

БИОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

DOI: 10.15593/2224-9400/2024.2.01
УДК 664:663.12

Научная статья

Л.С. Пан, Е.О. Сбитнева, О.И. Бахирева

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ ЦИНКА КОРМОВЫМИ ДРОЖЖАМИ

Переход к экономике замкнутого цикла предусматривает необходимость разработки технологий с использованием отходов промышленных производств для вторичного использования в разных сферах народного хозяйства.

В данной работе показана возможность сухой биомассы кормовых дрожжей, которые могут быть получены как отход при производстве ряда белковых продуктов микробиологической и пивоваренной промышленности, дрожжевого производства и т.д., поглощать ионы цинка как из водных растворов, так и из питательной среды Андреева. Основное количество цинка поглощается в первые 20 мин и зависит от pH исходного раствора. Выявлена зависимость статической обменной емкости (СОЕ) от концентрации цинка в растворе и в среде Андреева. С увеличением концентрации цинка растет значение СОЕ биомассы дрожжей. При концентрации цинка более 30 мг/л увеличение СОЕ замедляется. Однако в среде Андреева сорбция цинка очень незначительна при низких концентрациях в растворе (<50 мг/л), что указывает на конкурирующее влияние ионов среды на процесс сорбции цинка.

Установлено, что с увеличением массы сорбента растет степень сорбции металла из раствора, что подтверждает поверхностный характер сорбции цинка. Изучен механизм сорбции цинка биомассой кормовых дрожжей. Доказано, что поглощение цинка биомассой дрожжей зависит от pH раствора и идет по механизму ионного обмена. Построены выходные кривые сорбции цинка из раствора и десорбции ионов магния и кальция из состава биомассы дрожжей в динамических условиях при разных pH. Количество десорбированного кальция и магния эквивалентно количеству поглощенного цинка. Определены значения полной динамической обменной емкости (ПДОЕ) дрожжей при разных значениях pH.

Ключевые слова: *цинк, биомасса кормовых дрожжей, среда Андреева, ионный обмен, статическая обменная емкость, полная динамическая обменная емкость.*

L.S.Pan, E.O. Sbitneva, O.I. Bakhireva

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

STUDYING THE PROCESS OF ZINC SORPTION BY FEED YEAST

The transition to a closed-cycle economy requires the development of technologies using industrial waste for secondary use in various sectors of the national economy.

This paper shows the possibility of dry biomass of feed yeast, which can be obtained as waste in the production of a number of protein products of the microbiological and brewing industries, yeast production, etc., to absorb zinc ions both from aqueous solutions and from Andreev's nutrient medium. The main amount of zinc is absorbed in the first 20 minutes and depends on the pH of the initial solution. The dependence of the static exchange capacity (SOE) on the concentration of zinc in solution and in the Andreev medium was revealed. With increasing zinc concentration, the value of SOY biomass of yeast increases. At a zinc concentration of more than 30 mg/l, the increase in SOY slows down. However, in Andreev's medium, zinc sorption is very insignificant at low concentrations in solution (<50 mg/l), which indicates the competing influence of medium ions on the zinc sorption process.

It was found that with an increase in the mass of the sorbent, the degree of sorption of metal from the solution increases, which confirms the surface character of zinc sorption. The mechanism of zinc sorption by feed yeast biomass has been studied. It is proved that the absorption of zinc by yeast biomass depends on the pH of the solution and follows the mechanism of ion exchange. The output curves of zinc sorption from solution and desorption of magnesium and calcium ions from the composition of yeast biomass under dynamic conditions at different pH are constructed. The amount of desorbed calcium and magnesium is equivalent to the amount of absorbed zinc. The values of the total dynamic exchange capacity (MPO) of yeast at different pH values have been determined.

Keywords: *zinc, biomass of feed yeast, Andreev medium, ion exchange, static exchange capacity, full dynamic exchange capacity.*

Загрязнение окружающей среды, вызываемое тяжелыми металлами стоков промышленных предприятий, является одной из наиболее актуальных проблем последнего десятилетия [1, 2]. В настоящее время разрабатываются физико-химические и биологические методы доочистки сточных вод до необходимых значений ПДК [3–6]. Все большее внимание уделяется биосорбционным процессам с привлечением биомассы микроорганизмов [7–11]. Биомасса микроорганизмов обладает универсальными сорбционными свойствами: хорошо развитой поверхностью; клетки в своем составе имеют полифункциональные группы – ацетиламидные, карбоксильные, фосфатные, способные образовывать комплексы с металлами по хелатному механизму с помощью координационных связей, а также нерастворимые соединения.

