

## ВЫДЕЛЕНИЕ ГИСТИДИНА ИОНООБМЕННИКОМ АВ-17×2П

В. Ф. Селеменев<sup>1</sup>, Н. А. Беланова<sup>1</sup>, А. А. Назарова<sup>1</sup>, Л. А. Синяева<sup>1</sup>, Л. Н. Коломиец<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет

<sup>2</sup> Институт физической химии и электрохимии

им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

Поступила в редакцию 30.08.2022 г.

**Аннотация.** Сорбционные методы активно используются при извлечении таких биологически активных веществ как аминокислоты из многокомпонентных систем. Изучение равновесных параметров сорбции позволяет определить особенности удерживания вещества в сорбенте, а также раскрыть физико-химическую природу закрепления вещества. Изучение изотерм сорбции позволяет выявить влияние структуры сорбента и сорбата на возможность взаимодействий не только сорбент-сорбат, но и сорбат-сорбат, сорбат-растворитель и прочее.

В настоящей работе исследованы закономерности сорбции гистидина в виде аниона и цвиттер-иона на высокоосновном анионообменнике АВ-17×2П. Гистидин – гетероциклическая аминокислота, способная к образованию ассоциатов. Поэтому процесс поглощения гистидина может происходить как за счет ионного обмена, так и посредством сорбат-сорбатных взаимодействий в системе анионит АВ-17×2П - гистидин.

Изотермы сорбции гистидина высокоосновным анионообменником АВ-17×2П имеют перегибы, что свидетельствует о сложности протекания процесса, так как наряду с ионным обменом в системе анионит-раствор гистидина имеет место необменное поглощение. Более того наблюдается сверхэквивалентная сорбция, то есть количество поглощенной аминокислоты превышает обменную емкость анионита. Определены вклады обменной и необменной сорбции в сорбционную емкость. Показано, что поглощение гистидина происходит за счет ионного обмена и сорбат-сорбатных взаимодействий в системе анионит АВ-17×2П-гистидин-растворитель. Образование ассоциатов типа сорбат-сорбат и сорбат-вода, подтверждены данными ИК-спектроскопии. Результаты гравиметрического контроля свидетельствуют об изменении содержания воды в ионите при поглощении гистидина и подтверждают значительную дегидратацию ионита в ходе сорбционного процесса.

Сопоставляя ионообменные составляющие изотерм сорбции отмечено, что для всех ионных форм гистидина и ионита они аналогичны и имеют вид выпуклой изотермы. Для ионита в Cl<sup>-</sup> форме количество поглощенных по ионному обмену ионов гистидина больше, чем для анионита в OH<sup>-</sup> форме, причем двухзарядных ионов поглощается больше, чем однозарядных на любой ионной форме анионита АВ-17×2П.

**Ключевые слова:** анионит АВ-17×2П, межмолекулярные ассоциаты, ИК-спектроскопия, гистидин, валентные колебания, деформационные колебания.

Сорбция ионообменниками органических веществ имеет специфический характер. Это вызвано, с одной стороны, большими размерами и сложностью строения органических молекул, а с другой стороны – особенностями поведения их в растворе, т.е. способностью образовывать ассоциаты между собой и растворителем и находиться в растворе в различных ионных формах [1-4]. Поэтому на процесс поглощения аминокислот влияют множество факторов, среди которых величина рН,

от которой зависит ионная форма аминокислоты в растворе, а также тип противоионов, связанных с матрицей ионита, т.е. ионная форма смолы [3-7].

Целью настоящей работы являлось изучение сорбции одно-и двухзарядных анионов гистидина анионитом АВ-17×2П в Cl<sup>-</sup> и OH<sup>-</sup> формах при соответствующих значениях рН. Сорбцию осуществляли в динамических условиях при 295 К.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В центрифужные стаканчики (предварительно замоченные в воде, отцентрифугированные и взвешенные) помещали навески смолы массой

© Селеменев В. Ф., Беланова Н. А., Назарова А. А., Синяева Л. А., Коломиец Л. Н., 2022

0.2000±0.0002 г, заливали водой и оставляли на 24 ч для набухания. Затем стаканчики центрифугировали, взвешивали и пропускали раствор гистидина заданной концентрации со скоростью 1 см<sup>3</sup>/мин (10-ти кратный избыток по отношению к емкости смолы). Стаканчики центрифугировали и взвешивали. Далее стаканчики со смолой промывали дистиллированной водой, собирая в мерные колбы на 50.00 см<sup>3</sup>, и снова центрифугировали стаканчики.

Гравиметрический контроль в ходе опытов позволил определить содержание воды в ионите.

Концентрацию гистидина в растворе определяли по разности концентраций исходного и равновесного растворов. Равновесный раствор анализировали на содержание гистидина с помощью спектрофотометра СФ-46 (Россия).

Время центрифугирования было определено в предварительных опытах и составило 5 мин при скорости 3000 об/мин. Емкость используемой смолы 3.5 мг-экв/г, влажность 12.75%.

