

ISSN 1561-8331 (Print)  
ISSN 2524-2342 (Online)  
УДК 544.726; 547.466.1  
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-3-278-285>

Поступила в редакцию 29.04.2021  
Received 29.04.2021

**З. И. Куваева, Е. Г. Каранкевич**

*Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

## СОРБЦИЯ ДИПЕПТИДОВ И АМИНОКИСЛОТ ИОНИТАМИ

**Аннотация.** Изучена сорбция дипептидов лейцилизололейцина, треонилтреонина и их мономерных аминокислот лейцина и треонина анионитом АВ-17 и катионитом КУ-2-8 в широком диапазоне равновесных концентраций. Показано, что наличие гидрофильных ОН-групп в молекуле треонина способствует сверхэквивалентной сорбции треонина на катионите. Наличие ОН-групп в боковой цепи дипептида практически не влияет на сорбцию на КУ-2-8. Сорбция дипептидов на АВ-17-8 выше по сравнению с их мономерными аминокислотами.

**Ключевые слова:** сорбция, дипептид, аминокислота, анионит, катионит

**Для цитирования.** Куваева, З. И. Сорбция дипептидов и аминокислот ионитами / З. И. Куваева, Е. Г. Каранкевич // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2021. – Т. 57, № 3. – С. 278–285. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-3-278-285>

**Z. I. Kuvaeva, E. G. Karankevich**

*Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

## SORPTION OF PEPTIDES AND AMINO ACIDS BY ION EXCHANGERS

**Abstract.** Sorption of dipeptides leucylisoleucine, threonylthreonine and their monomeric amino acids leucine and threonine by anionite AV-17 and cationite KU-2-8 in a wide range of equilibrium concentrations has been studied. It was shown that the presence of hydrophilic OH-groups in the threonine molecule promotes superequivalent sorption of threonine on the cation exchanger. The presence of an OH-groups in the side chain of the dipeptide practically does not affect the sorption on KU-2-8. Sorption of dipeptides on AV-17-8 is higher in comparison with their monomeric amino acids.

**Keywords:** sorption, dipeptide, amino acid, anion exchanger, cation exchanger

**For citation.** Kuvaeva Z. I., Karankevich E. G. Sorption of peptides and amino acids by ion exchangers. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnyh navuk = Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Chemical series*, 2021, vol. 57, no. 3, pp. 278–285 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-3-278-285>

**Введение.** Ионообменные сорбенты находят широкое применение в процессах выделения и очистки биологически активных соединений [1, 2], в том числе аминокислот и продуктов пептидного синтеза из микробиологических сред, а также из сред органического синтеза [3–5]. В литературе имеется достаточно большое количество публикаций, касающихся выделения аминокислот из различных сред с использованием как катионо-, так и анионообменных сорбентов [6, 7]. Данные относительно пептидов практически отсутствуют. Вместе с тем интерес к пептидным препаратам в силу их выраженного фармакологического действия различной направленности постоянно возрастает. Применение пептидов в качестве субстанций для лекарственных препаратов предусматривает высокую степень их чистоты и соответствие качества фармакопейным требованиям [8, 9]. В этом плане использование твердых ионообменных сорбентов с целью очистки как от неорганических примесей, так и от примесей веществ родственной природы, таких как аминокислоты, является целесообразным. В работе [10] нами была изучена сорбция дипептида треонилтреонина в сравнении с аминокислотой треонин на КУ-2-8 и АВ-17.

Цель настоящей работы – сравнительное изучение сорбции дипептидов и аминокислот, различающихся наличием гидрофильных групп в углеводородном радикале, сильноосновным анионитом АВ-17-8 и сильнокислотным катионитом КУ-2-8.

**Материалы и методы исследования.** В качестве объектов исследования были выбраны дипептиды, проявляющие фармакологическую активность – лейцилизололейцин (Leu-Ile), треонилтреонин (Thr-Thr) и соответствующие им аминокислоты лейцин (Leu) и треонин (Thr). В работе использованы дипептиды производства Института физико-органической химии НАН Беларуси с содержанием основного вещества 99,7 %. Аминокислоты производства Sigma-Aldrich (степени

чистоты 99,5 %). Чистоту образцов аминокислот и дипептидов определяли методом потенциометрического неводного титрования и высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Использовали сорбенты катионо- и анионообменного типов КУ-2-8 в  $H^+$ -форме и АВ-17-8 в  $OH^-$ -форме. Иониты к работе готовили по стандартным методикам [11]. Обменная емкость анионита АВ-17-8 по  $Cl^-$ -иону равна 3,4 мг-экв/г, катионита КУ-2-8 по иону  $Na^+$  – 4,5 мг-экв/г. Удельное набухание КУ-2-8( $H^+$ ) составляет 1,35 г  $H_2O$ /г сухого ионита; для АВ-17-8( $OH^-$ ) – 1,0 г  $H_2O$ /г сухого ионита.

