

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЗБАЛАНСОВАНОСТІ АМІНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ КОЛАГЕНОВОГО ПРЕПАРАТУ**

**Н.А. Кушнір**

*Розглянуто колагеновий препарат, детально вивчено його амінокислотний склад і збалансованість. Визначено гідрофобність колагенів вторинної рибної сировини та проведено їх аналіз.*

**Ключові слова:** колагеновий препарат, амінокислотний склад.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА КОЛЛАГЕНОВОГО ПРЕПАРАТА**

**Н.А. Кушнір**

*Рассмотрен колагеновый препарат, детально изучен его аминокислотный состав и сбалансированность. Определена гидрофобность коллагенов вторичного рыбного сырья и проведен их анализ.*

**Ключевые слова:** колагеновый препарат, аминокислотный состав.

## **DETERMINATION OF THE BALANCE OF AMINO ACID STRUCTURE OF COLLAGENIC PREPARATION**

**N. Kushnir**

*The aim of the paper is to develop comparative characteristics of amino acid composition of hydrolysates produced from secondary fish raw materials.*

*To receive comparative characteristics of the amino acid composition of collagen hydrolysates it was necessary to determine the degree of hydrophobicity, shape of protein globules according to Fisher, calculate amino acid score of collagen hydrolysates with further balance assessment.*

*The highest content of amino acids in the collagen of carp scales is accounted for: glycine, proline, and alanine. As compared with the content of most amino acids in the carp skin their content is almost the same.*

*Therefore, Fisher curve confirms that collagen globules of carp scales and skin are spherical. Protein preparation has a low utility coefficient in comparison with the ideal protein ( $\alpha = 0,25$ ).*

*This imbalance shows that amino acids of the collagen preparation can be utilized by 25% in the human body, and being in the "excess" during assimilation there are not many amino acids ( $\sigma = 0,1\%$ ). The coefficient of differences in amino*

*acid composition is 1.05%. Balance of essential amino acids in relation to physiological norms is also characterized by the rationality coefficient (Rc) of amino acid composition, which is low for the collagen scales. The degree of productive use of essential amino acids in the human body as a plastic material (BTsp) is 94,25%.*

*Keywords: collagen preparation, the amino acid composition.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Сучасне харчування не дає змоги отримувати всі корисні речовини й тому все популярнішим стає вводити в раціон дієтичні добавки, які часто застосовуються не тільки як самостійна складова раціонів харчування, але й включаються як інгредієнти або функціональні добавки до харчових продуктів. Тому актуальним є розробка технології виробництва легкозасвоюваного колагенового препарату.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Колаген є фібрилярним білком глікопротеїдної природи, що складається з макромолекул, які мають унікальну триспиральну структуру, становить близько  $\frac{1}{3}$  усіх білків організму ссавців і 70% маси білків шкіри. В організмі людини він виконує важливу регуляторну роль – функціонування сполучної тканини (якісний склад структури клітин, забезпечення пружності та еластичності тканини, запобігання її зневодненню, забезпечення зволоження більш глибоких шарів шкіри та сповільнення її старіння, покращення стану волосся та нігтів. Протягом життя рівень колагену в організмі змінюється. Його кількість залежить також від швидкості метаболізму. На вироблення колагену впливає також раціон харчування, неправильно підібрані засоби догляду за шкірою та гормональні порушення [1]. В організмі повинен постійно відбуватися процес синтезу білків. Колаген, структурними одиницями якого є амінокислоти, утворюється в результаті розщеплення білків із продуктів харчування. Утворення білків зупиняється, якщо відсутня хоча б одна незамінна амінокислота. Під час формування свого раціону важливо включити до нього продукти, які посилюють вироблення колагену.

Багато років колаген вважався нерозчинним у воді і незасвоюваним. Причиною цього є те, що нативний колаген не піддається впливу трипсину, що міститься в шлунковому середовищі, однак він гідролізується бактеріальним ферментом колагеназою [2]. Коли колаген кип'яять у воді, потрібний завиток його структури руйнується й субодиниці частково гідролізуються, продуктом цього гідролізу стає желатин. Розгорнуті ланцюг пептидів желатину захоплюють велику кількість води, спричиняючи до утворення гідратованих молекул.