Среди многообразия микроорганизмов, которые способны к биосорбции тяжелых металлов, наибольший интерес представляют дрожжи [12–16]. Они используют широкий спектр механизмов детоксикации, связывая металлы посредством биосорбции и биоаккумуляции в малотоксичные соединения. Также дрожжи легко культивируются, являются технологичными, так как могут быть получены как отход при производстве ряда белковых продуктов, поэтому их применение экономически оправдано.

Целью настоящей работы является изучение процесса сорбции ионов цинка дрожжевыми клетками из пищевых сред и водных растворов, содержащих повышенные концентрации цинка. Решение данной проблемы позволит найти техническое применение биосорбентам на основе отходов дрожжевого производства и тем самым обеспечить утилизацию отходов микробиологической, пивоваренной промышленности.

Цинк попадает в природные воды в результате протекающих в природе процессов разрушения и растворения горных пород и минералов (сфалерит, цинкит, госларит, смитсонит, каламин), а также со сточными водами рудообогатительных фабрик и гальванических цехов, производств пергаментной бумаги, минеральных красок, вискозного волокна и др. ПДК_вZn²⁺ составляет 1 мг/дм³ (лимитирующий показатель вредности – органолептический), ПДК_{вр}Zn²⁺ – 0,01 мг/дм³ (лимитирующий признак вредности – токсикологический) [5,6].

Результаты и их обсуждение. С целью изучения возможности применения дрожжевой биомассы в качестве сорбента для извлечения ионов цинка были определены зависимости сорбции цинка сухой биомассой дрожжей от времени и величины рН в среде Андреева. Навески дрожжей определенной фракции внесены в колбы в расчете 1 г на 100 мл среды Андреева с рН = 4,5 и рН = 6,5. Инкубирование проводилось при температуре 37 °С и перемешивании при 180 об/мин. Через каждые 20 мин инкубирования из колб отбирали по 10 мл среды, отделяли раствор от биомассы центрифугированием в течение 20 мин при 4000 об/мин и фотокolorиметрически с сульфарсазеном определяли остаточные концентрации цинка в среде. Степень сорбции ионов цинка биомассой определялась по формуле

$$\alpha = \frac{(C_n - C_k)}{C_n} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где C_n – начальная концентрация цинка в среде (50 мг/л); C_k – конечная концентрация цинка в среде (остаточная).

Полученные результаты представлены на рис. 1.

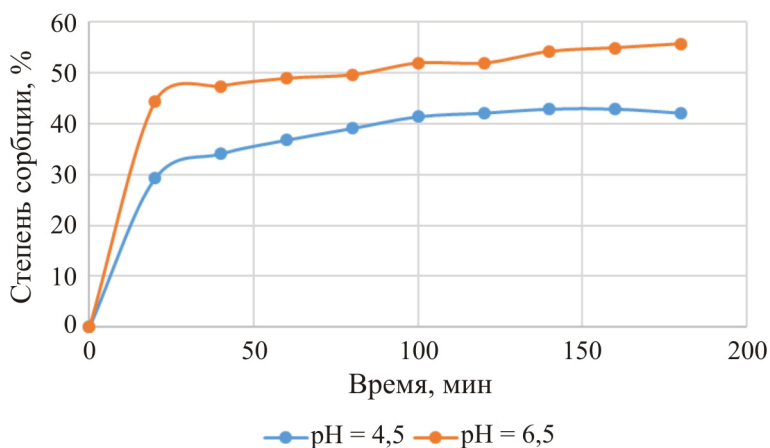


Рис. 1. Кинетические кривые сорбции цинка на кормовых дрожжах из среды Андреева

Результаты сорбции цинка сухой биомассой кормовых дрожжей позволили выявить ряд зависимостей, характеризующих особенности процесса сорбции. Показано, что основное количество цинка сорбируется из среды уже в первые 20 мин контакта сорбента с раствором. Причем глубже процесс протекает при более высоком значении pH. Степень извлечения цинка после 3 ч инкубирования при pH = 6,5 составила 55,7 %, а при pH = 4,5 – 42,1 %. Наблюдаемый рост сорбируемости, по-видимому, обусловлен гидролизом катионов металла.

