



УДК 581.6:582.47:674.8

**А.В. Семенович, О.А. Шапченкова,  
А.А. Анискина, С.Р. Лоскутов**  
A.V. Semenovich, O.A. Sharchenkova,  
A.A. Aniskina, S.R. Loskutov

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ КАТИОНОВ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$   
ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОРОЙ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД**

**REMOVAL OF  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  AND  $\text{Ni}^{2+}$   
CATIONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY MODIFIED BARK**

**Ключевые слова:** хвойные древесные породы, утилизация коры, модифицирование, катионы металлов, сорбция, катионообменник.

**Keywords:** coniferous tree species, utilization of bark, modification, metal cations, sorption, cation exchanger.

Скопление на территории России коры как отхода окорки древесины требует поиска новых способов её утилизации. Рассмотрена утилизация коры хвойных древесных пород путем модифицирования ее поверхности химическими реагентами с получением сорбентов, способных улавливать из разбавленных водных растворов катионы металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  (начальная концентрация катионов в растворах 10 и 200 мг/дм<sup>3</sup>). Модифицирование коры осуществляли методом фенолформальдегидной конденсации с использованием ряда катализаторов – серной и азотной кислот, гидроксида натрия. Сорбционные свойства полученных сорбентов исследованы при температуре  $20 \pm 1,5^\circ\text{C}$  с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрометр МГА-915МД, Россия) для количественного определения сорбированных катионов. Физико-химические показатели модифицированной коры определены общеизвестными стандартными методами. Установлено, что сорбенты имеют малую насыпную плотность до  $0,21 \text{ г/см}^3$ , степень набухания в воде – до 0,24, влажность в воздушно-сухом состоянии – до 11,07%. Сорбционная способность сорбентов по отношению к катионам варьирует от 0,57 до 46,26 мг/г в зависимости от породы дерева, типа катализатора модифицирования, исходной концентрации катиона металла в растворе. Наиболее эффективный сорбент для извлечения катионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  – модифицированная кора сосны, катионов  $\text{Cr}^{3+}$  – модифицированная кора лиственницы. Максимальная сорбционная способность по отношению к катионам металлов проявилась у коры всех пород, модифицированной в присутствии щелочного катализатора. Катионы  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  сорбируются лучше, чем другие катионы всеми препаратами коры; хуже всего извлекаются из растворов катионы  $\text{Cr}^{3+}$ .

Accumulation of coniferous bark (*Larix sibirica* L., *Pinus sylvestris* L., and *Abies sibirica* Ledeb.) as the waste of wood industry on the territory of Russia makes it necessary to search the new ways of bark utilization. This work focuses on the utilization of coniferous bark by its modification using chemical reagents to get sorbents. The sorbents were able to remove the metal cations ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and  $\text{Ni}^{2+}$ ) from aqueous solutions (at the initial concentration of cation in solution 10 and 200 mg gm<sup>3</sup>). The bark was modified by method of formaldehyde condensation using the sulfuric and nitric acids, sodium hydroxide as catalysts. Sorption properties of sorbents were studied at  $20 \pm 1.5^\circ\text{C}$  and estimated by atomic absorption spectroscopy (spectrometer MGA-915MD, Russia). The physico-chemical properties of modified bark were determined by well-known standard methods. The sorbents obtained have a low apparent density ( $0.21 \text{ g cm}^3$ ), the degree of swelling in water is up to 0.24, the moisture of air-dried sample is up to 11.07%. The cation exchange capacity of sorbents varied from 0.57 to 46.26 mg g depending on tree species, the type of catalyst, and the initial concentration of a metal cation in solution. The most effective sorbent for removal of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , and  $\text{Pb}^{2+}$  cations from aqueous solutions was modified bark of *Pinus sylvestris* L. The modified bark of *Larix sibirica* L. was more efficient for removal of  $\text{Cr}^{3+}$ . The bark of all tree species studied modified by formaldehyde with sodium hydroxide as catalyst showed the highest sorption capacity for metal cations. The removal of metals from aqueous solutions by all samples of modified bark found to be more effective for  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  and worse for  $\text{Cr}^{3+}$  compared to other cations.

**Семенович Анжелика Владимировна**, к.х.н., м.н.с., ФГБУН ФИЦ КНЦ СО РАН Обособленное подразделение Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. Тел.: (391) 249-44-69. E-mail: semenovich\_a@ksc.krasn.ru.