Гистидин может находиться в растворе в различных ионных формах в зависимости от pH (рис. 1), поэтому в исходных растворах посредством прибавления щелочи (NaOH) устанавливали величины pH, равные 10.00 и 12.00, необходимые для образования в растворах однозарядных или двухзарядных анионов гистидина соответственно.

Результаты эксперимента представлены в виде изотерм сорбции, отражающих зависимость количества вещества, поглощенного 1 г анионита, от концентрации равновесного раствора.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные изотермы сорбции (рис. 2, 3) имеют различные перегибы, что свидетельствует о сложности протекания процесса, т.е. наряду

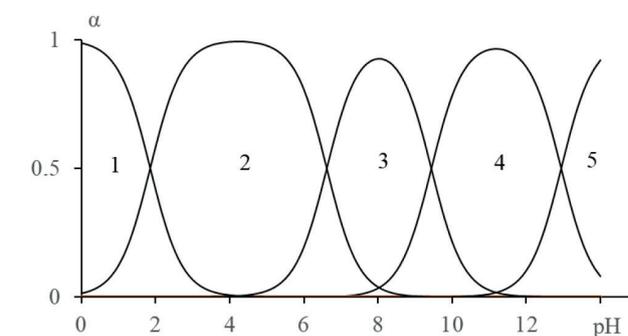
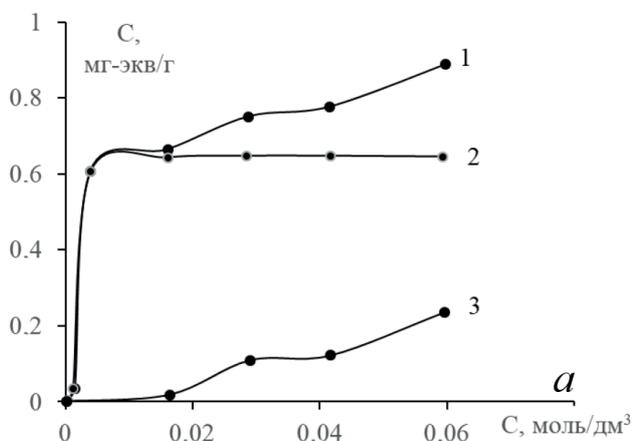


Рис. 1. Содержание различных ионных форм гистидина в растворе в зависимости от pH: 1 – His<sup>2+</sup>; 2 – His<sup>+</sup>; 3 – His<sup>0</sup>; 4 – His<sup>-</sup>; 5 – His<sup>2-</sup>

с ионным обменом в системе анионит-раствор гистидина имеет место необменное поглощение. Более того наблюдается сверхэквивалентная сорбция, т.е. количество поглощенной аминокислоты превышает обменную емкость анионита.

На изотермах при концентрации гистидина в растворе больше 0.015 моль/дм<sup>3</sup> наблюдается перегиб. По мере дальнейшего увеличения концентрации равновесного раствора обнаруживается различие вида кривых, что может указывать на различие в механизме закрепления гистидина в фазе ионита.

При исследованиях поглощения анионитом АВ-17×2П в ОН-форме одно- и двухзарядных анионов гистидина на изотермах сорбции наблюдается второй перегиб при концентрациях выше 0.04 моль/дм<sup>3</sup>. Для двухзарядного анионита подъем более резкий, чем для однозарядного. Это свидетельствует о более высокой селективности ионита АВ-17×2П к анионам His<sup>2-</sup>.

При сорбции гистидина в Cl<sup>-</sup> -формой ионита для однозарядного аниона гистидина наблюдает-

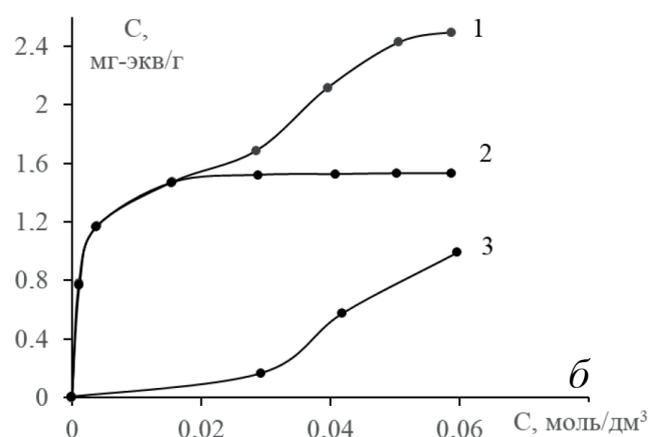


Рис. 2. Изотермы сорбции гистидина на микропористом анионите АВ-17×2П в ОН-форме: а – сорбция His; б – сорбция His<sup>2-</sup>, 1 – полная изотерма сорбции; 2 – ионообменная составляющая изотермы сорбции; 3 – необменная составляющая изотермы