Анализ имеющихся в литературе данных [11] показывает, что пределы токсичных концентраций цинка для дрожжевых организмов и грибов в 5–10 раз выше, чем для бактерий и актиномицетов. Наименьшей устойчивостью к высоким концентрациям цинка отличаются представители рода *Bacillus*, среди которых, как правило, отсутствуют цинкотолерантные виды. Определены зависимости статической обменной емкости сухой биомассы дрожжей от концентрации цинка из водных растворов и среды Андреева. Для этого навески измельченных сухих кормовых дрожжей массой 1 г были внесены в колбы на 250 мл со 100 мл растворов цинка с концентрациями 10, 20, 30, 50 и 100 мг/л. Культивирование проводили в периодических условиях при постоянном перемешивании 180 об/мин и температуре 37 °С. Остаточную концентрацию цинка определяли через 2 ч в надосадочной жидкости и в растворе фотоэлектроколориметрически с сульфарсазеном.

Статическая обменная емкость рассчитывалась как отношение произведения количества поглощенного металла (мг/л) на объем раствора (л) к массе навески дрожжей (г) по формуле

$$\text{COE} = \frac{(C_n - C_k) \cdot V}{m} \quad (2)$$

Результаты сорбции цинка приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость статической обменной емкости биомассы при сорбции цинка из водных растворов (COE) и среды Андреева (COE*) от его начальной концентрации

Начальная концентрация цинка, мг/л	COE, мг/г	COE*, мг/г
10	0,306	0,066
20	0,879	0,221
30	1,453	0,158
50	1,773	2,006
100	2,158	2,448

Отмечено, что статическая обменная емкость биомассы дрожжей зависит от начальной концентрации цинка в растворе. Полученная зависимость является линейной (в случае водных растворов цинка) только при небольших начальных концентрациях (10–30 мг/л) и характеризуется относительным спрямлением в горизонтальном направлении при увеличении концентрации цинка (происходит насыщение активных участков сорбента ионами цинка). Интересен тот факт, что при сорбции цинка из питательной среды Андреева, содержащей ионы кальция, магния, калия, натрия, хлорид, сульфат и ацетат-ионы, увеличение COE* начинается со значения концентрации цинка 30 мг/л. При низких концентрациях цинка COE* биомассы незначительна, что указывает на конкурирующее влияние посторонних ионов при их эквивалентном количественном соотношении с ионами цинка. Последующее увеличение значения COE* обусловлено тем, что при высоких концентрациях цинка влияние конкурирующих ионов незначительно. COE биомассы кормовых дрожжей при максимальной начальной концентрации цинка (100 мг/л) практически одинакова: в водном растворе – 2,16 мг/г и в среде Андреева – 2,44 мг/г (см. табл. 1).

Для изучения механизма сорбции цинка биомассой дрожжей определены зависимости статической обменной емкости от массы навески

ки. Эксперимент проводили по ранее описанной методике. Концентрацию цинка в растворе определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре Thermo Scientific iCE 3500. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость степени поглощения цинка
из водных растворов от массы навески дрожжей

Масса навески, г	Остаточная концентрация цинка в растворе, мг/л	Количество поглощенного цинка, мг/л	Степень поглощения ионов цинка, %
0,5	34,88	15,12	30,24
1	32,27	17,73	35,46
2	26,69	23,31	46,62
3	24,08	25,92	51,84
4	22,19	27,81	55,62

С увеличением массы навески возрастает количество поглощенного цинка. Степень поглощения цинка заметно растет при увеличении массы навески на 5–10 % на каждый дополнительный грамм, что соответствует 2,5–5 мг поглощенного цинка. Максимальная степень извлечения цинка (55,62 %) из раствора объемом 100 мл соответствует 4 г сорбента (см. табл. 2). Изучение зависимости сорбции от величины навески позволило подтвердить тот факт, что адсорбция является функцией поверхности, так как при увеличении массы сорбента остаточная концентрация в растворе цинка уменьшается, а степень сорбции увеличивается. Уменьшение СОЕ биомассы при увеличении массы кормовых дрожжей обусловлено тем, что зависимость количества поглощенного металла от изменения массы сорбента не является линейной зависимостью. Поэтому для насыщения большего количества биомассы требуется больше времени контакта. Таким образом, подтверждается поверхностный характер сорбции ионов из водных растворов.

