

12. Минлигулова Г.А. Исследование очистки кислых модельных стоков, содержащих ионы тяжелых металлов, сточными водами нефтехимических производств / Г.А. Минлигулова, И.Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. - № 12. – С. 118-122.

13. Song Z. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation / Z. Song, C.J. Williams, R.G.J. Edyvean // Desalination. – 2004. – vol. 164. - № 3. – P. 249-259.

14. Tahiri S. Management of tannery wastewaters: treatment of spent chrome tanning bath and vegetable tanning effluents / S. Tahiri, J. Hassoune, S. Alami Younsi, M. El Krati and ets. // Desalination and Water Treatment. - 2013. - vol. 51. - № 22-24. - P. 4467-4477.

15. Gungor K. Utilizing aluminum etching wastewater for tannery wastewater coagulation: performance and feasibility / K. Gungor, N. Karakaya, Y. Gunes, S. Yatkin and ets. // Desalination and Water Treatment. - 2016. - vol. 57. - № 6. - P. 2413-2421.

16. Fazullin D.D. Sewage treatment from heavy metal ions by the method of deposition, using sulfur-alkaline wastewater as a reagent / D.D. Fazullin, G.V. Mavrin, A.V. Savelyeva, S.N. Savelyev and ets. // International Journal of Green Pharmacy. - 2017. – vol. 11. - № 4. - S. 831- 836.

17. Дроздов А. Алюминий. 13-й элемент / А. Дроздов. Москва: Химия, 2007. – 240 с.

18. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1984. –

УДК 628.31

Микушина В.А., маг.,
Шайхиева К.И. асп.,
Фридланд С.В., д-р. хим. наук, проф.
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ ИОНОВ $\text{Cu}(\text{II})$

PISUM

SATIVUM)

*Исследована адсорбция ионов Cu^{2+} высушенной и измельченной биомассой стручков гороха (*Pisum sativum*). Построена изотерма адсорбции и обчислена в рамках моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина и Дубинина-Радушкевича. Определено, что процесс наиболее адекватно описывается модель Фрейндлиха.*

Ключевые слова: стручки гороха, ионы Cu^{2+} , изотерма адсорбции, модели адсорбции.

Тяжелые металлы относятся к одной из наиболее опасных групп веществ, загрязняющих биосферу. Наибольший вклад (80 %) в загрязнение окружающей природной среды (ОПС) ионами тяжелых металлов (ИТМ) вносят гальванические производства. Так, ежегодно в природу выбрасывается до 1 км³ токсичных гальваностоков,

содержащих более 50 тыс. тонн тяжелых металлов, 23-30 % этих стоков попадает в водные бассейны.

Одним из металлов, ионы которого являются наиболее массовыми в составе сточных вод, является медь. Ионы Cu^{2+} массово присутствуют в составе сточных вод производства электронных изделий, гальванических производств, пестицидов и т.д. Попадание в объекты ОПС ионов меди способствует деградации или гибели биоценоза из-за высокой токсичности иона металла.

Наиболее часто применяемые химические методы очистки сточных вод, содержащих ИТМ, являются устаревшими и не всегда позволяют достичь показателей сброса в природные водоемы. К тому же, применение наиболее часто применяемого так называемого «известкового молока» в качестве подщелачивающего реагента, способствует образованию большого количества гальваношлама, выделение из которого целевых продуктов весьма затруднено.

В настоящее время стремительно развивается новое инновационное направление в области охраны водного бассейна планеты – использование в качестве реагентов для удаления поллютантов отходов различных производств. В связи с вышеизложенным, в последние годы повысился интерес к многотоннажным возобновляемым отходам сельского хозяйства, как к перспективному сырью для получения материалов, полезных человеку [1-6]. Такое сырье содержит природные биологические активные вещества, процесс выделения которых из отходов в большинстве случаев выгоднее химического синтеза. К тому же, решается проблема утилизации отходов сельскохозяйственного производства.

В связи с вышеизложенным, целью работы является исследование возможности очистки сточных вод, содержащих ионы Cu^{2+} , многотоннажными возобновляемыми отходами сельского хозяйства и пищевой промышленности. Особый интерес среди последних вызывают отходы от переработки бобовых культур. Наличие в их составе большого количества белков и углеводов, может способствовать удалению из сточных вод ИТМ за счет реакций между последними и функциональными группировками биополимеров в составе биомассы бобовых культур.

