

DOI 10.21603/2074-9414-2017-4-130-135  
УДК 544.7:663.5

## КИНЕТИКА АДсорбЦИИ МЕЛАНОИДИНА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ АКТИВНЫМИ УГЛЯМИ

К. В. Зеленая\*, Н. С. Голубева, А. В. Хлопова

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности (университет)»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

\*e-mail: [ecolog1528@yandex.ru](mailto:ecolog1528@yandex.ru)

Дата поступления в редакцию: 30.10.2017

Дата принятия в печать: 14.12.2017

© К. В. Зеленая, Н. С. Голубева, А. В. Хлопова, 2017

**Аннотация.** Основной причиной попадания меланоидинов в водоемы является их поступление со сточными водами предприятий. Меланоидины широко используются в промышленном секторе, тем самым образуя отходы пищевого производства, могут приводить к загрязнению экосистем. Во избежание загрязнения необходимо производить очистку производственных сточных вод перед сливом их в водоем. Для расчета оптимальных параметров адсорбционной колонны и режимов непрерывной очистки сточных вод от меланоидина была исследована кинетика и определены кинетические параметры процесса адсорбции активными углями, отличающимися сырьем, состоянием химии поверхности и пористой структурой. Исследование кинетики адсорбции позволяет определить время, необходимое для достижения адсорбционного равновесия «адсорбент-адсорбат» и получить параметры, необходимые для инженерных расчетов адсорбционных процессов в практике. Была определена лимитирующая стадия процесса диффузии и установлена модель пористой структуры исследуемых активных углей. С помощью анализа экспериментальных кривых зависимости степени достижения адсорбционного равновесия от времени установлено, что гранулы применяемых углеродных сорбентов относятся к квазигомогенной модели. Определено, что в области малых значений степени достижения адсорбционного равновесия экспериментальные и теоретически рассчитанные кинетические кривые расположены довольно близко друг к другу, что указывает на быстрое протекание лимитирующей внешней диффузии в условиях опыта. Последующее расхождение теоретических и опытных кривых можно объяснить ролью внутренней диффузии, так как путь диффузии внутри зерна увеличивается. По значениям величин коэффициента внешнедиффузионного массопереноса при адсорбции из растворов меланоидина можно говорить о том, что скорость массопереноса зависит от структурных характеристик сорбентов.

**Ключевые слова.** Меланоидин, кинетика, адсорбция, активные угли

**Для цитирования:** Зеленая, К. В. Кинетика адсорбции меланоидина из водных растворов активными углями / К. В. Зеленая, Н. С. Голубева, А. В. Хлопова // Техника и технология пищевых производств. – 2017, Т. 47, № 4. – С. 130–135. DOI: 10.21603/2074-9414-2017-4-130-135.

## KINETICS OF MELANOIDIN ADSORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS WITH ACTIVATED CARBONS

K. V. Zelenaya\*, N. S. Golubeva, A. V. Khloпова

Kemerovo Institute of Food Science  
and Technology (University),  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

\*e-mail: [ecolog1528@yandex.ru](mailto:ecolog1528@yandex.ru)

Received: 30.10.2017

Accepted: 14.12.2017

© K. V. Zelenaya, N. S. Golubeva, A. V. Khloпова, 2017

**Abstract.** The main reason of melanoidins penetration into water basins is their inflow with industrial waste water. Melanoidins are widely used in industrial sector, thus food industry wastes can lead to ecosystem pollution. To avoid the pollution it is essential to purify industrial waste waters before discharging them into a water basin. The authors studied kinetics and determined kinetic parameters of adsorption using activated carbons which differ in raw material, surface chemistry and porous structure to calculate optimal parameters of adsorption column and modes of waste water continuous cleaning from melanoidins. The research of adsorption kinetics allows to determine the time required to reach adsorption equilibrium “adsorbent - adsorbate” and obtain the parameters necessary for adsorption processes calculation in practice. They determined the rate limiting stage of diffusion and established the porous structure of the activated carbons they studied. The analyses of the experimental curves reflecting the correlation between time and adsorption equilibrium attaining showed that the granules of applied carbon sorbents refer to quasi-homogeneous model. The authors determined that experimental and theoretically calculated kinetic curves are located quite close to each other in the area where the level of adsorption equilibrium attaining has low values. That indicates that limiting external diffusion happens rapidly during the experiment. Further divergence of theoretical and experimental curves can be explained by the role of internal diffusion as the diffusion path inside the grain increases. Judging by the values of the external diffusion mass transfer coefficient during the adsorption of melanoidins from solutions, mass transfer rate depends on the structural characteristics of sorbents.

