ, Е. А. ГОЛОБОРОДЬКО, В. И. МАМОТЕНКО**

**ВЫПЛАВКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ (ОБЗОР)**

Выполнен анализ технологий и технологического оборудования для выплавки сплавов на основе титана с использованием металлического титана и титана из вторичного сырья. Исходя из требуемых механических и физико-химических характеристик сплавов на основе титана определены преимущественно целесообразные направления использования электронно-лучевой и индукционной плавки разнообразного исходного сырья с обеспечением заданных свойств конечного продукта.

При производстве сплавов на основе титана предусматривается обработка металлического титана в виде титановой губки или переработка титана из вторичного сырья – лома и отходов промышленности.

**Ключевые слова:** сплав, титан, электронно-лучевая плавка, индукционная плавка, плазменная плавка, вакуумно-дуговая плавка, отходы, лом, примесь

**Введение.** Титан и его сплавы обладают отличительными особенностями механических, физических и антикоррозионных свойств, которые находят широкое применение во многих областях науки и техники [1].

По распространенности в земной коре титан он занимает четвертое место после алюминия, железа и магния, а его распространенность в земной коре составляет около 0,6 %. [2] Титан - металл серебристо-белого цвета, имеющий малую плотность (4,5 г/см<sup>3</sup>).

Температура плавления титана (1668 ± 4) °С в зависимости от степени его чистоты. Изменение объема производства титана в мире (таблица 1) [3] характеризуется многочисленными свойствами титана, в сравнении с другими металлами: малая плотность, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, технологичность при обработке давлением и свариваемость, хладостойкость, высокая стойкость против солнечной радиации, немагнитность и др.

Таблица 1 – Объем производства титановой губки по странам, тыс. т [3]

Страна	Год								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
США	8	12	20	23	8	8	14	19	24
Украина	8	9	10	10	7	7	9	10	8
Казахстан	20	23	25	24	17	15	21	23	15
Россия	29	32	31	35	27	27	38	41	42
Япония	31	38	39	41	25	32	53	63	42
Китай	9	18	-15	50	41	58	65	102	105
Всего	105	132	173	183	125	147	200	261	236

© И. Ф. Червоний, Е. А. Голобородько, В. И. Мамотенко . 2015