**Шапченко Ольга Александровна**, к.б.н., н.с., ФГБУН ФИЦ КНЦ СО РАН Обособленное подразделение Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. Тел.: (391) 249-44-69. E-mail: sholga@ksc.krasn.ru.

**Анискина Антонина Александровна**, н.с., ФГБУН ФИЦ КНЦ СО РАН Обособленное подразделение Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. Тел.: (391) 249-44-69. E-mail: aniskina\_a@ksc.krasn.ru.

**Лоскутов Сергей Реджинальдович**, д.х.н., зам. директора, ФГБУН ФИЦ КНЦ СО РАН Обособленное подразделение Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. Тел.: (391) 249-44-69. E-mail: lsr@ksc.krasn.ru.

**Semenovich Anzhelika Vladimirovna**, Cand. Chem. Sci., Junior Staff Scientist, V.N. Sukachev Institute of Forest, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Krasnoyarsk. Ph.: (391) 249-44-69. E-mail: semenovich\_a@ksc.krasn.ru.

**Shapchenkova Olga Aleksandrovna**, Cand. Bio. Sci., Staff Scientist, V.N. Sukachev Institute of Forest, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Krasnoyarsk. Ph.: (391) 249-44-69. E-mail: sholga@ksc.krasn.ru.

**Aniskina Antonina Aleksandrovna**, Staff Scientist, V.N. Sukachev Institute of Forest, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Krasnoyarsk. Ph.: (391) 249-44-69. E-mail: aniskina\_a@ksc.krasn.ru.

**Loskutov Sergey Redzhinaldovich**, Dr. Chem. Sci., Deputy Director, V.N. Sukachev Institute of Forest, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Krasnoyarsk. Ph.: (391) 249-44-69. E-mail: lsr@ksc.krasn.ru.

### Введение

На территории Сибири кора древесных пород *Larix sibirica* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb. – многотоннажный отход окорки древесины. В масштабах России ежегодно образуется до 700 млн т отходов лесо- и деревообработки, доля коры – 11% [1]. Перспективным направлением утилизации коры является получение из нее сорбентов, способных улавливать из сточных вод загрязняющие вещества. Использование необработанной коры нецелесообразно, поскольку ее водорастворимые вещества вызывают вторичное загрязнение очищаемого стока. Для целенаправленного изменения и регулирования сорбционных характеристик коры зарубежными исследователями предложено ее химическое модифицирование. В качестве сырья используют кору деревьев, произрастающих на территории США, Канады, Франции, Японии, Чили [2]. Свойства такого сорбента зависят от ряда факторов, в том числе от фракционного состава коры (луб-корка-древесина), особенностей анатомо-морфологического строения и химического состава сырья, которые определяются не только принадлежностью к той или иной породе, но и ботанико-географическими условиями произрастания деревьев.

В лабораториях Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН исследования по этой проблеме проводятся с середины 90-х годов прошлого столетия. Российскими учеными предлагается комплексный подход к переработке коры с целью получения ряда лесотехнических продуктов [3-6]. Комплексная переработка коры включает стадию экстракции, при этом сырье должно соответствовать требованиям стандарта,

нестандартное сырье вполне пригодно для модифицирования. В связи с этим изучение сорбционных свойств модифицированной коры основных лесобразующих пород Сибири является актуальной задачей.

**Целью** работы является изучение сорбционной способности модифицированной коры хвойных древесных пород Сибири по отношению к катионам  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и определение физико-химических свойств полученных сорбентов.

### Объекты и методы

Объектом исследований служила кора лиственницы сибирской, сосны обыкновенной, пихты сибирской. Окорка древесины производилась в Емельяновском районе г. Красноярска (зона лесостепи). Крупные куски коры высушивали, измельчали до фракции 0,5-1,0 мм. Модифицирование осуществляли методом фенолформальдегидной конденсации [7]. Способы модифицирования различались типом катализатора ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ). Условия модифицирования: концентрация катализатора – 0,3% продолжительность обработки – 15 мин., отношение «количество вещества полифенольных соединений коры и количество вещества  $\text{CH}_2\text{O}$  было равным, отношение « $\text{CH}_2\text{O}$ /раствор кислоты (или щелочи)» составляло 1/441.