**Keywords.** Melanoidin, kinetics, adsorption, activated carbons

**For citation:** Zelenaya K.V., Golubeva N.S., Khlopova A.V. Kinetics of melanoidin adsorption from aqueous solutions with activated carbons. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2017, vol. 47, no. 4, pp. 130–135 (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2017-4-130-135.

### Введение

С развитием промышленного сектора все чаще встает вопрос об очистке производственных сточных вод и утилизации отходов. Ухудшающаяся экологическая ситуация вынуждает ужесточать требования к сбросу отходов и сточных вод предприятий. Как известно, практически ни одно предприятие не может работать без образования отходов.

Очистка сточных вод, образующихся при изготовлении лекарственных средств и при производстве пищевых продуктов, является важным условием сохранения чистоты водных объектов. Адсорбция – один из эффективных методов извлечения небольших количеств органических веществ из водных растворов, позволяющий многократно использовать адсорбент и создавать ресурсосберегающие экологически безопасные производства.

Меланоидины широко используются в пищевой промышленности не только как антиоксиданты, но и в качестве биостимуляторов в животноводстве и ветеринарии, а также в медицине как препараты антикоагулянтного и ранозаживляющего действия. Кроме того, известно иммуностимулирующее действие меланоидинов. В связи с этим наблюдается высокий уровень загрязнения окружающей среды, который оказывает негативное влияние на здоровье населения и экосистему в целом.

Меланоидины (от греч. *melanos* – темный) – продукты меланоидинообразования, получаемые при взаимодействии восстанавливающих сахаров (моносахариды и восстанавливающие дисахариды, как содержащиеся в самом продукте, так и образующиеся при гидролизе более сложных углеводов) с аминокислотами, пептидами и белками, которые обычно имеют темную окраску (от красно-коричневого до темно-коричневого) (рис.1) [1, 2].

Меланоидины, образующиеся как отходы пищевого производства, могут приводить к серьезному загрязнению. В частности, из-за темной окраски они блокируют прохождение солнечного света и снижают фотосинтез и уровень кислорода в реках. Для предотвращения серьезного загрязнения необходимо производить особую обработку производственных сточных вод перед сливом их в водоем. Более выгодным методом является метод адсорбционной очистки активными углями.

Для понимания механизма протекания адсорбции органических веществ необходимо знать лимитирующую стадию данного процесса. Исследование кинетики адсорбции позволяет определить время, необходимое для достижения адсорбционного равновесия «адсорбент-адсорбат» и получить параметры, необходимые для

инженерных расчетов адсорбционных процессов в практике.

Целью данной работы является исследование кинетики адсорбции меланоидина на активных углях для определения кинетических параметров процесса, необходимых для расчета оптимальных параметров адсорбционной колонны и режимов непрерывной адсорбционной очистки.

### Объекты и методы исследования

В качестве сорбентов были использованы активные угли АБГ и «Пуrolat-Стандарт», отличающиеся сырьем, состоянием химии поверхности и пористой структурой [3, 4]. Углеродные сорбенты АБГ и «Пуrolat-Стандарт» являются полукоксами, произведенными по новой технологии. Отличие применяемой технологии заключается в замене традиционного двустадийного процесса карбонизации сырья в инертной среде с последующей активацией на одностадийный процесс автотермической газификации. Это позволяет снизить конечную цену сорбента вследствие уменьшения энергозатрат на его получение.