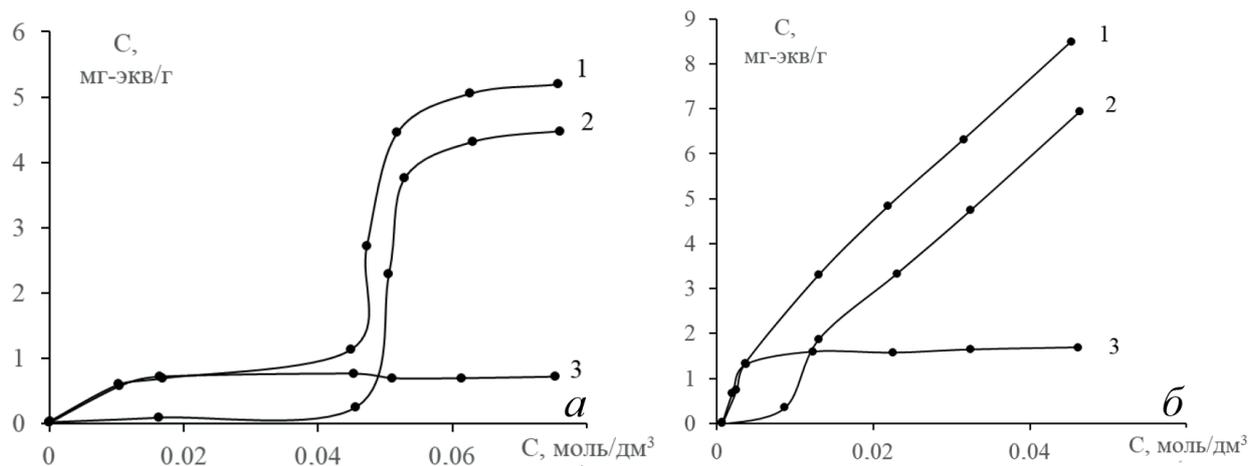


Рис. 3. Изотермы сорбции гистидина на микропористом анионите АВ-17×2П в Cl<sup>-</sup> -форме: а – сорбция His<sup>-</sup>; б – сорбция His<sup>2-</sup>, 1 – полная изотерма сорбции; 2 – ионообменная составляющая изотермы сорбции; 3 – необменная составляющая изотермы

ся более четкий второй перегиб на изотерме при  $C > 0.04$  моль/л (рис. 3, а), чем для His<sup>2-</sup>, для которого перегиб на изотерме мало заметен (рис. 3, б).

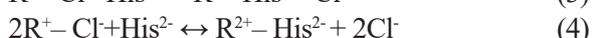
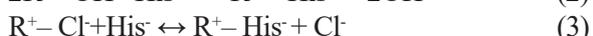
Количество сорбированного двухзарядного аниона гистидина выше, чем однозарядного.

Также представляет интерес сравнить изотермы сорбции одинаково заряженных ионов гистидина на микропористом АВ-17×2П, находящемся в двух различных формах: Cl<sup>-</sup> - форме и OH<sup>-</sup> -форме. При малых концентрациях ионов гистидина изотермы практически совпадают для обеих ионных форм ионита.

При увеличении концентрации гистидина наблюдается различие в ходе изотерм, и сорбция на Cl<sup>-</sup> -форме превышает поглощение на OH<sup>-</sup> -форме более, чем в 3 раза, что может косвенно свидетельствовать о различном механизме закрепления сорбата в смоле.

Гистидин – гетероциклическая аминокислота, способная к образованию ассоциатов, т.к. имеет в своей структуре amino- оксигруппировки. Поэтому процесс поглощения гистидина может происходить как за счет ионного обмена, так и посредством сорбат-сорбатных взаимодействий в системе анионит АВ-17×2П - гистидин.

Процесс ионного обмена можно представить уравнениями:



Определяя количество выделившихся ионов Cl<sup>-</sup> и OH<sup>-</sup>, эквивалентных сорбировавшимся по ионному обмену анионам гистидина, можно вычленить ионообменную составляющую изотермы сорбции

(рис. 2, 3 кривые 2). Затем, путем вычитания, выделяется необменная составляющая (рис. 2, 3 кривые 3).

По разложению изотермы на составляющие видно, что до первой точки перегиба в системе анионит-гистидин происходит преимущественно ионный обмен, т.е. формируется монослой из ионов сорбата, а необменная составляющая мала.

Сопоставляя ионообменные составляющие изотерм сорбции (рис. 2, 3 кривые 2), можно отметить, что для всех ионных форм гистидина и ионита они аналогичны и имеют вид выпуклой изотермы. Для Cl<sup>-</sup>-формы ионита количество поглощенных по ионному обмену ионов гистидина больше, чем для OH<sup>-</sup>-формы анионита, причем двухзарядных ионов поглощается больше, чем однозарядных на любой ионной форме анионита АВ-17×2П.