В Российской Федерации и других странах широко распространено выращивание гороха (*Pisum sativum*) в качестве кормовой культуры для выращивания скота и для питания человека. Особую проблему представляет утилизация оболочек стручков гороха после лущения плодов. В лучшем случае, они скармливаются сельскохозяйственным животным, в худшем – гнивают в буртах или на открытых площадках,

усугубляя экологическую ситуацию в районе перерабатывающего предприятия.

Одним из путей использования оболочек стручков бобовых является использование их в качестве сорбционных материалов ИТМ из водных сред. Так, в частности, оболочки стручков гороха исследовались для извлечения из модельных растворов ионов Cr^{6+} [7- 9]. Проведенными исследованиями определено, что наибольшая степень удаления ионов Cr^{6+} наблюдается при $\text{pH} = 3$, начальной концентрации названных ионов 50 мг/дм^3 , дозировке сорбционного материала 40 г/дм^3 , невысока и составляет $3,56 \text{ мг/г}$ при $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Изотермы сорбции наиболее адекватно описываются уравнением Темкина. Также изучена сорбция ионов Cr^{6+} и Zn^{2+} измельченной шелухой стручков гороха [10]. Определена максимальная сорбционная емкость по названным ионам – $1,88 \text{ мг/г}$ по ионам $\text{Cr}(\text{VI})$ и $1,45 \text{ мг/г}$ – по ионам $\text{Zn}(\text{II})$. Авторами указывается, что основным механизмом адсорбции является хемосорбция ионов металлов функциональными группами, входящими в состав белковых структур оболочек стручков гороха.

Возможность удаления ионов тяжелых металлов из водных сред экстрактами из стручков *Pisum sativum* сообщалось ранее [11-16]. Сообщений по исследованию адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой оболочек стручков гороха в мировой литературе не найдено. В этой связи, нами начаты работы по изучению адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой стручков гороха.

Первоначально построена изотерма адсорбции (рисунок 1) ионов меди высушенной и измельченной биомассой оболочек стручков *Pisum sativum*.

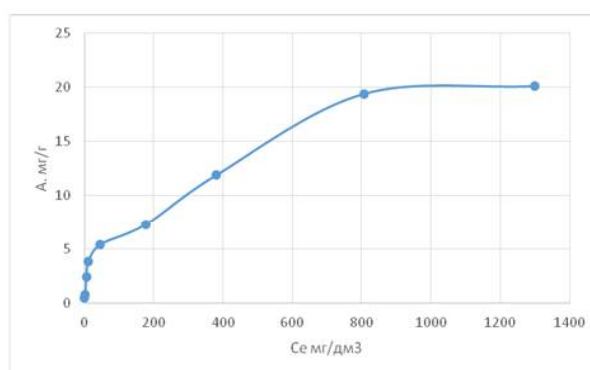


Рис. 1 – Изотерма адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой оболочек стручков гороха

Как следует из данных рисунка один, максимальная сорбционная емкость биомассы оболочек стручков гороха относительно невелика и составляет ~ 20 мг/г. Для определения механизма адсорбционного взаимодействия, полученная изотерма адсорбции обработана с помощью четырех мономолекулярных моделей адсорбции: Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина и Дубинина-

Ленгмюра	$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty}} + \frac{1}{K_L \cdot A_{\infty} \cdot C_e}$
Фрейндлиха	$\log A = \log K_F + n \log C_e$
Дубинина- Радушкевича	$\ln A = \ln A_{\infty} - \left(\frac{R \cdot T}{E}\right)^2 \cdot \left(\ln \frac{C_s}{C_e}\right)^2$
Темкина	$A = \frac{R \cdot T}{b_{TE}} \cdot \ln a_{TE} + \frac{R \cdot T}{b_{TE}} \cdot \ln C_e$

На рисунках 2-5 представлены графики зависимости процессов адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой оболочек стручков гороха.