Изучение сорбции проводили методом переменных концентраций с фиксированным объемом раствора и массой ионита в соотношении 100/1 (мл раствора / г сухого ионита) при температуре  $20 \pm 0,5$  °С и периодическом перемешивании. Используемые растворы аминокислоты и дипептида имели нейтральное значение pH 6–7, отклонения pH равновесных растворов не превышали  $\pm 0,1$  единицы pH. По истечении 48 ч, т. е. времени, достаточного для достижения равновесия, отбирали пробу на анализ.

Определение количества дипептида и аминокислоты проводили нингидринным методом с использованием спектрофотометра SP-830 Plus Metertech при длине волны 490 нм.

Для количественной оценки сорбции в статических условиях рассчитывали концентрацию вещества в ионите ( $\bar{C}$ ) в ммоль/г сухого ионита, согласно формуле:

$$\bar{C} = (C_{исх} - C_p)V/m, \quad (1)$$

где  $C_{исх}$ ,  $C_p$  – соответственно концентрация в исходном и равновесном растворах дипептида или треонина, ммоль/л;  $V$  – объем раствора, л;  $m$  – масса сухого ионита, г.

Сорбционную емкость ионитов по аминокислоте или пептиду определяли при указанных выше температуре и объемно-массовых соотношениях водной фазы и ионита после достижения равновесия в системе при максимальном значении  $C_{исх}$ , которое определялось растворимостью аминокислоты или пептида.

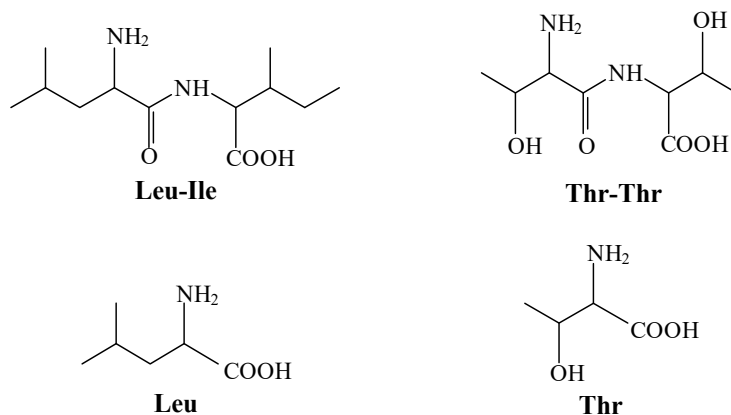
Концентрационные коэффициенты распределения  $D$  дипептида и аминокислоты рассчитывали по формуле:

$$D = (C_o - C_p)V/C_p m, \quad (2)$$

где  $C_o$ ,  $C_p$  – соответственно начальная и равновесная концентрация в водной фазе ммоль/л;  $V$  – объем водной фазы, мл;  $m$  – масса сухой навески ионита, г.

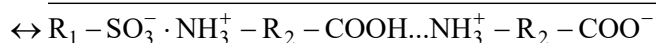
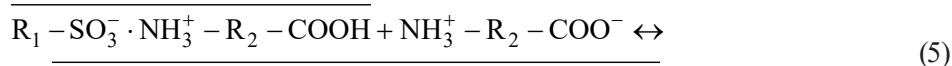
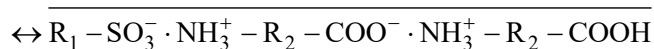
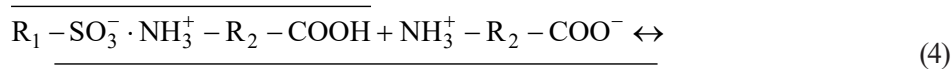
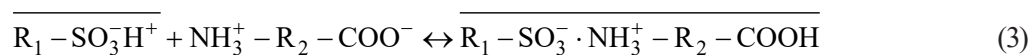
ИК-спектры записывали на ИК-Фурье спектрофотометре «Protege 460» фирмы «Nicolet» (США). Образцы ионита с дипептидом (или аминокислотой) после фильтрации высушивали до постоянной массы при температуре 60 °С и давлении 0,1 МПа, растирали и прессовали с КВг.