Сравнивая необменные составляющие изотерм сорбции можно отметить различие в ходе кривых для разных ионных форм гистидина и анионита. Для Cl<sup>-</sup>-формы ионита в случае сорбции His<sup>-</sup> наблюдается более четкий и резкий второй перегиб, чем для OH<sup>-</sup>-формы.

При сорбции His<sup>2-</sup> на OH<sup>-</sup> -форме перегиб явный, а на Cl<sup>-</sup>-форме слабо выражен, хотя количество сорбированной аминокислоты значительно выше. Из этого можно сделать вывод, что различие в механизме сорбции имеет место при необменном поглощении, т.е. при сорбат-сорбатных взаимодействиях, которые ведут к образованию ассоциатов в фазе ионита.

По результатам эксперимента было рассчитано число мономерных единиц сорбата в ассоциате при сорбат-сорбатном взаимодействии (рис. 4).

Оно выше для Cl<sup>-</sup> -формы ионита (достигает 6.35 для His<sup>2-</sup> и 9.72 для His<sup>-</sup>), чем для OH<sup>-</sup> - формы

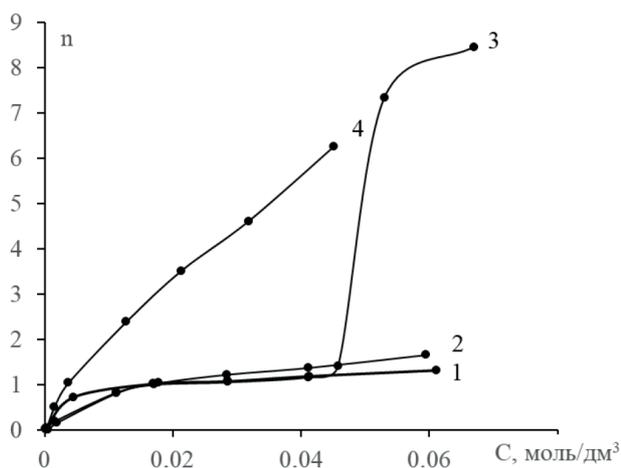


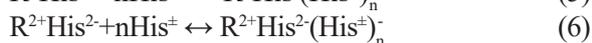
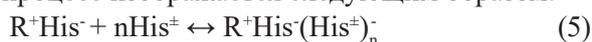
Рис. 4. Образование ассоциатов гистидина в фазе смолы: 1 – ассоциаты His<sup>-</sup> на OH<sup>-</sup>-форме смолы; 2 – ассоциаты His<sup>2-</sup> на OH<sup>-</sup>-форме смолы; 3 – ассоциаты His<sup>-</sup> на Cl<sup>-</sup>-форме смолы; 4 – ассоциаты His<sup>2-</sup> на Cl<sup>-</sup>-форме смолы

AB-17×2П (1.67 для His<sup>2-</sup> и 1.34 для His<sup>-</sup> соответственно).

Кроме того, однозарядный ион гистидина более склонен к ассоциации, чем His<sup>2-</sup> на Cl<sup>-</sup>-форме ионита, а способность двухзарядного аниона образовывать ассоциаты при сорбции на OH<sup>-</sup>-форме выше, чем у однозарядного аниона гистидина.

Все это связано с различием в механизме сорбции гистидина на различных ионных формах ионита. В фазе смолы, находящейся в Cl<sup>-</sup>-форме, значение pH много меньше, чем в растворе, а так как ионная форма гистидина зависит от величины pH (рис. 1), то при сорбции анионов аминокислоты в фазе ионита может происходить перезарядка ионов и будут образовываться цвиттер-ионы. Для His<sup>2-</sup> этот процесс происходит в две стадии и поэтому более сложен, чем для His<sup>-</sup>.

В таких случаях возможно образование ассоциатов сорбата за счет взаимодействия аминокислотных групп различных молекул гистидина, часть которых закреплена на ионите по ионообменному механизму, т.е. анионит AB-17×2П принимает ионную форму гистидина. Схематично процесс изображается следующим образом:

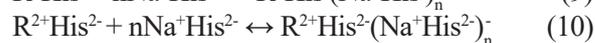


Аналогичный механизм закрепления гетероциклических аминокислот известен в литературе [9-10].

В случае сорбции гистидина OH<sup>-</sup>-формой анионита образование цвиттер-ионов не происходит, так как в фазе сорбента, вследствие высокой концентрации OH<sup>-</sup>-ионов, сохраняется высокое зна-

чение величины pH, при котором не происходит перезарядки и гистидин находится в форме анионов, электростатическое отталкивание между которыми затрудняет образование ассоциатов. Из изотерм сорбции и расчета числа молекул в ассоциации видно, что даже при поглощении His<sup>2-</sup> и His<sup>-</sup> OH<sup>-</sup>-формой смолы наблюдается незначительное сорбат-сорбатное взаимодействие, приводящее к возникновению ассоциатов.