Кинетические исследования проводились в водных растворах меланоидина с концентрацией изучаемого компонента, равной 100 мг/дм<sup>3</sup>, из ограниченного объема при встряхивании навески адсорбента с раствором и последующем определении концентрации оставшегося вещества. Время контакта раствора меланоидина с образцами активных углей составляло от 1 мин до 7 ч. Концентрацию меланоидина в растворах контролировали спектрофотометрическим методом по собственному поглощению. Оптическая плотность определялась на приборе спектрофотометре ПЭ-5300 В (толщина светопоглощающего слоя 10 мм и длина волны 400 нм).

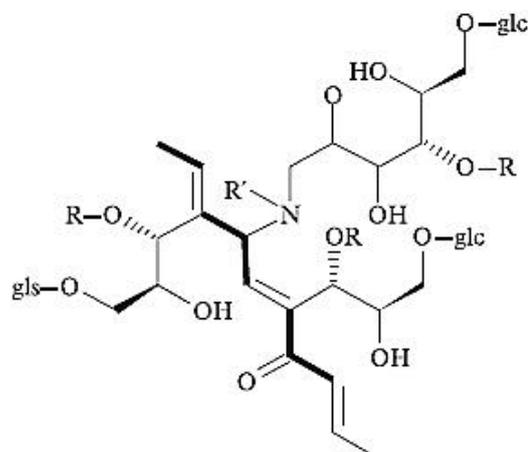


Рисунок 1 – Структура фрагмента меланоидинового полимера (glc – остаток D-глюкозы)  
Figure 1 – Structure of the melanoidin polymer fragment (glc – unit of D-glucose)

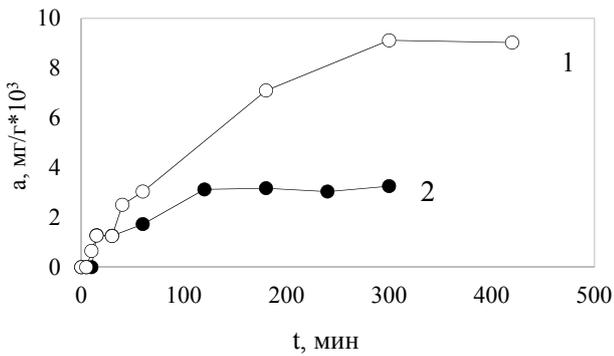


Рисунок 2 – Кинетические кривые адсорбции меланоидина из водных растворов активными углями марок АБГ (1), «Пуrolат-Стандарт» (2)  
 Figure 2 – Kinetic curves of melanoidin adsorption by activated carbon ABG (1) and “Purolat-Standard” (2) from aqueous solutions.

**Результаты и их обсуждение**

Исследование кинетики адсорбции меланоидина (рис. 2) показывает, что при извлечении меланоидина на активном угле марки АБГ в сорбционной системе равновесие достигается в течение 250 мин, а при использовании активного угля «Пуrolат-Стандарт» – 150 мин.

Для определения лимитирующей стадии процесса диффузии и установления модели

пористой структуры исследуемых активных углей была изучена зависимость степени достижения адсорбционного равновесия ( $\gamma$ ) и безразмерного кинетического параметра ( $T$ ) от длительности перемешивания растворов ( $t$ ) (рис. 3, 4).

Адсорбция меланоидина на активном угле АБГ, согласно линейной зависимости  $T$  от  $t$ , лимитируется внешним массопереносом в течение первых 10 минут, а на АУ «Пуrolат-Стандарт» – в течение 15 минут. После чего роль внутридиффузного переноса стала явно влиять на общую скорость адсорбции.