**Результаты и их обсуждение.** Структурные формулы изучаемых дипептидов и аминокислот приведены ниже.



Изотермы сорбции дипептидов Leu-Ile и Thr-Thr\* совместно с аминокислотами Leu и Thr на КУ-2-8 приведены на рис. 1. Сорбция может протекать по нескольким механизмам (3)–(5):

\* Данные по изучению сорбции Thr и Thr-Thr нами исследованы ранее и приведены в работе [9].



где чертой обозначена фаза сорбента;  $R_1$  – углеводородный радикал сорбента;  $R_2$  – оставшаяся часть молекулы дипептида или аминокислоты.

Как видно из показанных на рис. 1 зависимостей, изотермы сорбции дипептидов Leu-Ile и Thr-Thr выходят на плато приблизительно при  $C_p = 10$  ммоль/л. Максимальная степень заполнения дипептидами фазы сорбента составила  $\sim 3,1$  ммоль/г. Независимость содержания сорбата в фазе ионита от наличия OH-группы в углеводородном радикале дипептидов может свидетельствовать о преобладающем влиянии стерических факторов на взаимодействие сульфогруппы ионита с протонированной аминогруппой дипептидов.

Иная картина наблюдается при сорбции индивидуальных аминокислот Leu и Thr. Как видно из рис. 1, в отличие от дипептидов, наличие OH-группы в углеводородном радикале оказывает сильное влияние на сорбируемость аминокислот сульфокатионитом. Сорбция лейцина, имеющего гидрофобный радикал, не превышает обменную емкость КУ-2-8 и выходит на плато при  $C_p \sim 40$  ммоль/л. В данном случае определяющим является взаимодействие  $SO_3^-$ -группы ионита с протонированной аминогруппой Leu в соответствии с (1). Для аминокислоты Thr изотерма сорбции возрастает с увеличением  $C_p$ . Максимальное содержание треонина в фазе ионита составляет 9,07 ммоль/г. Наряду с протеканием сорбции треонина, согласно (3), переход Thr в фазу

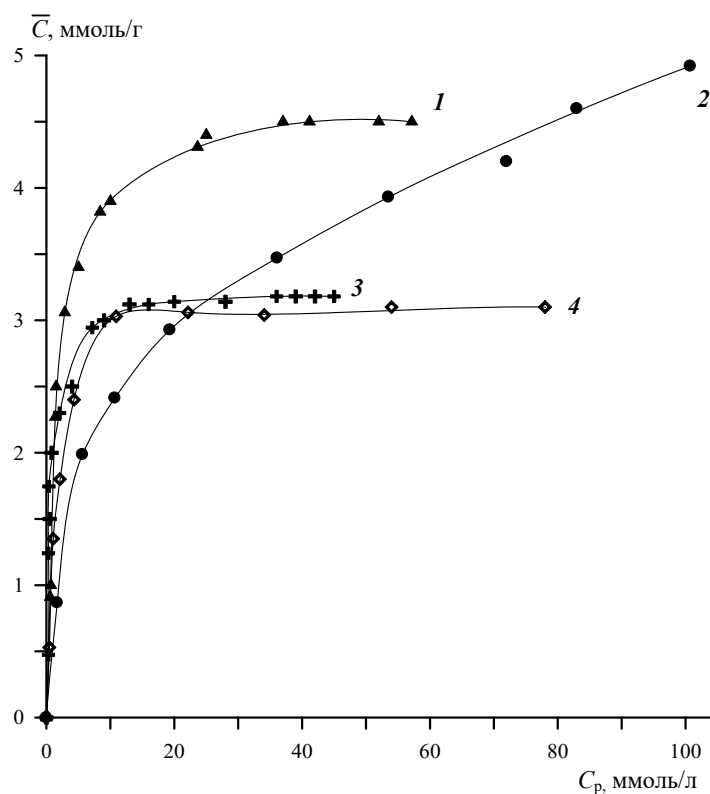


Рис. 1. Сорбция на КУ-2-8: 1 – Leu, 2 – Thr, 3 – Leu-Ile, 4 – Thr-Thr  
Fig. 1. Sorption on KU-2-8: 1 – Leu, 2 – Thr, 3 – Leu-Ile, 4 – Thr-Thr

сорбента может осуществляться за счет взаимодействий карбоксильной группы сорбированной аминокислоты с аминогруппой Thr, находящегося в растворе (4). Кроме того, возможно образование водородных связей (5), в том числе и с участием гидрофильных ОН-групп бокового радикала.