В этом случае необменное поглощение может быть связано с проникновением коионов Na<sup>+</sup>, присутствующих в растворе, в фазу ионита, и, следовательно, возможностью образования солевых форм гистидина, которые способствуют образованию ассоциатов. Схематично это можно выразить так:



В случае сорбции His<sup>2-</sup> образование ассоциатов несколько затруднено, по сравнению с His<sup>-</sup>, т.к. в ионите в форме R<sub>2</sub><sup>+</sup> His<sup>2-</sup> меньше реакционных центров, способных к ассоциации.

Из литературных данных известно, что в кристаллах гистидина отдельные молекулы аминокислоты связаны друг с другом сеткой NH<sup>+</sup>⋯O и O-H<sup>+</sup>⋯O связей. При этом на каждый атом азота аминокислотных групп приходится по три водородные связи, образованные с атомами кислорода молекул воды [11]. Молекулы воды участвуют в двух водородных связях с атомами кислорода карбоксильных групп, где они являются донорами водородов [11].

Атомы азота имидазольных колец образуют по одной водородной связи с атомами кислорода карбоксильных групп [8].

По всей видимости аналогичные взаимодействия наблюдаются и в фазе ионита при увеличении содержания гистидина и образовании ассоциатов типа сорбат-сорбат и сорбат-вода, что подтверждается данными ИК-спектроскопии (табл. 1, 2; рис. 5).

Наличие в спектрах сорбента, насыщенного аминокислотой, максимума в области 2734-2616 см<sup>-1</sup> характерно для прочных ассоциатов воды с функциональными группировками гистидина, подобных кристаллогидратам. Доминирующим для сорбента, насыщенного гистидином, являются максимумы в области 3468-3334 см<sup>-1</sup>. Эти пики можно отнести к колебаниям гидратной воды с различной энергией связи. Отнесение полос поглощения представлено в таблице и свидетельствует об образовании прочных ассоциатов H<sub>2</sub>O⋯COO<sup>-</sup> групп в ионите, насыщенном аминокислотой [11-20].

Таблица 1

Отнесение колебаний в области гидратационных структур гистидина, сорбированного анионитом АВ-17×2П

$\nu, \text{см}^{-1}$		Отнесение полос
R-OH+His <sup>2-</sup>	R-Cl+His <sup>2-</sup>	
3520	3520	Валентные колебания OH(свободная) в воде
3440	2468	Валентные колебания OH в молекулах воды вблизи имидазольного кольца
-	3427	Валентные колебания OH в молекулах воды вблизи имидазольного кольца
3400	3401	$\nu$ OH молекул воды, ассоциированных друг с другом $\text{HOH}\cdots\text{OH}$ ,
3360	3347	Вода, ассоциированная с аминогруппами
3214	3240	Валентные колебания $\text{NH}_3^+$ , ассоциированной с $\text{COO}^-$ или валентные колебания OH группы, связанной с $\text{COO}^-$
2734	2694	$\text{H-OH}\cdots\text{O}=\text{C-O}$ в кристаллогидратных структурах