Определение влажности образцов проводили с помощью инфракрасного термogravиметрического анализатора влажности Sartorius MA-35 (Производитель: концерн Sartorius AG, Германия). Определение насыпной плотности сорбентов осуществляли объемно-весовым методом [8]. Степень набухания образцов определяли как отношение между насыпной плотностью

образцов в воздушно-сухом и во влажном состоянии.

Эксперименты по изучению сорбции катионов металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  из водных растворов солей модифицированной корой (МК) проводили в статических условиях при температуре  $20 \pm 1,5^\circ\text{C}$ . Точные навески образцов (0,6 г) загружали в колбы Эрленмейера (емкостью 0,5 дм<sup>3</sup>), заливали водными растворами солей  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Cr}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ ;  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  с концентрацией катиона металла ( $M_e^{n+}$ ) в исходном растворе 10 мг/дм<sup>3</sup> (или 200 мг/дм<sup>3</sup>) объёмом 0,3 дм<sup>3</sup>. Через 24 ч отделяли насыщенный катионами металлов сорбент от жидкой фазы при помощи стеклянного пористого фильтра. Равновесную концентрацию катионов  $M_e^{n+}$  в фильтратах (при концентрации  $M_e^{n+}$  в исходном растворе  $C_0 = 10$  мг/дм<sup>3</sup>) и валовое содержание элементов в твердой фазе сорбентов (при  $C_0 = 200$  мг/дм<sup>3</sup>) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915 (Россия). Величину сорбции катионов  $M_e^{n+}$  модифицированной корой из растворов в фильтратах (при исходной концентрации солей 10 мг/дм<sup>3</sup>),  $S_e$ , мг/г, рассчитывали по формуле (1), степень извлечения катионов  $M_e^{n+}$  из растворов,  $E$ , %, – по формуле (2):

$$S_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{g}, \quad (1)$$

$$E = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $S_e$  – количество  $M_e^{n+}$ , поглощенного препаратом при равновесии, мг/г;

$C_0$  – концентрация  $M_e^{n+}$  в исходном растворе, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_e$  – равновесная концентрация  $M_e^{n+}$  в фильтрате, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  – объем раствора  $M_e^{n+}$ , взятого для контактирования с сорбентом, дм<sup>3</sup>;

$g$  – масса абсолютно сухой навески сорбента, г.

### Результаты и обсуждение

В результате модифицирования коры получен твердый сыпучий сорбент, при контакте которого с растворами солей вторичного загрязнения очищаемого раствора не происходит. Сорбенты характери-

зуются малой насыпной плотностью (0,15-0,21 г/см<sup>3</sup>), невысокой степенью набухания в воде (0,19-0,24) и влажностью в воздушно-сухом состоянии (6,19-11,07%). Слабая способность МК к набуханию в воде подтверждает наличие большого количества поперечных связей в макромолекулах сорбента как изначально присутствующих в составе, так и образованных в процессе модифицирования при введении сшивающего агента. Известно, что чем больше поперечных связей, тем полимерная сетка плотнее и жестче.

Результаты определения величины сорбции катионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  из водных растворов с концентрацией 10 мг/дм<sup>3</sup> модифицированной корой представлены на рисунке 1. Сорбционная способность полученных сорбентов по отношению к катионам варьирует от 0,57 до 4,73 мг  $M_e^{n+}$ /г. Близкие результаты получены при изучении сорбционных свойств модифицированной коры *Pinyon Juniper* по отношению к катионам  $\text{Zn}^{2+}$  в подобных условиях [9].

Модифицированная кора сосны независимо от способа обработки извлекает катионы  $M_e^{n+}$  из водных растворов в больших количествах по сравнению с корой лиственницы и пихты. Различие в сорбционной способности сорбентов объясняется различием в природе и концентрации функциональных групп в МК, ответственных за взаимодействие с катионами.