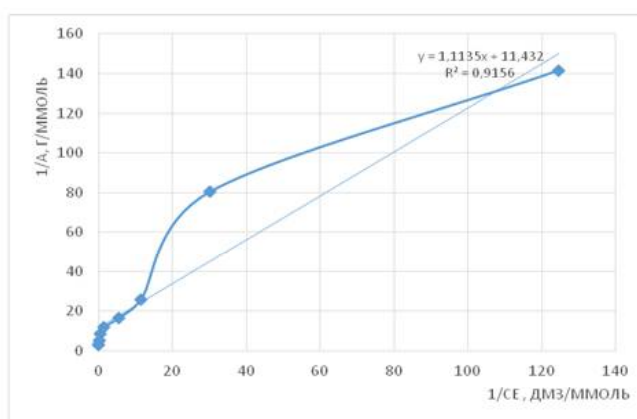


Рис. 2 – График зависимости $1/A = f(1/C_e)$ процесса адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой оболочек стручков *Pisum sativum*

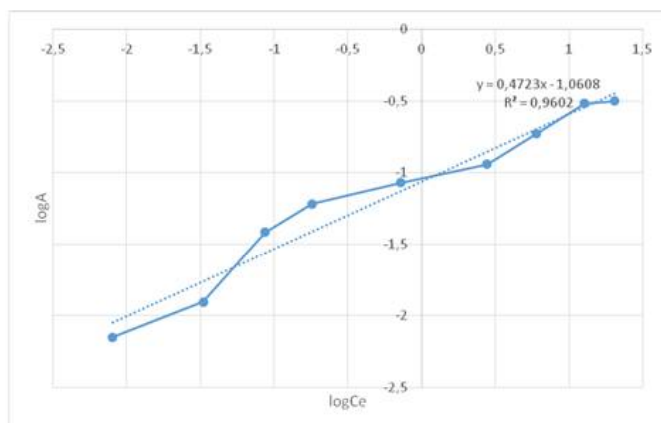


Рис. 3 – График зависимости $\ln A = f(\ln C_e)$ процесса адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой оболочек стручков *Pisum sativum*

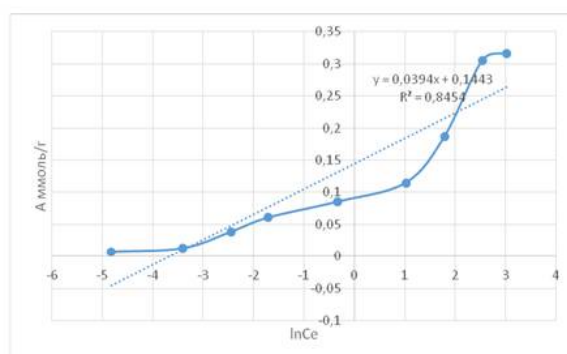


Рис. 4 – График зависимости $A = f(\ln C_e)$ процесса адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой оболочек стручков *Pisum sativum*

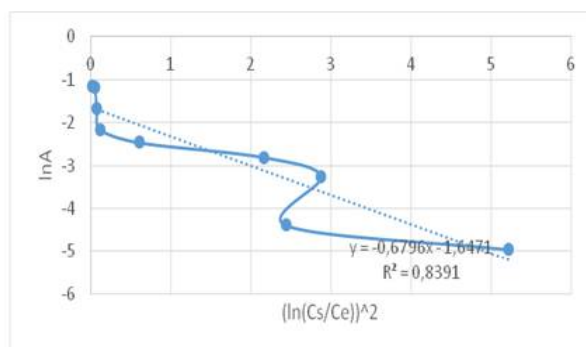


Рис. 5 – График зависимости $\ln A = f(e^2)$ процесса адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой оболочек стручков *Pisum sativum*

Как следует из приведенных на рисунках 2-5 графических зависимостей, изотерма адсорбции ионов Cu^{2+} биомассой оболочек стручков *Pisum sativum* наиболее адекватно описывается моделью Фрейндлиха, т.е. процесс адсорбции протекает на гетерогенной поверхности и в первую очередь происходит заполнение сорбатов активных адсорбционных центров с максимальной энергией.