Подтверждение данного механизма действия нами показано в работе [10] на основании полученных ИК-спектров образцов КУ-2-8, содержащих Thr-Thr и Thr. На рис. 2 *a, b* приведены наиболее информативные участки спектров пропускания в области 1500–1800 см<sup>-1</sup>. Согласно литературным данным [12], отнесение полос приведено в таблице.

Образец КУ-2-8, содержащий Thr (рис. 2, *a*) имеет полосы поглощения диссоциированной и недиссоциированной карбоксильной группы соответственно при 1600 и 1738 см<sup>-1</sup>, а также проявления колебаний группы NH<sub>3</sub><sup>+</sup> при 1512 см<sup>-1</sup>. Наличие указанных полос поглощения свидетельствует о возможности протекания в ионите взаимодействий согласно уравнениям (3)–(5).

Отнесение полос области 1500–1800 см<sup>-1</sup> ИК-спектров образцов КУ-2-8/Thr-Thr; КУ-2-8/Thr  
Assignment of bands in the 1500–1800 cm<sup>-1</sup> region of the IR spectra of the samples KU-2-8 / Thr-Thr; KU-2-8 / Thr

$\lambda, \text{cm}^{-1}$	Отнесение
1600	Асимметричные валентные колебания карбоксилат-иона
1740–1720	Валентные >C=O колебания в неионизированной карбоксильной группе
1510–1515	Проявление деформационных колебаний –NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>
1680	(Полоса амид I) соответствует карбонильному поглощению в пептидной связи
1540	(Полоса амид II) характеризует деформационные колебания N-C пептидной связи

Образцы КУ-2-8, содержащие Thr-Thr (рис. 2, *b*), имеют сильное поглощение в области 1681 см<sup>-1</sup>, характерное для полосы амид I [12]. Полоса поглощения амид II, характеризующая деформационные колебания N–C пептидной связи, проявляется в области 1543 см<sup>-1</sup>. Слабое поглощение при 1600 см<sup>-1</sup> может быть отнесено к валентным колебаниям ароматического кольца (пульсационные колебания углеродного скелета низкой интенсивности КУ-2-8) [13].

Присутствие полосы поглощения недиссоциированной карбоксильной группы при 1732 см<sup>-1</sup> (рис. 2, *b*) свидетельствует о взаимодействии дипептида с сульфогруппой катионита КУ-2-8 по уравнению (3).

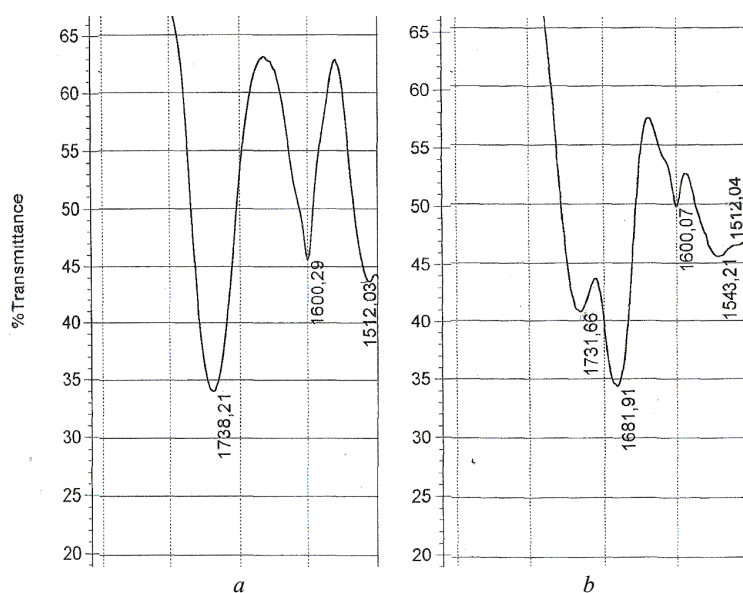
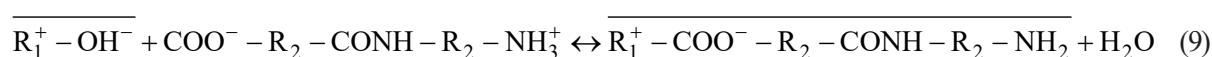
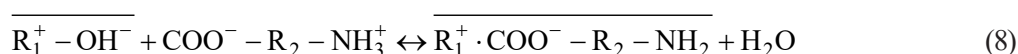
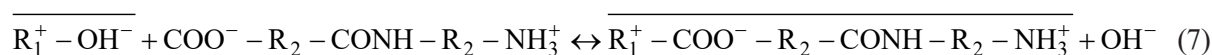
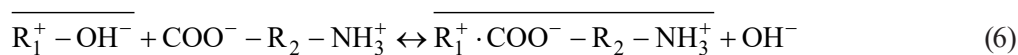