Величина сорбции катионов препаратами зависит от типа катализатора, использованного при обработке. Влияние типа кислотного катализатора на сорбционную способность МК неоднозначно. Модифицирование коры в присутствии серной кислоты в большинстве случаев приводит к повышению сорбционной емкости сорбентов от 0,9 до 35,44% по сравнению с этим показателем для образцов, модифицированных при использовании в качестве катализатора азотной кислоты. В некоторых случаях наблюдался и противоположный эффект: сорбционная способность модифицированной в присутствии серной кислоты коры была меньше от 10,44 до 42% по сравнению с препаратами, модифицированными в присутствии азотной кислоты. При использовании основного катализа при модифицировании коры в большинстве случаев сорбционная способность по отношению к катионам  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  оказалась выше (на 3,07-62,82%), чем этот показатель для образцов, полученных при использовании кислотного катализа. Некоторые образцы

коры, модифицированной в присутствии кислот имели преимущество по сорбционной емкости по отношению к  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  (на 7,52-37,4%), чем образцы, модифицированные в присутствии щелочи.

Механизмы модифицирования коры в присутствии кислотного или основного катализатора различны. Модифицирование коры в кислой среде приводит к образованию в коре нерастворимых фенолоформальдегидных полимеров трехмерного строения и дополнительных кислородсодержащих функциональных групп (-ОН, -СООН, -СОН, -СО). В щелочной среде образуются низкомолекулярные многоатомные фенолоспирты.

Катионы  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  сорбируются лучше, чем другие катионы всеми препаратами коры, хуже всего извлекаются из растворов катионы  $\text{Cr}^{3+}$ . Объяснить преобладающую сорбцию того или иного катиона металла МК сложно из-за гетерогенности активных центров сорбента, степень участия которых в связывании катионов  $\text{Me}^{n+}$  может быть различна.

Эффективность сорбции катионов  $\text{Me}^{n+}$  тем или иным образцом модифицирован-

ной коры характеризует показатель степени извлечения катиона из раствора в равновесном состоянии, который варьирует в зависимости от породы дерева и способа обработки от 10,14 до 84,02%.

Способность МК извлекать катионы  $\text{Me}^{n+}$  из высококонцентрированных растворов ( $200 \text{ мг/дм}^3$ ) значительно выше, чем из растворов с низкой концентрацией катионов в растворе (рис. 2).

Этот показатель по отношению к катионам  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  при данных условиях опыта варьирует от 1,34 до 46,26 мг  $\text{Me}^{n+}/\text{г}$ . Максимальная сорбционная способность по отношению к катионам металлов проявилась у коры всех пород, модифицированной в присутствии основного катализатора. Величина сорбции повышалась от 17,41 до 72,19% по сравнению с этим показателем для модифицированной коры в присутствии кислотного катализатора. Наилучшие показатели сорбционной способности по отношению к катионам  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  получены для препарата МКС-ГН, по отношению к катионам  $\text{Cr}^{3+}$  – для препарата МКЛ-ГН.