Гідролізат колагену – натуральний амінокислотний коктейль, ефективно зволожує шкіру, стимулює регенерацію волокон колагену в ній, уповільнює процеси її старіння, надає їй пружність. Як білок колаген не є повноцінним – у ньому немає цистину, триптофану й швидко руйнується глютамін. Користь колагену полягає в наявності двох амінокислот, які рідко зустрічаються в інших білках, – оксипроліну й оксилізіну, а також як джерело гліцину (до 30%).

Гідроліз – один із методів деструкції білків, у результаті якого відбувається розрив пептидних зв'язків білкової молекули [3]. Процес відбувається з приєднанням води та утворенням азотистих сполук.

У процесі жорсткого кислотного гідролізу відбувається значна зміна білкових структурних одиниць. Повністю руйнується триптофан. Разом із цим піддаються руйнації та рацемізації (створення стереоізомерів, не засвоюються організмом), хоча й меншою мірою, оксикислоти, дикарбонові кислоти та пролін. Під час руйнування амінокислот утворюються альдегіди, аміак і вуглекислий газ. У результаті кислотного гідролізу виникають D-ізомери деяких заміних амінокислот, які не засвоюються клітиною та можуть бути інгібіторами клітинного росту. Внесення високих концентрацій кислоти для проведення гідролізу вимагає її нейтралізації, що призводить до високого вмісту солей хлоридів і сульфатів, які є токсичними для організму. Такі гідролізати мають високий вміст золи за рахунок нітровмісних сполук [2].

Під час лужного гідролізу відбувається рацемізація більшості амінокислот і повне руйнування аргініну, лізину, цистину й цистеїну. У результаті лужного гідролізу утворюється комплекс чужих для організму компонентів.

Гідроліз білків, здійснюваний за допомогою протеолітичних ферментів, позбавлений усіх перерахованих недоліків кислотного та лужного гідролізу. У його ході не відбувається патологічних змін продуктів гідролізу, і хоча цей тип гідролізу проходить не більше ніж на 70...80%, отримані результати розщеплення – компоненти фізіологічні, легко проникають у клітину та включаються в процеси клітинного метаболізму [4]. У цьому випадку ми маємо справу з технічним моделюванням функції травного тракту, зокрема з функцією гідролітичного розщеплення спожитих організмом білків за допомогою протеолітичних ферментів тваринного походження. Причому найбільш близькі за властивостями до ферментів шлунково-кишкового тракту (ШКТ) людини ферменти, що виділяються з організму свиней.

Гідролізати, отримані ферментативним гідролізом, проявляли більшу активність, ніж кислотні та лужні гідролізати аналогічної білкової сировини. Таким чином, технологія виготовлення біологічно активних препаратів ферментативним способом гідролізу білкової сировини є екологічно чистою та доступною. Хімічна будова олігопептидних фрагментів колагену залежить від виду гідролізатора й умов проведення гідролізу, а також від стійкості різних пептидних зв'язків  $-CO-NH-$  до гідролізу під дією різних реагентів і при різних значеннях рН. Під дією водних розчинів кислот, лугів або ферментів проходить деструкція колагену, тобто розрив пептидних зв'язків  $-CO-NH-$  в поліпептидних ланцюгах колагену з утворенням водорозчинних продуктів [3].

Розробка безвідходних і маловідходних технологій передбачає якомога більш повне вилучення та переробку корисних речовин, що містяться в сировині, та пошук раціональних шляхів переробки відходів, що утворюються [5]. Розроблена нами технологія отримання рибних білкових ізолятів із атерини передбачає відділення нутрощів, з яких можуть бути вироблені ферментні препарати, а також витяжка саркоплазматичних і міофібрилярних білків, що використовується в харчуванні. Після екстракції білкових фракцій залишається щільний залишок, вихід якого коливається в межах 80% від маси, що надійшла на переробку сировини.