Известно [13], что клеточные стенки дрожжей содержат полисахариды и бивалентные ионы металлов, способные к обмену с другими ионами. Эти ионы могут меняться на такие ионы из раствора, как Co^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} и др., образуя в результате комплексы между ионом металла и активными группами полисахаридов при поглощении металлов из среды. С целью исследования механизма сорбции цинка биомассой дрожжей были определены зависимости полной динамиче-

ской обменной емкости (ПДОЕ) от величины рН водного раствора цинка. Динамические опыты проводили в колонках при пропускании растворов цинка с концентрацией 10 мг/л с различными значениями рН через слой сорбента массой 1 г (размеры частиц 2,5–5 мм) со скоростью 60 мл/ч при постоянном отборе проб. Полную динамическую обменную емкость определяли по формуле

$$\text{ПДОЕ} = \frac{(C_n - C_k) \cdot V}{m}, \quad (3)$$

где C_n – начальная концентрация цинка в среде, мг/л; C_k – конечная концентрация цинка в пробе из колонки, мг/л; V – объем пропущенного сорбата до наступления насыщения сорбента, мл; m – масса сорбента, г.

Концентрации цинка в пробах были определены методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе ААС-30. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения полной динамической обменной емкости (ПДОЕ) и значения суммарного количества кальция и магния ($\sum(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$), вымываемых из состава биомассы дрожжей в зависимости от рН раствора

рН	7,67	6,18	5,10	3,68	2,08
ПДОЕ, мг/г	7,59	7,19	6,80	5,57	0,176
$\sum(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$, мг/г	6,65	6,59	5,88	5,53	3,11

Испытания, проведенные в динамических условиях, показали, что сорбционная емкость биомассы зависит от рН раствора (рис. 2).

При увеличении рН уменьшается остаточная концентрация цинка в растворе, следовательно, увеличивается степень поглощения цинка и полная динамическая обменная емкость биомассы (ПДОЕ). Однако эти результаты не могут быть приняты однозначно, так как при рН > 7 возможен гидролиз катионов цинка. Максимальная ПДОЕ биомассы равна 7,59 мг/г при рН = 7,67. В случае кислых растворов остаточное содержание цинка в конечном растворе близко к первоначальному и значения ПДОЕ соответственно равны: 0,176 мг/г при рН = 2,08 и 5,57 мг/г при рН = 3,68.

Было установлено, что сорбция ионов цинка из растворов сопровождалась вымыванием катионов кальция и магния из состава биомассы дрожжей (рис. 3).

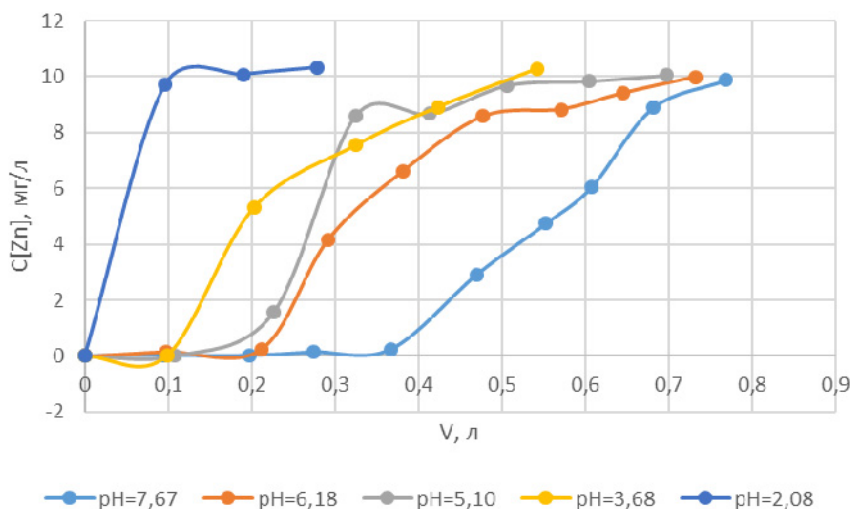


Рис. 2. Выходные кривые сорбции цинка биомассой дрожжей при разных значениях pH раствора