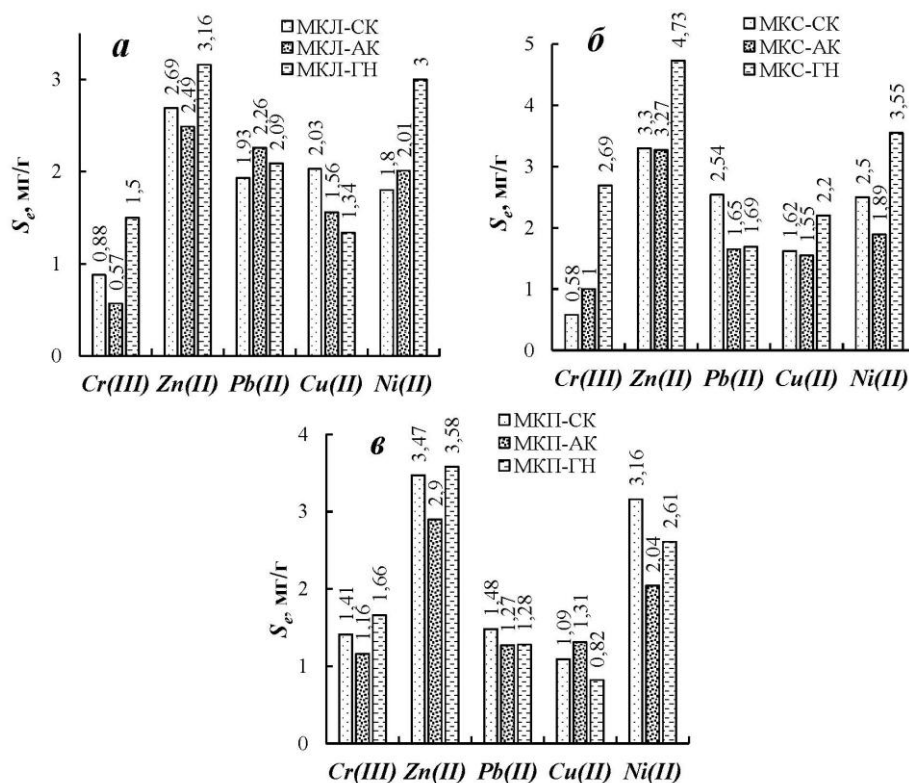


Рис. 1. Величина сорбции катионов  $\text{Me}^{n+}$  из водных растворов с концентрацией  $10 \text{ мг/дм}^3$  модифицированной корой лиственницы (а), сосны (б) пихты (в). Обозначения способов обработки:

МКЛ-СК – модифицированная кора лиственницы в присутствии серной кислоты в качестве катализатора; МКЛ-АК – в присутствии азотной кислоты; МКЛ-ГН – в присутствии гидроксида натрия.

По такой же схеме обозначены образцы коры сосны и пихты



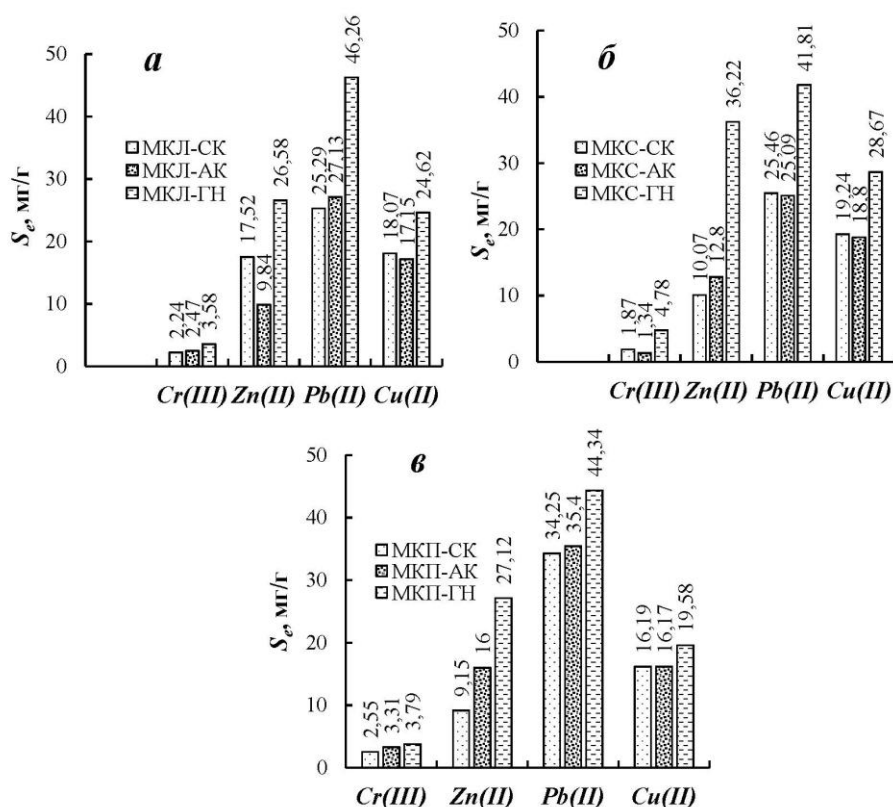


Рис. 2. Величина сорбции катионов  $Me^{n+}$  из водных растворов с концентрацией  $200 \text{ мг/дм}^3$  модифицированной корой лиственницы (а), сосны (б), пихты (в) (Обозначения способов обработки те же, что и на рис. 1)

Как и в случае низкоконцентрированных растворов влияние типа кислотного катализатора на сорбционную способность МК неоднозначно. Модифицирование коры в присутствии серной кислоты в одних случаях приводит к повышению сорбционной емкости сорбентов от 0,12 до 43,83%, в других – к снижению этого показателя от 3,24 до 42,81% по сравнению с образцами, модифицированными в присутствии азотной кислоты как катализатора.

При высоких концентрациях катионов в растворах наилучшим образом сорбируются катионы  $Pb^{2+}$  всеми препаратами коры, хуже всего извлекаются из растворов катионы  $Cr^{3+}$ .