Рис. 2. Фрагменты ИК-спектров обезвоженных образцов: *a* – КУ-2-8/Thr ( $\bar{C}$  (Thr) = 5,0 ммоль/г);  
*b* – КУ-2-8/Thr-Thr ( $\bar{C}$  (Thr-Thr) = 3,1 ммоль/г)

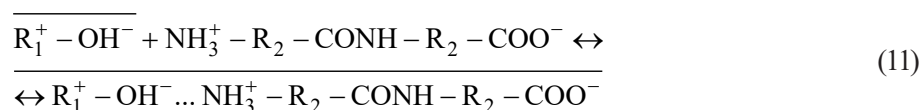
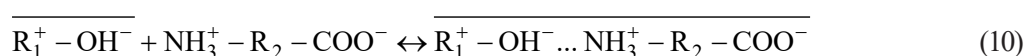
Fig. 2. Fragments of IR-spectra of dehydrated samples: *a* – KU-2-8 / Thr ( $\bar{C}$  (Thr) = 5.0 mmol/g);  
*b* – KU-2-8 / Thr-Thr ( $\bar{C}$  (Thr-Thr) = 3.1 mmol/g)

Отсутствие полос поглощения, свидетельствующих о наличии диссоциированной карбоксильной группы и  $\text{NH}_3^+$ -группы в фазе образца КУ-2-8/Thr-Thr, могут указывать на невозможность протекания сорбат-сорбатного взаимодействия подобного, как описано для аминокислоты Thr (4) и (5).

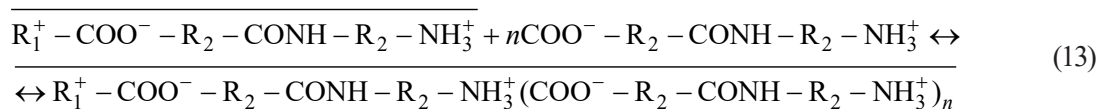
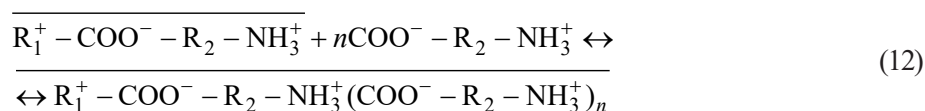
Сорбция указанных аминокислот и дипептидов на сильноосновном анионите АВ-17-8 может протекать по нескольким механизмам (6)–(13):



образование водородных связей:



сорбат-сорбатное взаимодействие:



где чертой обозначена фаза сорбента;  $\text{R}_1$  – углеводородный радикал сорбента;  $\text{R}_2$  – углеводородный радикал аминокислоты.

Зависимость содержания аминокислоты и пептида в фазе сорбента от их концентраций в равновесных растворах приведена на рис. 3. Анализ полученных результатов показывает, что сорби-