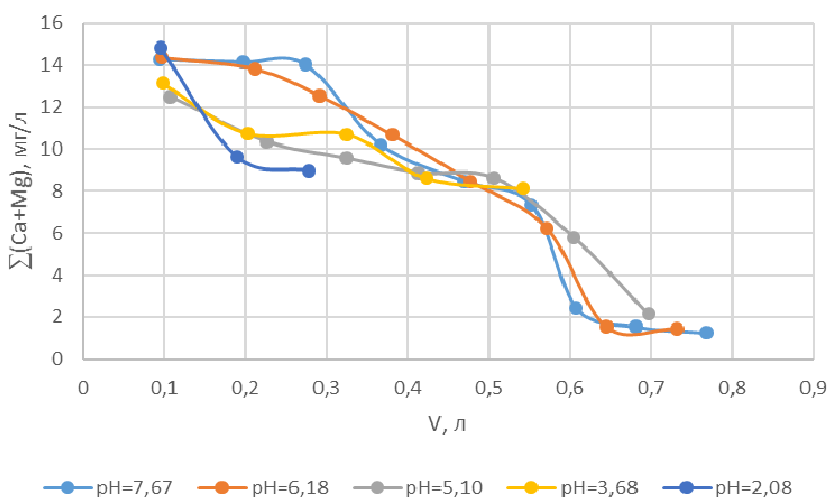


Рис. 3. Выходные кривые десорбции кальция и магния из состава дрожжей при разных значениях pH раствора

Определено, что сопровождающая сорбцию цинка десорбция кальция и магния свидетельствует о протекающих реакциях ионного обмена: $Zn^{2+} \leftrightarrow Ca^{2+}$ и $Zn^{2+} \leftrightarrow Mg^{2+}$, в результате которых катионы цинка замещают ионы щелочно-земельных металлов на поверхности клеточных стенок биомассы. Одновременно происходит подкисление растворов с $pH > 6$, т.е. вытеснение ионов водорода сорбируемыми ионами цинка. Следовательно, данный биосорбент в протекающих реакциях ионного обмена является катионитом.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования биомассы кормовых дрожжей в качестве сорбентов для извлечения цинка из водных растворов. Способность кормовых дрожжей поглощать ионы цинка из раствора находится в зависимости от рН раствора и массы сорбента и наиболее успешно реализуется в щелочной среде. Установлен ионообменный механизм сорбции цинка дрожжами, показано вымывание кальция и магния из состава дрожжей в эквивалентных количествах поглощенному цинку. Использование инактивированной биомассы экономически более выгодно, так как отпадает необходимость поддержания строго определенных условий, таких как температура, рН, создание питательной среды и др., а также не требуется дополнительных материальных и трудовых затрат.

Список литературы

1. Федорова, О.А. Цинк в сточных водах и необходимость его извлечения перед сбросом / О.А. Федорова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2019. – № 11. – С. 632–636.
2. Пролейчик, А. Извлечение ионов тяжелых металлов из неорганических сточных вод / А. Пролейчик, И. Гапоненков, О. Федорова // Экология и промышленность России. – 2018. – № 22(3). – С. 35–39.
3. Извлечение цинка, меди, никеля и кобальта из сточных вод гальванических производств методом электронанофильтрации / С.И. Лазарев, И.В. Хорохорина, К.В. Шестаков, Д.С. Лазарев // Журнал прикладной химии. – 2021. – Т. 94, № 28. – С. 1059–1064.
4. Чугунов, А.Д. Решение проблем экологической безопасности путем сорбционного извлечения ионов ртути (II), никеля(I), цинка(I) и меди(II) из водных растворов и техногенных образований / А.Д. Чугунов, Е.Г. Филатова // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2023. – Т. 66, вып. 9. – С. 6–19.
5. Извлечение меди и цинка из сточных вод горно-обогатительных предприятий / А.Б. Лебедь, Р.И. Верховданов, З.А. Лебедь, М.Н. Морозов, Е.В. Прокудина, В.А. Кузнецов // Современные технологии производства цветных металлов: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию С.С. Набойченко. – Екатеринбург, 2022. – С. 112–118.
6. Садырбаева, Т.Ж. Электродиализное извлечение цинка (II) жидкими мембранами на основе ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты / Т.Ж. Садырбаева // Электрохимия. – 2019. – Т. 55, № 5. – С. 609–618.
7. Deng, S.B. Fungal biomass with grafted poly(acrylic acid) for enhancement of Cu (II) and Cd(II) biosorption / S.B. Deng, Y.P. Ting // Langmuir. – 2005. – Vol. 21. – P. 5940–5948.

8. Tan, T.W. Adsorption of Ni²⁺ on amine-modified mycelium of *Penicillium chrysogenum* / T.W. Tan, B. Hu, H.J. Su // *Enzyme Microb. Technol.* – 2004. – Vol. 35. – P. 508–513.