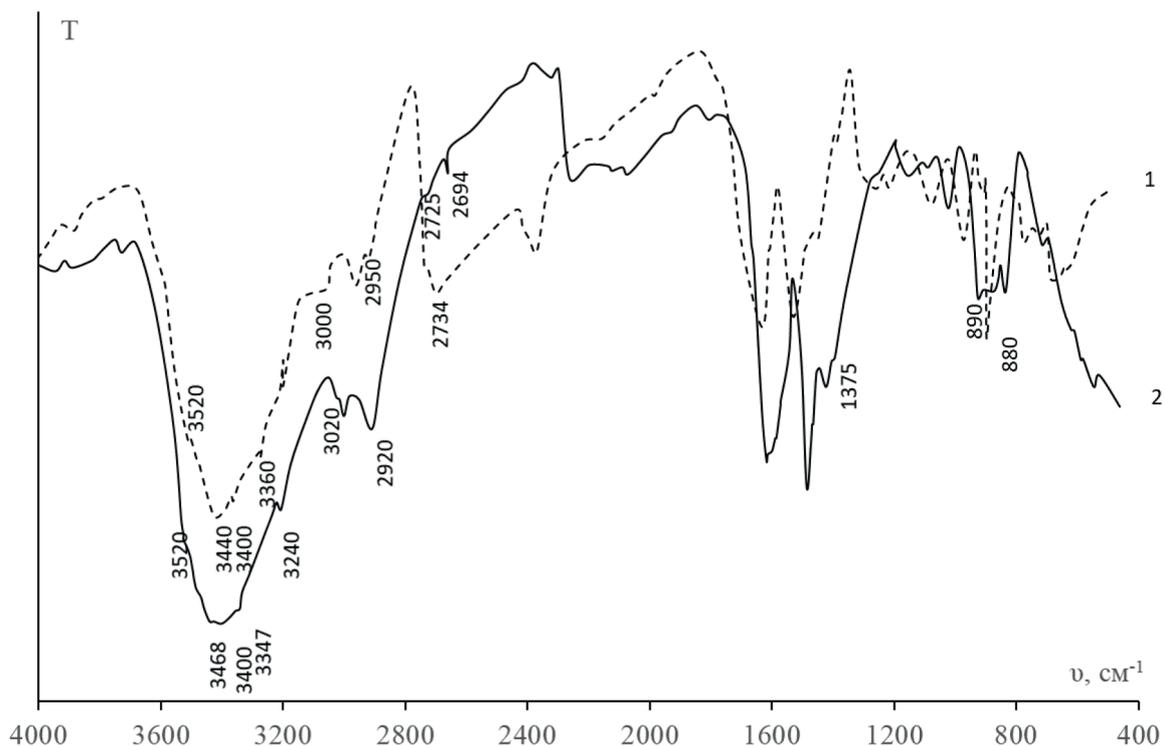


Рис. 5. ИК-спектры анионита АВ-17×2П, насыщенного His<sup>2-</sup>: 1 – OH-форма ионита, 2 – Cl-форма ионита

Таблица 2

Спектральное подтверждение взаимодействия гетероциклических колец

Ожидаемая частота колебаний, $\text{см}^{-1}$	Частота колебаний в спектрах, $\text{см}^{-1}$	
	R-OH+His <sup>±</sup>	R-Cl+His <sup>2-</sup>
900	890	880
1400-1200	1380	1375

Результаты гравиметрического контроля свидетельствуют об изменении содержания воды в ионите при поглощении гистидина (рис. 6) и подтверждают значительную дегидратацию ионита в ходе сорбционного процесса. При малых степенях заполнения ионита уменьшение количества воды более резкое, а при преобладании сорбат-сорбатных взаимодействий более интенсивное.

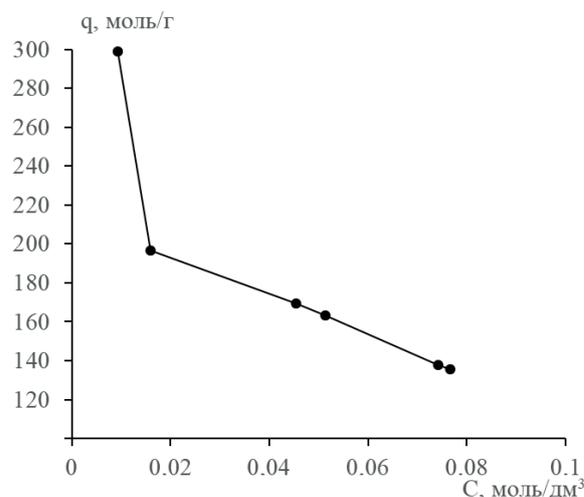


Рис. 6. Изменение содержания воды в ионите АВ-17×2П (Cl- форма) при поглощении однозарядного аниона гистидина

Концентрация сорбата в ионите высока и способствует усилению сорбат-сорбатных взаимодействий и образованию ассоциатов в фазе смолы. Дополнительная стабилизация возникших структур происходит за счет взаимодействия между плоскостями гетероциклических колец (т.е. за счет стэкинга эффекта). На присутствие в системе подобных взаимодействий указывает наличие в ИК-спектрах полос поглощения в области 1400-1200 см<sup>-1</sup> и около 900 см<sup>-1</sup> (табл. 1).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, поглощение анионов гистидина анионом АВ-17×2П в ОН- и Cl<sup>-</sup>-формах представляет собой сложный процесс, включающий в себя помимо непосредственно ионного обмена необменное поглощение гистидина за счет сорбат-сорбатного взаимодействия. Образование ассоциатов гистидина в фазе смолы приводит к тому, что концентрация ионов сорбента в анионообменнике превышает обменную емкость сорбента.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2020-2022 годы, проект № FZGU-2020-0044.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селеменов В.Ф., Хохлов В.Ю., Бобрешова О.В. Физико-химические основы сорбционных и мембранных методов выделения и разделения аминокислот. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2001. 299 с.
2. Selemenev V.F., Khokhlov V.Yu., Chikin G.A. // "Ion Exchange" edited by D. Muraviov, V. Gorshkov, A. Warshawsky. Marcel Dekker. New York. 2000. P. 615.
3. Селеменов В.Ф., Котова Д.Л., Орос Г.Ю., Загородний А.А. // Коллект. монография «100 лет хроматографии». Москва, Наука, 2003, С. 346-369.
4. Котова Д.Л., До Тхи Лонг, Крысанова Т.А., Селеменов В.Ф. // Журн. физ. химии. 2011. Т. 85. С. 2365.
5. Faghihian F.H., Nejati-Yazdinejad M. // Adsorpt. Sci. Technol. 2009. V. 27. P. 19-29.
6. Капуцкий Ф.Н., Юркштович Г.Л., Старобинец Г.Л., Бычковский П.М., Борщенская Т.И. // Журн. физ. химии. 2000. Т. 74. С. 277-282.
7. Селеменов В.Ф., Рудаков О.Б., Котова Д.Л., Елисеева Т.В., Воронюк И.В., Карпов С.И., Беланова Н.А, Мироненко Н.В., Синяева Л.А., Загородний А.А., Науменко Л.Ф. // Наследие М.С. Цвета в трудах воронежских химиков: в 2 т., Воронеж, 2021. Т. 1, гл. 3, п. 3.1. С. 89-131.
8. Муравьев Д.Н., Обрезков О.Н. // Журнал физической химии. 1986. Т. 60. №2. С. 396-401.
9. Селеменов В.Ф., Загородний А.А. Углянская Т.А., Чикин Г.А. // Журнал физической химии. 1992. Т.66. №6. С. 1555-1565.
10. Гурская Г.В. Структура аминокислот. Москва, Наука, 1996. 70 с.
11. Угрянская В.А., Чикин Г.А., Селеменов В.Ф., Завьялова Т.А. Инфракрасная спектроскопия ионообменных материалов. Воронеж, Изд-во ВГУ, 1989. 208 с.
12. Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. Москва, ИЛ, 1971. 318 с.
13. Наканиси К. Инфракрасная спектроскопия и строение органических соединений. Москва, Мир, 1965. 216 с.
14. Накомото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. Москва, Мир, 1966. 411 с.
15. Литтл Л. ИК-спектры адсорбированных молекул. Москва, Мир, 1969. 514 с.
16. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР- спектроскопии в органической химии. Москва, Высшая школа, 1971. 264 с.
17. Беккер Ю. Спектроскопия. Москва, Техносфера, 2009. 528 с.
18. Иогансен А.В. // Водородная связь. Москва, Наука, 1981. С. 112-155.
19. Селеменов В.Ф., Котова Д.Л., Хохлов В.Ю., Орос Г.Ю. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т. 13. № 5. С. 413-426.
20. Тиноко И. Физическая химия. Принципы и применение в биологических науках. Москва, Техносфера, 2005, 744 с.