Анализ полученных экспериментальным путем кривых (рис. 3а, 4а) позволяет определить тип пористой структуры исследуемых активных углей. Зависимость степени достижения адсорбционного равновесия от времени носит прямолинейный характер до  $\gamma = 0,9 - 0,95$ , что позволяет предположить соответствие гранул применяемых сорбентов квазигомогенной модели пористой структуры и выполнить расчет кинетики по этой модели [4, 5]. Квазигомогенная модель основана на представлении о том, что растворенное вещество, проникая внутрь адсорбента, взаимодействует с ним во всем объеме и в течение всего времени пребывания частицы в зоне реакции. Зерно сорбента можно рассматривать как систему, образованную беспорядочным переплетением пор.

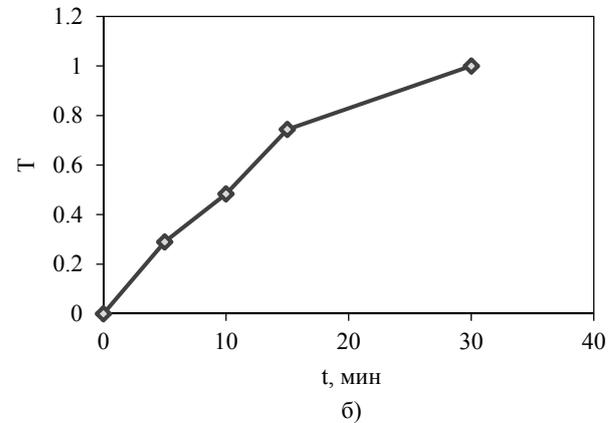
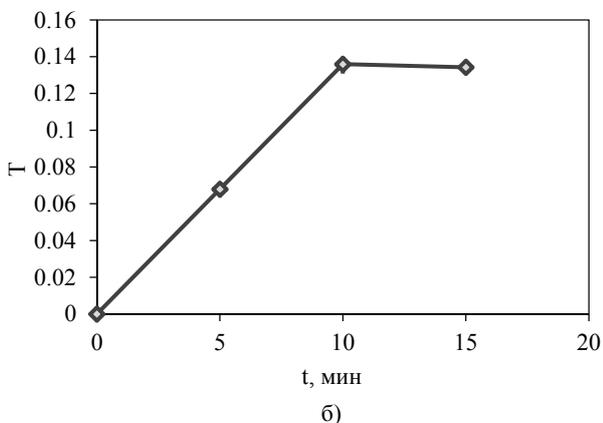
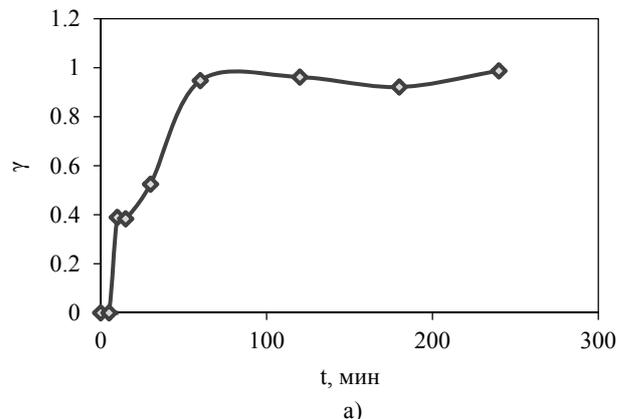
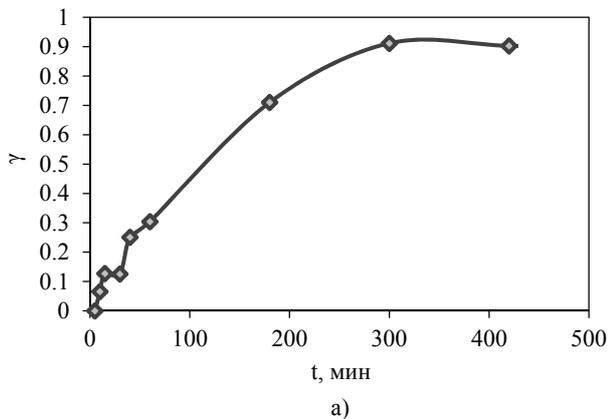