9. Day, R. Biosorption of cadmium (II), lead(II) and copper(II) with the filamentous fungus *Phanerochaete chrysosporium* / R. Day, A. Denizli, M.Y. Arica // *Bioresour Technol.* – 2001. – Vol. 76. – P. 67–70.

10. Скугорева, С.Г. Биосорбция тяжелых металлов микромицетами: особенности процесса, механизмы, кинетика / С.Г. Скугорева, Г.Я. Кантор, Л.И. Домрачева // *Теоретическая и прикладная экология.* – 2019. – № 2. – С. 14–31.

11. Лыков, И.Н. Использование биомассы микроорганизмов для извлечения тяжелых металлов из сточных вод / И.Н. Лыков, Р.А. Гаранин, Д.И. Петрухина // *Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства.* – 2018. – № 3. – С. 60–63.

12. Efficient Removal of Metals from Synthetic and Real Galvanic Zinc-Containing Effluents by Brewer's Yeast *Saccharomyces cerevisiae* / I. Zinicovscaia, N. Yushin, D. Abdusamadzoda, D. Grozdov, M. Shvetsova // *Materials.* – 2020. – Vol. 13, no. 16. – P. 3624.

13. Гаранин, Р.А. Исследование возможности использования дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) в качестве биосорбента тяжелых металлов из промышленных сточных вод / Р.А. Гаранин, И.Н. Лыков // *Вестник МГТУ «Естественные науки».* – 2008. – № 1. – С. 110–119.

14. Wang, J.L. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review / J.L. Wang, C. Chen // *Biotechnol. Adv.* – 2006. – Vol. 24. – P. 427–451.

15. Park, J.K. Cadmium uptake capacity of two strains of *Saccharomyces cerevisiae* cells / J.K. Park, J.W. Lee, J.Y. Jung // *Enzyme Microb. Technol.* – 2003. – Vol. 33. – P. 371–378.

References

1. Fedorova O.A. Cink v stochnyh vodah i neobhodimost' ego izvlechenija pored sbrosom [Zinc in wastewater and the need to extract it before discharge]. *Resursojenergojeffektivnye tehnologii v stroitel'nom komplekse regiona*, 2019, no.11, pp.632-636.

2. Prolejchik A., Gaponenkov I., Fedorova O. Izvlechenie ionov tjazhelyh metallov iz neorganicheskikh stochnyh vod [Extraction of heavy metal ions from inorganic wastewater]. *Jekologija i promyshlennost' Rossii*. 2018; 22(3). pp.35-39.

3. Lazarev S.I., Horohorina I.V., Shestakov K.V., Lazarev D.S. Izvlechenie cinka, medi, nikelja i kobal'ta iz stochnyh vod gal'vanicheskikh proizvodstv metodom jelektronanofil'tracii [Extraction of zinc, copper, nickel and cobalt from wastewater of electroplating industries by electro nanofiltration] *Zh. Prikladnoj himii*, 2021, Vol.94, no.28, pp.1059-1064.

4. Chugunov A.D., Filatova E.G. Reshenie problem jekologicheskoy bezopasnosti putem sorbcionnogo izvlechenija ionov rtuti (II), nikelja(1), cinka(1) i medi(II) iz vodnyh rastvorov i tehnogennyh obrazovanij. [Solving environmental safety problems by sorption extraction of mercury (II), nickel(1), zinc(1) and copper(II) ions from aqueous solutions and man-made formations] *Izv. vuzov. Himija i him. tehnologija*. 2023. Vol. 66. Vyp. 9. pp. 6-19.

5. Lebed' A.B., Verhodanov R.I., Lebed' 3.A., Morozov M.N., Prokudina E.V., Kuznecov V.A. Izvlechenie medi i cinka iz stochnyh vod gornobogatitel'nyh predpriyatij [Extraction of copper and zinc from wastewater from mining and processing enterprises] *Sovremennye tehnologii proizvodstva cvetnyh metallov: materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 80-letiju S.S.Nabojchenko, Ekaterinburg, 24-25 marta 2022g.*, pp. 112-118.

6. Sadyrbaeva T.Zh. Jelektrodializnoe izvlechenie cinka (II) zhidkimi membranami na osnove di-(2-jetilgeksil)fosfornoj kisloty [Electrodialysis extraction of zinc (II) by liquid membranes based on di-(2-ethylhexyl)phosphoric acid] *Jelektrohimija*, 2019, Vol.55, no.5, pp.609-618.