*Воронежский государственный университет  
Селеменов В. Ф., д.х.н., проф. каф. аналитической химии  
E-mail: common@chem.vsu.ru*

*Voronezh State University  
Selemenev V. F., PhD., DSci, Full Professor, dept.  
of analytical chemistry  
E-mail: common@chem.vsu.ru*

Селеменев В. Ф., Беланова Н. А., Назарова А. А., Синяева Л. А., Коломиец Л. Н.

Беланова Н. А., к.х.н., ассистент каф. аналитической химии  
E-mail: belanovana@mail.ru

Belanova N. A., PhD, Assistant Professor, Department of Analytical Chemistry  
E-mail: belanovana@mail.ru

Назарова А. А., ассистент каф. аналитической химии  
E-mail: march\_rabbit@list.ru

Nazarova A. A., Assistant Professor, Department of Analytical Chemistry  
E-mail: march\_rabbit@list.ru

Синяева Л. А., к.х.н., ведущий инженер центра коллективного пользования научным оборудованием  
E-mail: liliya.sinyaevavsu@mail.ru

Sinyaeva L. A., PhD, the senior engineer, Centre for the Collective Use of Scientific Equipment  
E-mail: liliya.sinyaevavsu@mail.ru

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН  
Коломиец Л. Н., к.х.н., старший научный сотрудник  
E-mail: kolom\_moscow@mail.ru

Frumkin Institute of Physical and Electrochemistry  
Kolomiets L. N. PhD., researcher  
E-mail: kolom\_moscow@mail.ru

## HISTIDINE RECOVERY BY AV-17×2P ION EXCHANGER

V. F. Selemenev<sup>1</sup>, N. A. Belanova<sup>1</sup>, A. A. Nazarova<sup>1</sup>, L. A. Sinyaeva<sup>1</sup>, L. N. Kolomiets<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University

<sup>2</sup>A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS

**Abstract.** Sorption methods are actively used in the extraction of such biologically active substances as amino acids from multicomponent systems. The study of the equilibrium parameters of sorption makes it possible to determine the features of the retention of a substance in the sorbent, as well as to reveal the physicochemical nature of the fixation of a substance.

The study of sorption isotherms makes it possible to reveal the influence of the structure of the sorbent and sorbate on the possibility of interactions not only sorbent-sorbate, but also sorbate-sorbate, sorbate-solvent, etc.

In this work, the regularities of histidine sorption in the form of an anion and zwitterion on a highly basic anion exchanger AV-17×2P have been studied. Histidine is a heterocyclic amino acid that is capable of forming associates. Therefore, the process of absorption of histidine can occur both due to ion exchange and through sorbate-sorbate interactions in the system of anion exchanger AV-17×2P - histidine.