Рисунок 3 – Кинетические кривые адсорбции меланоидина активным углем марки АБГ в координатах  $\gamma - t$  (а) и  $T - t$  (б)

Figure 3 – Kinetic curves of melanoidin adsorption by activated carbon ABG in coordinate system  $\gamma - t$  (a) and  $T - t$  (b)

Рисунок 4 – Кинетические кривые адсорбции меланоидина активным углем марки «Пуrolат-Стандарт» в координатах  $\gamma - t$  (а) и  $T - t$  (б)

Figure 4 – Kinetic curves of melanoidin adsorption by activated carbon “Purolat-Standard” in coordinate system  $\gamma - t$  (a) and  $T - t$  (b)

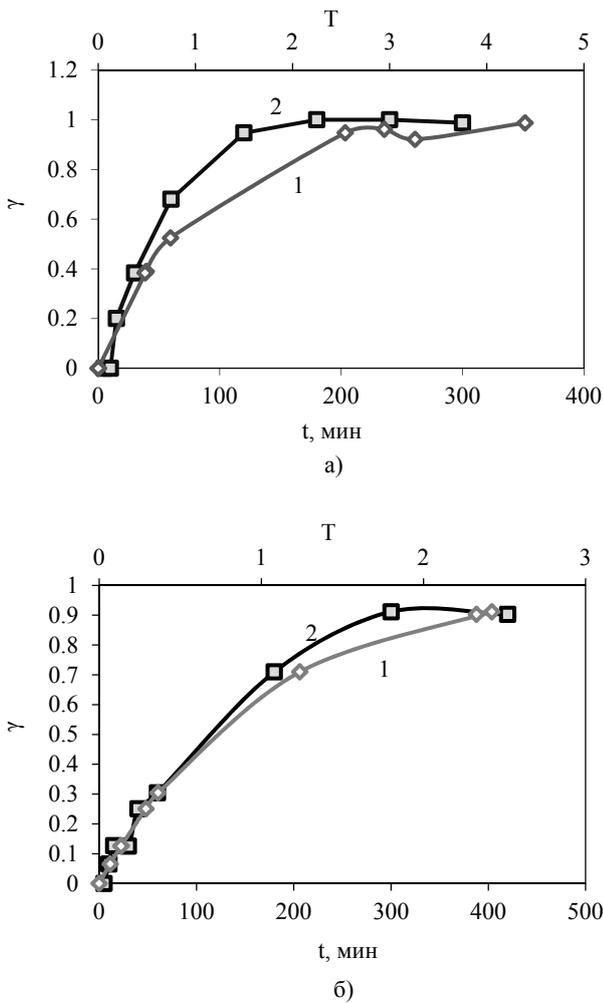


Рисунок 5 – Кинетические кривые адсорбции меланоидина активным углем марки «Пуrolат-Стандарт» (а) и АБГ (б) в координатах  $\gamma - t$ : вычисленные (1) и экспериментальные (2)  
 Figure 5 – Kinetic curves of melanoidin adsorption by activated carbon “Purolat-Standard” (a) and ABG (b) in coordinate system  $\gamma - t$ : calculated (1) and experimental (2)

Результаты сопоставления экспериментальных и теоретических кинетических кривых приведены на рис. 5. В области малых значений  $\gamma$  экспериментальные и теоретически рассчитанные кинетические кривые расположены довольно близко друг к другу, что указывает на быстрое протекание лимитирующей внешней диффузии в условиях опыта. Дальнейшее расхождение теоретических и опытных кривых может объясняться ролью внутренней диффузии, так как путь диффузии внутри зерна увеличивается [6, 7].

Коэффициент внешнего массообмена при адсорбции из растворов может быть найден из общего коэффициента массопередачи, если эксперимент поставлен в условиях, при которых лимитирующей стадией процесса является внешняя диффузия. При этом область преимущественного влияния внешнего массообмена выявляется по косвенным признакам [8, 9]. Общий коэффициент массопередачи определяют из основного уравнения массообмена, в котором движущую силу процесса рассчитывают как среднюю логарифмическую величину из движущих сил в начальный и

конечный моменты времени, что справедливо лишь в случае линейной изотермы адсорбции [10, 11].