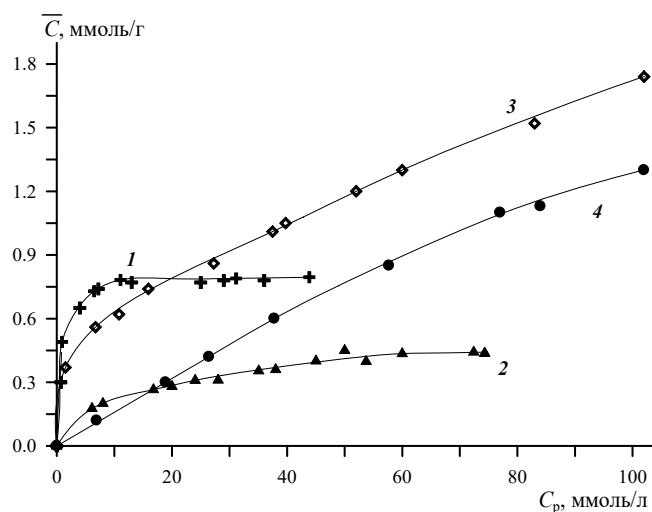


Рис. 3. Сорбция ионитом АВ-17-8: 1 – Leu-Ile, 2 – Leu, 3 – Thr-Thr, 4 – Thr  
Fig. 3. Sorption by ion exchanger AV-17-8: 1 – Leu-Ile, 2 – Leu, 3 – Thr-Thr, 4 – Thr

руемость Thr и Thr-Thr превышает сорбируемость Leu и Leu-Ile соответственно на участке кривой при  $C_p > 20$  ммоль/л. Это может быть обусловлено тем, что сорбция аминокислот и дипептидов на анионите АВ-17-8 сопровождается выделением свободной воды, что способствует образованию внутреннего раствора в фазе ионита (8), (9). В данном случае наличие ОН-групп в углеводородном радикале Thr и Thr-Thr облегчает их переход во внутренний раствор анионита.

Анализируя полученные данные видно, что в отличие от сорбции на КУ-2-8, пептиды проявляют более высокую сорбируемость анионитом по сравнению с аминокислотами. Это обстоятельство может быть обусловлено значительным вкладом в величину сорбции протекания реакции в соответствии с уравнением (11), за счет большей способности N-концевой группы дипептида образовывать водородные связи [14] с ОН-группой АВ-17-8.

Показано, что изотерма сорбции Thr-Thr выходит на плато при  $C_p > 150$  ммоль/л и достигает  $\bar{C}_{\text{Thr-Thr}} = 2,25$  ммоль/г. Сорбционная емкость по треонину для АВ-17-8 составила 4,84 ммоль/г.

Рассчитанные коэффициенты распределения для изученных зависимостей приведены в виде диаграмм на рис. 4 и 5 в зависимости от равновесных концентраций сорбируемых веществ в растворах.

Полученные результаты свидетельствуют, что коэффициенты распределения индивидуальных аминокислот и дипептидов значительно выше в случае сорбции катионитом КУ-2-8 (рис. 4). Коэффициенты распределения гидрофобной аминокислоты Leu выше по сравнению с дипептидом

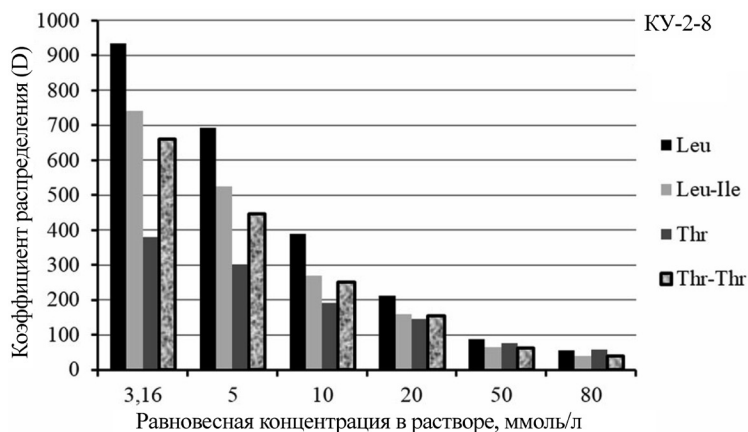


Рис. 4. Диаграмма зависимости коэффициента распределения ( $D$ ) от равновесной концентрации сорбции Leu, Leu-Ile, Thr, Thr-Thr на катионите КУ-2-8

Fig. 4. Diagram of the dependence of the distribution coefficient ( $D$ ) on the sorption equilibrium concentration of Leu, Leu-Ile, Thr, Thr-Thr by cation exchanger KU-2-8