Sorption isotherms of histidine on a highly basic anion exchanger AV-17×2P have kinks, which indicates the complexity of the process, since along with ion exchange the non-exchange absorption takes place in the anion exchanger-histidine solution. Moreover, the superequivalent sorption is observed, which means that the amount of absorbed amino acid exceeds the exchange capacity of the anion exchanger. The contributions of exchange and non-exchange sorption to the sorption capacity are determined. It is shown that the absorption of histidine occurs due to ion exchange and sorbate-sorbate interactions in the anion exchange resin AV-17×2P-histidine-solvent. The formation of associates of the sorbate-sorbate and sorbate-water types was confirmed by IR spectroscopy data. The results of gravimetric control indicate a change in the water content in the ion exchanger during the absorption of histidine and confirm a significant dehydration of the ion exchanger during the sorption process.

Comparing the ion-exchange components of sorption isotherms, it was noted that for all ionic forms of histidine and ion exchanger they are similar and have the form of a convex isotherm. For an ion exchange resin in the Cl<sup>-</sup>-form, the number of histidine ions absorbed by ion exchange is greater than for an anion exchange resin in the OH<sup>-</sup>-form, and more doubly charged ions are absorbed than singly charged ones on any ionic form of the AV-17×2P anion exchange resin.

**Keywords:** anion exchange resin AV-17×2P, intermolecular associates, histidine, IR spectroscopy, stretching vibrations, bending vibrations.

## REFERENCES

1. Selemenev V.F., Hohlov V.Ju., Bobreshova O.V. Fiziko-himicheskie osnovy sorbcionnyh i membrannyh metodov vydelenija i razdelenija aminokislot. Voronezh, Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, 2001. 299 p.
2. Selemenev V.F., Khokhlov V.Yu., Chikin G.A. "Ion Exchange" edited by D. Muraviov, V. Gorshkov, A. Warshawsky. Marcel Dekker. New York, 2000, p. 615.
3. Selemenev V.F., Kotova D.L., Oros G.Ju., Zagorodnij A.A. Kollekt. monografija «100 let hromatografii». Moskva, Nauka, 2003, pp. 346-369.
4. Kotova D.L., Do Thi Long, Krysanova T.A., Selemenev V.F. J. Phys. Chemistry, 2011, Vol. 85, p. 2365.
5. Faghihian F.H., Nejati-Yazdinejad M. Adsorpt. Sci. Technol, 2009, Vol. 27, pp. 19-29. DOI: 10.1260/026361709788921623.
6. Kapuckij F.N., Jurkshtovich G.L., Starobinec G.L., Bychkovskij P.M., Borshhenskaja T.I. J. Phys. Chemistry, 2000, Vol. 74, pp. 277-282.
7. Selemenev V.F., Rudakov O.B., Kotova D.L., Eliseeva T.V., Voronjuk I.V., Karpov S.I., Belanova N.A., Mironenko N.V., Sinjaeva L.A., Zagorodnij A.A., Naumenko L.F. Nasledie M.S. Cveta v trudah voronezhskih himikov: v 2 t., Voronezh, 2021. Vol. 1, pp. 89-131.
8. Murav'ev D.N., Obrezkov O.N. J. fiz. Chemistry, 1986, Vol. 60. No. 2, pp. 396-401.
9. Selemenev V.F., Zagorodnij A.A. Ugljanskaja T.A., Chikin G.A. J. Phys. Chemistry. 1992, Vol .66, No. 6, pp. 1555-1565.
10. Gurskaja G.V. Struktura aminokislot. Moskva, Nauka, 1996. 70 p.
11. Ugljanskaja V.A., Chikin G.A., Selemenev V.F., Zav'jalova T.A. Infrakrasnaja spektroskopija ionoobmennyh materialov. Voronezh, Izd-vo VGU, 1989. 208 p.
12. Bellami L. Novye dannye po IK-spektram slozhnyh molekul. Moskva, IL, 1971. 318 p.
13. Nakanisi K. Infrakrsanaja spektroskopija i stroenie organicheskikh soedinenij. Moskva, Mir, 1965. 216 p.
14. Nakomoto K. Infrakrasnye spektry neorganicheskikh i koordinacionnyh soedinenij. Moskva, Mir, 1966. 411 p.
15. Littl L. IK-spektry adsorbirovannyh molekul. Moskva, Mir, 1969. 514 p.
16. Kazicyna L.A., Kupletskaja N.B. Primenenie UF-, IK- i JMR- spektroskopii v organicheskoy himii. Moskva, Vysshaja shkola, 1971. 264 p.
17. Bekker Ju. Spektroskopija. Moskva, Tehnosfera, 2009. 528 p.
18. Iogansen A.V. Vodorodnaja svjaz'. Moskva, Nauka, 1981. pp. 112-155.
19. Selemenev V.F., Kotova D.L., Hohlov V.Ju., Oros G.Ju. Sorptionnye I khromatograficheskie protsessy. 2013, Vol. 13, No. 5, pp. 413-426.
20. Tinoko I. Fizicheskaja himija. Principy i primenenie v biologicheskikh naukah. Moskva, Tehnosfera, 2005, 744 p.