Рибні відходи є джерелом колагену та продуктів його гідролізу, які можуть широко використовуватися в харчовій промисловості [7]. Інтерес до колагену, отриманого з рибопродукції, пов'язаний із тим, що губчаста енцефалопатія стала настільки серйозною проблемою, що використання колагену тваринного походження стає небезпечним. Крім того, рибний колаген є гіпоалергенним (оскільки на 96% ідентичний до людського білка). Ступінь гідролізу колагеновмісної сировини може бути як неповним, так і повним з отриманням пептидів, пептонів і вільних амінокислот. Отримані гідролізати можна використовувати під час виробництва біологічно активних добавок і добавок, що збільшують харчову цінність страв.

**Метою статті** є розробка порівняльної характеристики амінокислотних складів гідролізатів, отриманих із вторинної рибної сировини.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для порівняльної характеристики амінокислотного складу гідролізатів колагену треба визначити математичним шляхом ступінь гідрофобності, форму білкової макромолекули за Фішером, розрахувати амінокислотний скор гідролізатів колагену з подальшою оцінкою збалансованості їх

амінокислотного складу за незамінними амінокислотами. Гідролізований колаген отримують за принципом, який описано в патенті [6].

Молекулярну масу та гомогенність отриманого колагенового препарату визначали методом електрофорезу в 15%-му поліакриламідному гелі. Амінокислотний склад макромолекули колагенового препарату визначали на амінокислотному аналізаторі Hitachi 835 (табл. 1). Характеристика гідрофобності амінокислот колагенового препарату наведено в таблиці 2.

Найбільше в колагені луски карпа міститься гліцину (33,50 г/100 г), проліну (11,82 г/100 г), аланін (10,93 г/100 г), вміст цих самих амінокислот в шкірі карпа майже однаковий. Наявність великої кількості оксипроліну та оксилізіну (15,42%) вказує на значний вміст колагену в рибній сировині. За наявності атомарного кисню та вітаміну С лізин і пролін окиснюються до оксипроліну та оксилізіну, які беруть участь в утворенні колагенових волокон в організмі людини.

Таблиця 1

**Амінокислотний склад отриманого колагенового препарату**

№ з/п	Амінокислота	Молекулярна маса амінокислоти	г на 100 г білка	моль/100 г білка
1	Глютамінова кислота	147,74	7,19	0,048
2	Аспарагінова кислота	133,11	4,90	0,037
3	Аргінін	174,22	4,55	0,025
4	Лейцин	131,18	2,66	0,020
5	Фенілаланін	165,20	1,31	0,008
6	Валін	117,10	2,02	0,017
7	Гліцин	76,07	33,50	0,440
8	Лізин	146,20	2,60	0,017
9	Серин	105,06	3,87	0,036
10	Ізолейцин	131,18	1,36	0,010
11	Пролін	230,16	11,82	0,051
12	Тирозин	181,20	0,52	0,002
13	Треонін	119,08	1,87	0,016
14	Гістидин	155,16	0,42	0,003
15	Метіонін	149,22	0,42	0,003
16	Цистин	240,31	0,2	0,0008
17	Аланін	89,06	10,93	0,123
18	Триптофан	0	0	0

Таблиця 2

## Гідрофобність колагенового препарату

Амінокислота	$\Delta F$ , кДж/моль	Ступінь гідрофобності амінокислоти ( $\Delta F$ , кДж/моль)	Ступінь гідрофобності амінокислоти в колагеновому препараті ( $\Delta F$ , кДж/моль)
Гідрофільні амінокислоти			
Аланін	3,05	10,93	33,3365
Аргінін	3,05	4,55	13,8775
Цистин	2,71	0,2	0,542
Глютамінова кислота	2,5	7,19	17,975
Аспарагінова кислота	2,26	4,9	11,074
Треонін	1,84	1,87	3,4408
Серин	0,17	3,87	0,6579
Гліцин	0	33,5	0
Усього		67,01	80,9037
Гідрофобні амінокислоти			
Триптофан	12,5	0	0
Ізолейцин	14,4	1,36	19,584
Тирозин	12	0,52	6,24
Фенілаланін	11,1	1,31	14,541
Пролін	10,85	11,82	128,247
Лейцин	10,1	2,66	26,866
Валін	7,06	2,02	14,2612
Лізин	6,27	2,6	16,302
Гістидин	5,85	0,42	2,457
Метіонін	5,45	0,41	2,2345
Усього		23,12	230,7327

Сумарне відношення груп гідрофобних до гідрофільних у перерахунку на кількість амінокислотних залишків в 100 г білка дає можливість визначити ступінь гідрофобності білкової макромолекули колагену, який становить 2,85.