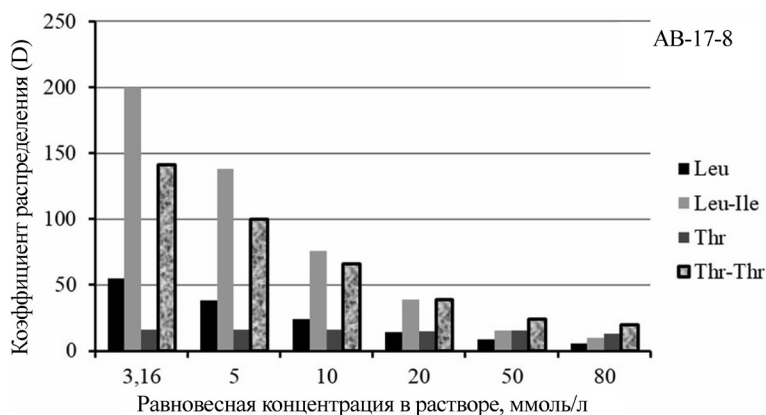


Рис. 5. Диаграмма зависимости коэффициента распределения ( $D$ ) от равновесной концентрации сорбции Leu, Leu-Ile, Thr, Thr-Thr на анионите АВ-17-8

Fig. 5. Diagram of the dependence of the distribution coefficient ( $D$ ) on the sorption equilibrium concentration of Leu, Leu-Ile, Thr, Thr-Thr by anion exchanger AB-17-8



Leu-Ile. Наличие гидрофильных ОН-групп в молекулах Thr и Thr-Thr существенно уменьшает значения их коэффициентов распределения.

Для анионита наблюдается иная картина (рис. 5). Независимо от наличия ОН-групп в углеводородном радикале аминокислоты, сорбция индивидуальных аминокислот Leu и Thr сопровождается более низкими коэффициентами распределения по сравнению с дипептидами Leu-Ile и Thr-Thr.

**Выводы.** Сорбция аминокислот Leu и Thr, а также дипептидов Leu-Ile и Thr-Thr значительно выше на сульфокатионите КУ-2-8. Наличие ОН-группы в углеводородном радикале Thr увеличивает его сорбируемость по сравнению с Leu на АВ-17-8 и обуславливает сверхэквивалентную сорбцию на КУ-2-8. На катионите сорбция дипептидов практически одинакова. Сорбируемость дипептидов на АВ-17-8 выше сорбируемости их мономерных аминокислот, вероятно, за счет большей способности N-концевой группы дипептида образовывать водородные связи с ОН-группой анионита.

### Список использованных источников

1. Демин, А. А. Ионообменная сорбция биологически активных веществ / А. А. Демин, И. А. Чернова, Л. К. Шатаева. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008. – 154 с.
2. Hentze, H.-P. Porous polymers and resins for biotechnological and biomedical applications / H.-P. Hentze, M. Antonietti // *Reviews in Molecular Biotechnology*. – 2002. – Vol. 90, N 1. – P. 27–53. [https://doi.org/10.1016/S1389-0352\(01\)00046-0](https://doi.org/10.1016/S1389-0352(01)00046-0)
3. Берсенёва В. С. Сорбционные методы выделения продуктов биосинтеза / В. С. Берсенёва, В. А. Бакулев. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 80 с.
4. Macroporous resin purification of peptides with umami taste from soy sauce / M. Zhuang [et al.] // <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615008493> - af005 *J. Food Chemistry*. – 2016. – Vol. 190. – P. 338–344. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.105>
5. Large scale solid phase synthesis of peptide drugs: use of commercial anion exchange resin as quenching agent for removal of iodine during disulphide bond formation / K. M. B. Reddy [et al.] // *International Journal of Peptides*. – 2012. – Vol. 2012. – P. 1–8. <https://doi.org/10.1155/2012/323907>
6. Мамонтова, Ю. Е. Термодинамические характеристики ионного обмена аминокислот на катионитах // Ю. Е. Мамонтова, Т. К. Стекольников, Ю. А. Стекольников // *Вестник ТГТУ*. – 2013. – Т. 19, № 4. – С. 826–831.
7. Хохлова, О. Н. Сорбция гистидина ионообменниками различной природы / О. Н. Хохлова, К. Э. Фролова // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2020. – Т. 20, № 6. – С. 726–733. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2020.20/3140>
8. Государственная фармакопея Республики Беларусь, ГФ РБ II / под общ. ред. А. А. Шерякова. – Молодечно: Победа, 2012. – Т. 1. – 1220 с.
9. Фармакопея Евразийского экономического союза. – М.: Евразийская эконом. комиссия. – 2020. – Т. 1, ч. 1. – 584 с.
10. Сорбция треонилтреонина и треонина ионообменными сорбентами / З. И. Куваева [и др.] // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2016. – Т. 16, № 6. – С. 838–846.
11. Полянский, Н. Г. Методы исследования ионитов / Н. Г. Полянский, Г. В. Горбунов, Н. А. Полянская. – М.: Химия, 1976. – 208 с.
12. Беллами, Л. Инфракрасные спектры сложных молекул / Л. Беллами. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 590 с.
13. Тарасевич, Б. Н. ИК-спектры основных классов органических соединений / Б. Н. Тарасевич: Справ. материалы. – М.: Изд-во МГУ, 2012. – 55 с.
14. Попов, Е. М. Проблема белка. – Т. 3. Структурная организация белка / Е. М. Попов. – М.: Наука, 1997. – 604 с.