Методика определения  $\beta$  сводится к сопоставлению теоретической кинетической кривой  $\gamma(T)$ , заданной уравнением (1 и 1.1) и экспериментальной кинетической кривой  $\gamma(t)$ , при одинаковых значениях  $\gamma$ . Построив график зависимости  $T(t)$ , можно определить  $\beta$  по формуле (2):

$$\gamma = 1 - e^{-T}, \quad (1)$$

$$T = A \cdot \beta \cdot t \quad (1.1)$$

$$\beta = \frac{t g \alpha}{A}, \quad (2)$$

где  $A$  – коэффициент, который находили по формуле:

$$A = \left( \frac{V_3}{V_p} + K_1 \right), \quad (2.1)$$

где  $V_3$  – удельный суммарный объем массы сорбента,  $\text{см}^3/\text{г}$ ;  $V_p$  – объем раствора, контактирующего с сорбентом,  $\text{см}^3$ ;  $K_1$  – константа уравнения, описывающего внешнедиффузную кинетику поглощения растворенного вещества, вычисляется по формуле:

$$K_1 = \frac{1}{K_r}, \quad (2.2)$$

где  $K_r$  – коэффициент адсорбции, на линейном участке изотермы:  $K_r = a_p/C_p$ , где  $a_p$  – равновесное количество адсорбированного вещества с концентрацией  $C_p$ ,  $\text{мг}/\text{г}$ ;  $C_p$  – равновесная концентрация вещества в растворе,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ .

Коэффициенты внешнедиффузионного массопереноса меланоидина представлены в табл. 1.

Значения величин коэффициента внешнедиффузионного массопереноса при адсорбции из растворов меланоидина показывают, что скорость массопереноса зависит от структурных характеристик сорбентов (табл. 2). Структурные характеристики (объемы микро-, мезо- и макропор) изучались методом низкотемпературной адсорбции азота при  $77^\circ\text{C}$  на приборе «Sorbtometr M». Высокое значение величины коэффициента при извлечении на полукоссе «Пуrolат-Стандарт» объясняется, вероятно, отсутствием мезопор, в отличие от АБГ [12, 13, 14].

Более высокое значение коэффициента массопереноса для полукосса марки «Пуrolат-Стандарт» позволяет ожидать более высокую степень извлечения продуктов меланоидинообразования, что согласуется с ранними исследованиями адсорбции меланоидина в статических условиях [15, 16].

Таблица 1 – Коэффициенты внешнедиффузионного массопереноса меланоидина

Table 1 – External diffusion mass transfer coefficients for melanoidin

Марка углеродного сорбента	Коэффициент внешнего массопереноса, $\text{в}, \text{мин}^{-1}$
АБГ	0,000164
«Пуrolат-Стандарт»	0,000821

Таблица 2 – Структурные характеристики активных углей

Table 2 – Structural characteristics of activated carbons

Марка активного угля	V <sub>микро</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>мезо</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>макро</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>з</sub> , см <sup>3</sup> /г
АБГ	0,02	0,24	0,73	0,99
«Пуролат-Стандарт»	0,07	–	0,43	0,5

Полученные в результате изучения кинетики адсорбционные параметры могут быть применены для расчета параметров адсорбционной колонны и оптимизации режимов непрерывной очистки сточных вод от меланоидина на исследуемых полукоксах.