7. Deng S. B., Ting Y. P. Fungal biomass with grafted poly(acrylic acid) for enhancement of Cu (II) and Cd(II) biosorption. [Fungal biomass with grafted poly(acrylic acid) for enhancement of Cu (II) and Cd(II) biosorption] *Langmuir*. 2005. Vol. 21. pp. 5940-5948.

8. Tan T.W, Hu B, Su H. J. Adsorption of Ni²⁺ on amine-modified mycelium of *Penicillium chrysogenum*. [Adsorption of Ni²⁺ on amine-modified mycelium of *Penicillium chrysogenum*] *Enzyme Microb. Technol.* 2004. Vol.35. pp.508-513.

9. Day R., Denizli A., Arica M. Y. Biosorption of cadmium(II), lead(II) and copper(II) with the filamentous fungus *Phanerochaete chrysosporium*. [Biosorption of cadmium(II), lead(II) and copper(II) with the filamentous fungus *Phanerochaete chrysosporium*] *Bioresour Technol.* 2001.-Vol.76. pp. 67-70.

10. Skugoreva S.G., Kantor G.Ja., Domracheva L.I Biosorbciija tjazhjoljyh metallov mikromicetami: osobennosti processa, mehanizmy, kinetika [Biosorption of heavy metals by micromycetes: process features, mechanisms, kinetics] *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija.*, 2019, no.2, pp. 14-31.

11. Lykov I.N., Garanin R.A., Petruhina D.I. Ispol'zovanie biomassy mikroorganizmov dlja izvlechenija tjazhelyh metallov iz stochnyh vod. [The use of microbial biomass to extract heavy metals from wastewater] *Jekologicheskaja bezopasnost' stroitel'stva i gorodskogo hozjajstva*, 2018, no.3, pp.60-63

12. Inga Zinicovscaia, Nikita Yushin, Daler Abdusamadzoda, Dmitrii Grozdov and Margarita Shvetsova. Efficient Removal of Metals from Synthetic and Real Galvanic Zinc-Containing Effluents by Brewer's Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. [Efficient Removal of Metals from Synthetic and Real Galvanic Zinc-Containing Effluents by Brewer's Yeast *Saccharomyces cerevisiae*] *Materials* - 2020. Vol. 13, no.16. 3624 p.

13. Garanin R.A. Lykov I.N. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovanija drozhzhej (*Saccharomyces cerevisiae*) v kachestve biosorbenta tzhzhelyh metallov iz promyshlennyh stochnyh vod. [Investigation of the possibility of using yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a heavy metal biosorbent from industrial wastewater] *Vestnik MGTU «Estestvennye nauki»*, 2008, no.1, pp. 110-119.

14. Wang J.L, Chen C. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review. [Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review] *Biotechnol. Adv.* 2006. Vol.24. pp. 427-451.

15. Park J. K., Lee J. W., Jung J. Y. Cadmium uptake capacity of two strains of *Saccharomyces cerevisiae* cells [Cadmium uptake capacity of two strains of *Saccharomyces cerevisiae* cells] *Enzyme Microb. Technol.* 2003. Vol.33. pp.371-378.

Об авторах

Сбитнева Екатерина Олеговна (Пермь, Россия) – студентка кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: ekaterina.sbitneva.28@mail.ru).

Пан Лариса Сергеевна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: lara.pan1959@mail.ru).

Бахирева Ольга Ивановна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: vvv.pstu@mail.ru).

About the authors

Ekaterina O. Sbitneva (Perm, Russian Federation) – Student of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolsky Ave., Perm, 614990; e-mail: ekaterina.sbitneva.28@mail.ru).

Larisa S. Pan (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: lara.pan1959@mail.ru).

Olga I. Bakhireva (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: bahirevy@mail.ru).

Поступила: 13.05.2024

Одобрена: 02.06.2024

Принята к публикации: 13.06.2024

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Пан, Л.С. Изучение процесса сорбции цинка кормовыми дрожжами / Л.С. Пан, Е.О. Сбитнева, О.И. Бахирева // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2024. – № 2. – С. 7–19.

Please cite this article in English as:

Pan L.S., Sbitneva E.O., Bakhireva O.I. Studying the process of zinc sorption by feed yeast. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2024, no. 2, pp. 7-19 (In Russ).