Співвідношення полярних (гідрофільних) залишків до неполярних (гідрофобних) дає можливість визначити конформацію білкової молекули. Для полегшення розрахунків вважали, що всі залишки мають однаковий об'єм і макромолекула покрита

мономолекулярним шаром полярних залишків товщиною  $d$ . При зроблених припущеннях  $b_s$  виражається формулою

$$b_s = V_{ГФЛ} / V_{ГФ} = 3d / r_0 - d$$

$$r_0 = 3d + b_s^d / b_s \text{ тоді } V = 4/3\pi * r_0^3.$$

За результатами досліджень Фішера, товщина гідратної оболонки глобули  $d$  знаходиться в межах 4...5 А. У наших розрахунках приймаємо її рівною 5 А. Радіус ядра глобули обчислюється за формулою

$$r = 3d / b_s, r_0 = r + 5/100.$$

Знаючи об'єм і ступінь гідрофобності, можна знайти показник заповнення ядра глобули гідрофільними залишками та за кривою Фішера визначити форму білкової молекули (табл. 2).

Таблиця 3

### Характеристика макромолекули колагенового препарату

Показник	Значення
Вміст гідрофільних залишків, $V_{ГФЛ}$	80,90
Вміст гідрофобних залишків, $V_{ГФ}$	230,73
Відношення $V_{ГФЛ} / V_{ГФ} (b_s)$	0,35
Радіус глобули, $r_0$ , мкм	0,5316
Радіус ядра глобули, $r$ , мкм	48,86
Об'єм глобули, $V$ , мкм <sup>3</sup>	0,6232
Показник заповнення ядра глобули гідрофільними залишками ( $b$ )	0,346

Дані розрахунків та крива Фішера свідчать, що отримане значення  $b$  відповідає знайденому  $b_s$ , тобто макромолекула колагенового препарату є сферичною.

Біологічну цінність колагенового препарату знаходили шляхом порівняння його амінокислотного складу зі шкалою амінокислот гіпотетично ідеального білка (табл. 4). Найбільш простим способом розрахунку амінокислотного сора (АС) є розрахунок відношення кількості кожної незамінної амінокислоти (АК) в дослідному білку до кількості білка цієї ж амінокислоти та гіпотетичного білка з ідеальною амінокислотою шкалою за формулою

$$AC = \frac{\text{мг АК в 1 г досліджуваного білка}}{\text{мг АК в 1 г ідеального білка}}$$

В ідеальному або стандартному білку амінокислотний скор кожної незамінної амінокислоти приймають за 1.

Таким чином, представлені в табл. 4 результати свідчать про те, що в колагеновому препараті амінокислотні залишки наявні далеко не в ідеальному співвідношенні, але їх можна використовувати для збалансування раціонів харчування такими амінокислотами, як оксилізін та оксипролін.

Збалансованість амінокислотного складу колагенового препарату (КП) за незамінними амінокислотами наведена в табл. 5.

Таблиця 4

**Амінокислотний склад макромолекули колагенового препарату  
(г/100 г білка)**

Амінокислота	Шкала ФАО/ВОЗ	Колагеновий препарат
Ізолейцин	0,63	0,03
Лейцин	0,92	0,2
Лізин	0,68	0,01
Метіонін+цистин	0,69	0,47
Фенілаланін+Тирозин	1,07	0,67
Треонін	0,48	0,42
Триптофан	0,17	0,1
Валін	0,74	0,4

Відповідно до наведених даних, амінокислотний склад колагенового препарату відрізняється від найбільш вивченого білка – білка курячого яйця. В його гідролізаті найбільше всього глютамінової кислоти, проліну, гліцину, валіну. Отриманий білок має відповідно до Фішера сферичну (глобулярну) форму. Колагеновий препарат має дефіцит аргініну, цистину порівняно з білком курячого яйця. Білок має низьке значення коефіцієнта утилітарності порівняно з ідеальним білком ( $\alpha = 0,25$ ). Такий дисбаланс засвідчує, що в організмі людини амінокислоти колагенового препарату можуть утилізуватися на 25%, а в надлишку під час засвоєння їх залишається небагато ( $\sigma = 0,15\%$ ). При цьому коефіцієнт відмінності амінокислотного складу (КРАС) характеризує потенційну можливість використання організмом білка не для пластичних потреб, а для анаболічних цілей за катаболічними шляхами, який становить 1,05%.