### Список литературы

1. Пигменты пищевых производств (меланоидины) / В. Ф. Селеменев [и др.]. – М. : ДеЛи, 2008. – 246 с.
2. Хачатурян, Э. Е. Двести составляющих реакции меланоидинообразования / Э. Е. Хачатурян, Т. С. Гвасалия, Т. П. Якименко // Современная наука и инновации. – 2014. – № 4. – С. 22–32.
3. Krasnova, T. A. Beer quality assurance by controlling wort polyphenolic content with adsorption method / T. A. Krasnova, N. V. Gora, N. S. Golubeva // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 36–43.
4. Ruckenstein, E. Effect of solute-solute and solute-solvent interactions on the kinetics of nucleation in liquids / E. Ruckenstein, G. O. Berim // Journal of colloid and interface science. – 2010. – Vol. 342 (2). – P. 528–532.
5. Адсорбция органических веществ из воды / А. М. Когановский [и др.]. – Л. : Химия, 1990. – 256 с.
6. Adamson, A. W. Physical chemistry of surface / A. W. Adamson, A. P. Gast. – New York : A Wiley-Interscience Publication, 1997. – 784 p.
7. Петьков, В. И. Химические реакторы : электронное учебно-методическое пособие / В. И. Петьков, А. К. Корытцева. – Нижний Новгород : ННГУ. им. Н. И. Лобачевского, 2012. – 71 с.
8. Ягдовский, В. Д. Адсорбция : учебник для высшей школы / Д. В. Ягдовский. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 216 с.
9. Карнауков, А. П. Адсорбция, текстура дисперсных и пористых материалов / А. П. Карнауков. – Новосибирск : Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. – 470 с.
10. Keller, J. U. / Gas adsorption equilibria: experimental methods and adsorptive isotherms / J. G. Keller. R. Staudt. – New York : Springer, 2005. – 422 p.
11. Parfitt, G. D. Adsorption from solution at the solid / G. D. Parfitt. – New York : Academic press, 1993. – 488 p.
12. Краснова, Т. А. Кинетика адсорбции смесей органических веществ из водных растворов активными углями / Т. А. Краснова, И. В. Тимошук, М. П. Кирсанов // Вода: химия и экология. – 2014. – № 7. – 69–74 с.
13. Куприн, В. П. Адсорбция органических соединений на поверхности / В. П. Куприн, А. Б. Щербаков. – Киев : Наукова думка, 1996. – 142 с.
14. Адамова, Л. В. Сорбционный метод исследования пористой структуры наноматериалов и удельной поверхности наноразмерных систем / Л. В. Адамова, А. П. Сафронов. – Екатеринбург : УрГУ им. А. М. Горького, 2008. – 324 с.
15. Вертелецкая, Н. Ю. Физико-химическое исследование каменных углей / Н. Ю. Вертелецкая, Л. М. Левченко, Б. М. Шавинский // Вестник КемГУ. – 2013. – Т. 3, №3. – С. 61–65.
16. Краснова, Т. А. Исследование адсорбции меланоидина на углеродных сорбентах // Т. А. Краснова, К. В. Жулина, Н. С. Голубева // Известия вузов. Пищевая технология. – 2017. – № 1. – С. 51–54.