### References

1. Demin A. A., Chernova I. A., Shataeva L. *KIon exchange sorption of biologically active substances*. St. Petersburg, Publishing house of St. Petersburg University, 2008. 154 p. (in Russian).
2. Hentze H.-P., Antonietti M. Porous polymers and resins for biotechnological and biomedical applications. *Reviews in Molecular Biotechnology*, 2002, vol. 90, no 1, pp. 27–53. [https://doi.org/10.1016/S1389-0352\(01\)00046-0](https://doi.org/10.1016/S1389-0352(01)00046-0)
3. Bersenyova V. S., Bakulev V. A. *Sorption methods of isolation of biosynthesis products*. Ekaterinburg, Ural University Publ., 2018. 80 p.(in Russian).
4. Zhuang <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615008493> - af005M., Zhao M, Lin L., Dong Y., Chen H., Feng M., Sun-Waterhouse D., Su G. Macroporous resin purification of peptides with umami taste from soy sauce. *Food Chemistry*, 2016, vol. 190, pp. 338–344. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.105>
5. Reddy K. M. B., Kumari Y. B., Mallikharjunasarma D., Bulliraju K., Sreelatha V., Ananda K. Large scale solid phase synthesis of peptide drugs: use of commercial anion exchange resin as quenching agent for removal of iodine during disulphide bond formation. *International Journal of Peptides*, 2012, vol. 2012, pp.1–8. <https://doi.org/10.1155/2012/323907>
6. Mamontova Yu. E., Stekolnikov T. K., Stekolnikov Yu. A. Thermodynamic characteristics of ion exchange of amino acids on the cation exchangers. *Vestnik TGTU = TSTU Transactions*, 2013, vol. 19, no. 4, pp. 826–831 (in Russian).

7. Khokhlova O. N., Frolova K. E. Sorption of histidine by different types of ion exchangers. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy = Sorption and Chromatography processes*, 2020, vol. 20, no. 6, pp. 726–733 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2020.20/3140>
8. Sheryakov A. A. (ed.). *State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus. GF RB II. Vol. 1*. Molodechno, Pobeda Publ., 2012. 1220 p. (in Russian).
9. *Pharmacopoeia of the Eurasian Economic Union. Vol. 1, part 1*. Moscow, Eurasian econom. Commission, 2020. 584 p. (in Russian).
10. Kuvaeva Z. I., Karankevich E. G., Rudakovskaya E. B., Bulyga D. M. Sorbtion of threonylthreonine and threonine by ion exchange sorbents. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy = Sorption and chromatography processes*, 2016, vol. 16, no. 6, pp. 838–846 (in Russian).
11. Polyanskiy N. G., Gorbunov G. V., Polyanskaya N. A. *Methods of ion exchangers research*. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 208 p. (in Russian).
12. Bellamy L. *Infrared spectra of complex molecules*. Springer, Dordrecht, 1980. 300 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-6520-4>
13. Tarasevich B. N. *IR spectra of the main classes of organic substances*. Moscow, Moscow State University Publishing House, 2012. 55 p. (in Russian).
14. Popov E. M. *The problem of protein. Vol. 3. Structural organization of protein*. Moscow, Nauka Publ., 1997. 604 p. (in Russian).

### Информация об авторах

*Кuvaева Зоя Ивановна* – д-р хим. наук, профессор, зав. отделом. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lie@ifoch.bas-net.by

*Каранкевич Елена Григорьевна* – канд. хим. наук, зав. лаб. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: extract@ifoch.bas-net.by

### Information about the authors

*Zoya I. Kuvaeva* – D. Sc. (Chemistry), Professor. Head of the Department. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lie@ifoch.bas-net.by

*Elena G. Karankevich* – Ph. D. (Chemistry), Head of the Laboratory. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: extract@ifoch.bas-net.by