Ступінь продуктивного використання незамінних амінокислот організмом людини як пластичного матеріалу (БЦ<sub>п</sub>) становить 94,25%.

Таблиця 5

**Збалансованість амінокислотного складу КП**

Показник		Значення		Регламентовані значення (надійний / оптимальний рівень)
Амінокислоти	Переважаючі	Ізолейцин	0,03	0,63
		Метіонін + цистин	0,2	0,92
		Фенілаланін + тирозин	0,01	0,68
		Треонін	0,47	0,69
		Триптофан	0,67	1,07
		Валін	0,42	0,48
	Лімітуючі	Лейцин	0,1	0,17
		Лізин	0,4	0,74
		Усього	2,3	5,38
Мінімальний скор (C <sub>min</sub> ), дол. од.		0,4	→1	
Коефіцієнти	відмінності амінокислотного складу (КРАС), %	1,05	→min	
	утилітарності амінокислот (α) дол. од.	0,25	→1	
	раціональності (R <sub>c</sub> ), дол. од.	0,36	→1	
	зів'язаного надлишку (σ), %	0,15	→0	
Потенційна біологічна цінність (БЦ <sub>п</sub> ), %		94,25	→max	

**Висновки.** Отриманий колагеновий препарат не є повноцінним білком, але може бути використаний як дієтична добавка. Для колагенового препарату характерні високі показники пластичності, що дає можливість рекомендувати його до використання в харчуванні людей з опорно-рухового апарату.

**Список джерел інформації / References**

1. Пищевые волокна как сорбенты экологически вредных веществ в желудочно-кишечном тракте / М. С. Дудкин, Л. Ф. Щелкунов, С. П. Решта [и др.] // Морфология, физиология и клиника пищеварения : тез. докл. науч. конф., Одесса, 15–18 ноября 1993 г. – Одесса, 1993. – С. 35–36.

Dudkin, M.S., Shhelkunov, L.F., Reshta, S.P. (1993). "Dietary fibers as sorbents of environmentally harmful substances in the gastrointestinal tract". *Morphology, physiology and clinical digestion* ["Pishhevve volokna kak sorbentv jekologicheski vrednyh veshhestv v zheludochno-kishhechnom trakte"], Odessa, pp. 35-36.

2. Неклюдов А. Д. Выделение коллагенов из органов и тканей млекопитающих / А. Д. Неклюдов // Экологические системы и приборы. 2005. – № 11. – С. 24.

Neikliudov, A. D. (2005). "Isolation of collagen from the organs and tissues of mammals" ["Vvdelenie kollagenov iz organov i tkanej mlekopitajushhih"], *Ecological systems and devices*, Vol. 11, P. 24.

3. Химия пищи. В 2 кн. Кн. 1. Белки: структура, функции, роль в питании / И. А. Рогов, Л. В. Антипова, Н. И. Дунченко [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 384 с.

Rogov, I.A., Antipova, L.V., Dunchenko, N.I. (2000), *Food chemistry. 2 B. B. 1. Proteins: Structure, function, role in nutrition* [Himija pishhi; Belki: struktura, funkcii, rol' v pitanii]. 384 p.

4. Подной О. А. Исследование сорбционнобиологических веществ активированными углеродными волокнами / В. Г. Николаев, Л. И. Фридман // Химико-фармац. журнал. – 1984. – № 3. – С. 360–364.

Portnoi, O.A., Nikolaev, V.G., Fridman, L.I. (1984). "Study of sorption-biological substances activated by carbon fibers", *Chemical and pharmacy* ["Issledovanie sorbtsii biologicheskikh veshhestv aktivirovannymi uglerodnymi voloknami"]. Vol. 3, pp. 360-364.