### References

1. Selemenov V. F., Rudakov O.B., Slavinskaya G.V., Drozdova N.V. *Pigmenty pishhevykh proizvodstv (melanoidiny)* [Pigments Used in Food Production (Melanoidins)]. Moscow: DeLi Publ., 2008. 246 p.
2. Khachaturian E. E., Gvasaliya T. S., Yakimenko T. P. Dvesti sostavlyayushchih reaktsii melanoidinoobrazovaniya [Two hundred factors of melanoidine making reactions]. *Sovremennaya nauka i innovacii* [Sovremennaya nauka i innovacii], 2014, no. 4, pp. 22–32.
3. Krasnova T. A., Gora N. V., Golubeva N. S. Beer Quality Assurance by Controlling Wort Polyphenolic Content with Adsorption Method. *Foods and Raw Materials*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 36–43. DOI: 10.21179/2308-4057-2016-1-36-43.
4. Eli Ruckenstein, Gersh O. Berim Effect of Solute-solute and Solute-solvent Interactions on the Kinetics of Nucleation in Liquids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2010, vol. 342, no. 2, pp. 528–532.
5. Koganovskiy A. M., Klimenko N. A., Levchenko T. M., Roda I. G. *Adsorbtsiya organicheskikh veshchestv iz vody* [Adsorption of Organic Substances from water]. Leningrad: Khimiya Publ., 1990. 256 p.
6. Arthur W. Adamson, Alice P. Gast. *Physical Chemistry of Surface*. New York: A Winey – Interscience Publication, 1997. 784 p.
7. Pet'kov V. I., Korytceva A. K. *Himicheskie reaktory* [Chemical Reactions]. Nizhniy Novgorod: Nizhni Novgorod State University Publ., 2012. 71 p.
8. Jagodovskiy V. D. *Adsorbtsiya* [Adsorption]. BINOM, Laboratoriya znaniy Publ., 2015. 216 p.
9. Karnaukhov A. P. *Adsorbtsiya tekstura dispersnykh i poristyykh materialov* [Adsorption, Grain Orientation of Particulates and Porous Materials]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1999. 456 p.
10. Keller J. U. *Gas Adsorption Equilibria: Experimental Methods and Adsorptive Isotherms*. America: Springer Science and Business Media Publ., 2005. 422 p.
11. Parfitt G. D. *Adsorption from Solution at the Solid*. New York: Academic press Publ., 1993. 488 p.
12. Krasnova T. A., Timoshchuk I. V., Kirsanov M. P. Kinetika adsorbtsii smesey organicheskikh veshchestv iz vodnykh rastvorov aktivnymi ugljami [Kinetics of Organic Substances Mixture Adsorption from Aqueous Solutions Using Activated Carbons]. *Voda, khimija i ekologiya* [Water, Chemistry and Ecology], 2014, no.7, pp. 69–74.
13. Kuprin V. P., Shherbakov A. B. *Adsorbtsiya organicheskikh soedineniy na poverkhnosti* [Adsorption of Organic Compounds on the Surface]. Kiev: Naukova-dumka Publ., 1996. 142 p.

14. Adamova L.V., Safronov A.P. *Sorbcionnyy metod issledovaniya poristoy struktury nanomaterialov i udel'noy poverkhnosti nanorazmernykh sistem* [Sorptions Method Applied while Studying Nanopolymer Porous Structure of and Specific Surface of Nanoscale Systems]. Ekaterinburg: Ural State University Publ., 2008. 324 p.

15. Verteletskaya N.Ju., Levchenko L.M., Shavinskiy B. M. Fiziko-khimicheskoe issledovaniye kamennykh ugley [Physico-chemical research of coals]. *Vestnik KemGU* [Bulletin of Kemerovo State University], 2013, vol. 3, no. 3, pp. 61–65. DOI: 10.21603/2078-8975-2013-3-61-65.

16. Krasnova T. A. Zhulina K. V., Golubeva N. S. Issledovanie adsorbtsii melanoidina na uglerodnykh sorbentakh [Study of the adsorption of melanoidin on carbon sorbents]. *Izvestiya vuzov. Pishhevaya tekhnologiya* [News of Institutes of Higher Education. Food Technology], 2017, no.1, pp. 51–54.

**Зеленая Ксения Витальевна**

аспирант кафедры аналитической химии и экологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, e-mail: zkv91.91@mail.ru

**Голубева Надежда Сергеевна**

канд. техн. наук, доцент кафедры аналитической химии и экологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, e-mail: golnadya@yandex.ru

**Хлопова Алена Владимировна**

студент кафедры аналитической химии и экологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, e-mail: ecolog1528@yandex.ru

**Kseniya V. Zelenay**

Postgraduate Student of the Department of Analytical Chemistry and Ecology, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, e-mail: zkv91.91@mail.ru

**Nadezhda S. Golubeva**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Analytical Chemistry and Ecology, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, e-mail: golnadya@yandex.ru

**Alena V. Khlopova**

Student of the Department of Analytical Chemistry and Ecology, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, e-mail: ecolog1528@yandex.ru