Библиографический список

1. Acharya J. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified agricultural waste material as potential adsorbent - A Review / J. Acharya, U. Kumar, P.M. Rafi // International Journal of Current Engineering and Technology. – 2018. - Vol.8. - No.3. – P. 526-530.
2. Dai Y. Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review / Y. Dai, Q. Sun, W. Wang and ets. // Chemosphere. – 2018. – vol. 211. – P. 235-253.
3. Sulyman M. Low-cost adsorbents derived from agricultural by-products/wastes for enhancing contaminant uptakes from wastewater: A review / M. Sulyman, J. Namiesnik, A. Gierak // Pol. J. Environ. Stud. -2017 - Vol. 26. - No. 2. – P. 479-510.
4. Al-Qodah, Z. On the performance of bioadsorption processes for heavy metal ions removal by low-cost agricultural and natural by-products bioadsorbent: a review / Z. Al-Qodah, M.A. Yahya, M. Al-Shannag // Desalination and Water Treatment. – 2017. – vol. 85 – P. 339–357.
5. Шайхиев И.Г. Использование отходов от переработки биомассы овса в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы) / И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, А.С. Гречина, К.И. Шайхиева // Экономика строительства и природопользования. – 2018. - № 2(67). – С. 51-60.
6. Шайхиев И.Г. Использование отходов от переработки ячменя в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред (обзор

литературы) / И.Г. Шайхиев, О.А. Гальблауб, А.С. Гречина // Вестник технологического университета. – 2017. – т. 20. - № 23. – С. 110-117.

7. Anwar J. Removal of chromium from water using pea waste – a green approach / J. Anwar, U. Shafique, Waheed-uz-Zaman and ets. // Green Chemistry Letters and Reviews – 2010. – vol. 3. – No 3. – P. 239-243.

8. Sharma P.K. Isotherms describing physical adsorption of Cr(VI) from aqueous solution using various agricultural wastes as adsorbents / P.K. Sharma, S. Ayub, C.N. Tripathi // Cogent Engineering – 2016. – vol. 3. - No 1186857. – 20 p.

9. Sharma P.K. The cost analysis and economic feasibility of agro wastes to adsorb chromium (VI) from wastewater / P.K. Sharma, S. Ayub // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2019. – vol. 10. – No 2. - P. 2387–2402.

10. Anwar J. Removal of chromium(III) and Zinc(II) by using pods of *Pisum sativum* (Garden peas) / J. Anwar, M.U. Shafique, M. Salman and ets. // Journal of Scientific Research. – 2008. – vol. 38. - No. 2. – P. 15-21.

11. Степанова С.В. Возможность использования отходов бобовых культур для очистки вод от меди / С.В. Степанова, Т.А. Прокопенко, И.Г. Шайхиев // Материалы V Международной научно-практической конференции «Традиции, тенденции и перспективы научных исследований», Чистополь, 2010. – С. 172-173.

12. Прокопенко Т.А. Исследование возможности удаления ионов тяжелых металлов из водных сред отходами переработки бобовых культур / Т.А. Прокопенко, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. - № 8. – С. 60-64.

13. Шайхиев И.Г. Влияние pH экстрактов из оболочек стручков *Pisum sativum* на удаление ионов меди из модельных растворов / И.Г. Шайхиев, К.И. Шайхиева, С.В. Степанова, А.А. Хаертдинова // Вестник технологического университета. – 2016. – т. 19. - № 2. – С. 98-102.

14. Шайхиев И.Г. Удаление ионов никеля из модельного раствора экстрактами из оболочек стручков гороха с различными значениями pH / И.Г. Шайхиев, К.И. Шайхиева, С.В. Степанова, Д.А. Панарин // Вестник технологического университета. – 2016. – т. 19. - № 5. – С. 153-157.

15. Шайхиев И.Г. Извлечение ионов никеля высоких концентраций из модельных растворов экстрактами из отходов переработки бобовых культур / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, К.И. Шайхиева // Вестник технологического университета. – 2016. – т. 19. - № 14. – С. 175-179.

16. Шайхиев И.Г. Осаждение из модельного раствора ионов меди высокой концентрации с использованием сельскохозяйственных отходов (экстрактов из оболочек стручков *Pisum sativum*) / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, К.И. Шайхиева // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. - 2016. - № 3. – С. 77-88.

17. Галимова Р.З. Обработка результатов исследования процесса адсорбции с использованием программного обеспечения Microsoft Excel: учебное пособие / Р.З. Галимова, И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, Казань, Белгород, издательство БГТУ. - 2017. – 60 с.