5. Маймистов В. В. Физиологические основы селекции озимой пшеницы на засухоустойчивость : дис. ... д-ра биол. наук / В. В. Маймистов. – Краснодар. 2000. – 315 с.

Maimistov, V.V. (2000). *Physiological basis of selection for drought resistance winter wheat* [Fiziologicheskie osnovy selekcii ozimoy pshenicy na zasuhoustojchivost': dis. ... dokt. biol. nauk], Krasnodar, 315 p.

6. Пат. 79357 Україна МПК (2006.01) А23.1 1/04 Спосіб олежання колагенового препарату/ Тележенко Л. М., Кушнір Н. А. – № 79357 ; заявл. 13.08.2012 ; опубл. 25.04.2013. Бюл. № 8.

Telezhenko, L.M., Kushnir, N.A. (2013). A method for producing collagen preparation [Sposib oderzhanja kolagenovogo preparatu] Ukraine, Pat. 79357.

7. Воропаев В. М. Использование отходов рыбообработки в кормопроизводстве / В. М. Воропаев, Ю. Г. Блинов, В. Н. Акулин // Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре : тез. докл. / Краснодар, 1996. – С. 11.

Voropaev, V.M., Blinov, Yu.G., Akulin, V.N. (1996), "Using of fish processing waste in feed industry" ["Ispol'zovanie otkhodov ryboobrabotki v kormoproizvodstve", *Resursosberegayushchie tekhnologii v akvakulture – Saving technologies in aquaculture*], Krasnodar, pp. 11-12.

**Кушнір Надія Анатоліївна**, канд. техн. наук, доц., кафедра технологій ресторанного і оздоровчого харчування, Одеська національна академія харчових технологій. Адреса: вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039. Тел.: 0966867740; e-mail: adya282@rambler.ru.

**Кушнір Надежда Анатольевна**, канд. техн. наук, доц., кафедра технології ресторанного та оздоровителного питания, Одесская национальная академия пищевых технологий. Адрес: ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039; Тел.: 0966867740; e-mail: adya282@rambler.ru.

**Kushnir Nadya**, Candidate of Science Associate Professor, Department of Technology Restaurant and Health Food; Odessa National Academy of Food Technologies. Address: Kanatna, str., 112, Odessa, Ukraine, 65039. Tel.: 0966867740; e-mail: adya282@rambler.ru.

*Рекомендовано до публікації канд. техн. наук, доц. М.О. Янчевюю.  
Отримано 15.03.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 543.422:541.491:546.815:546.48:546.49

## **ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ «КАРКАДЕ» З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ТВЕРДОФАЗНОЇ СПЕКТРОФОТОМЕТРІЇ**

**Є.Є. Костенко, О.В. Максименко, О.М. Бутенко**

*Розроблено схему визначення мікроелементного складу харчової добавки «Каркаде». Вміст Pb(II), Cd(II), Zn(II), Hg(II) визначено методом твердофазної спектрофотометрії з використанням іммобілізованих на аніонообміннику АВ-17×8 пірокатехинового фіолетового, метилтимолового синього та хромазурола S відповідно. Вміст Cu(II), Fe(III) та P(V) визначено фотометрично, K, Na, Ca – методом полуменювої спектрофотометрії. Установлено, що вміст Pb(II), Cd(II), Zn(II), Hg(II), Cu(II), Fe(III) не перевищує ГДК.*

**Ключові слова:** *твердофазна спектрофотометрія, фотометричний аналіз, метали, барвники, харчові добавки.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ «КАРКАДЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ТВЕРДОФАЗНОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ**

**Е.Е. Костенко, О.В. Максименко, О.Н. Бутенко**

*Разработана схема определения микроэлементного состава пищевой добавки «Каркаде». Содержание Pb(II), Cd(II), Zn(II), Hg(II) определяли методом твердофазной спектрофотометрии с применением иммобилизованных на анионообменнике АВ-17×8 пирокатехинового фиолетового, метилтимолового синего и хромазурола S соответственно.*

---

© Костенко Є. Є., Максименко О. В., Бутенко О. М., 2015