**Заключение**

Химическое модифицирование коры хвойных древесных пород *Larix sibirica* Ledeb, *Pinus sylvestris* L. и *Abies sibirica* L. методом фенолформальдегидной поликонденсации в присутствии кислотного или основного катализатора позволяет получать сорбенты с катионообменными свойствами по отношению к катионам металлов. Сорбционная способность МК по отношению к катионам  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  варьирует от 0,57 до 46,26 мг/г сухого вещества коры в зависимости от типа исходного

сырья, природы катиона, исходной концентрации катионов в водном растворе, типа катализатора модифицирования. Наиболее эффективным сорбентом для извлечения катионов  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  из водных растворов является модифицированная кора сосны, катионов  $Cr^{3+}$  – модифицированная кора лиственницы. Максимальная сорбционная способность по отношению к катионам металлов проявилась у коры всех пород, модифицированной в присутствии основного катализатора. При низких концентрациях катионов в растворе катионы  $Zn^{2+}$  сорбируются лучше, чем другие катионы всеми препаратами коры, при высоких концентрациях – катионы  $Pb^{2+}$ . Хуже всего, в условиях изученных концентраций растворов солей, извлекаются из растворов катионы  $Cr^{3+}$ .

**Библиографический список**

1. Голубев И.Г., Шванская И.А., Коваленко Л.Ю., Лопатников М.В. Рециклинг отходов в АПК: справочник. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 296 с.
2. Семенович А.В. Сорбционные свойства модифицированной коры *Larix sibirica* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* L.: дис. ... канд. хим. наук. – Красноярск, 2013. – 178 с.

3. Левданский В.А., Полежаева Н.И., Макиевская А.И., Кузнецов Б.Н. Безотходная переработка коры пихты // Химия растительного сырья. – 2000. – № 4. – С. 21-28.

4. Рязанова Т.В. Комплексная переработка коры хвойных пород с получением дубильных экстрактов с заданными свойствами: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Красноярск, 1999. – 44 с.

5. Ильницкий М.Е., Ляндрес Г.В., Шпаков А.Я., Бушуева Н.Я. Технология производства эфирного масла и других продуктов из коры пихты сибирской // Производство кормовых и биологически активных продуктов из отходов и низкокачественного древесного сырья: тр. Всесоюз. науч.-техн. совещ. – Красноярск, 1990. – С. 110-120.

6. Черняева Г.Н., Долгодворова С.Я., Степень Р.А. Утилизация древесной биомассы. – Красноярск, 1987. – 166 с.

7. Fujii M., Shioya S., Ito A. Chemically modified coniferous wood barks as scavengers of uranium from sea water // *Holzforschung*. – 1988. – Vol. 4 (5). – P. 295-298.

8. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.

9. Han J.S. Stormwater filtration of toxic heavy metal ions using lignocellulosic materials selection process, fiberization, chemical modification, and mat formation // *Emerging Technologies for Sustainable Land Use and Water Management: 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water*. – Lausanne: Switzerland, 1999. – P. 1-17.

#### References

1. Golubev I.G., Shvanskaya I.A., Kovalenko L.Yu., Lopatnikov M.V. Retsikling otkhodov v APK: spravochnik. – М.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2011. – 296 s.

2. Semenovich A.V. Sorbtsionnye svoystva modifitsirovannoy kory Larix sibirica L., Pinus sylvestris L., Abies sibirica L.: dis. ... kand. khim. nauk. – Krasnoyarsk, 2013. – 178 s.

3. Levdanskiy V.A., Polezhaeva N.I., Makievskaya A.I., Kuznetsov B.N. Bezotkhodnaya pererabotka kory pikhty // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. – 2000. – № 4. – S. 21-28

4. Ryazanova T.V. Kompleksnaya pererabotka kory khvoynykh porod s polucheniem dubil'nykh ekstraktov s zadannymi svoystvami: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. – Krasnoyarsk, 1999. – 44 s.

5. Il'nitskiy M.E., Lyandres G.V., Shpakov A.Ya, Bushueva N.Ya. Tekhnologiya proizvodstva efirnogo masla i drugikh produktov iz kory pikhty sibirskoy // *Proizvodstvo kormovykh i biologicheskii aktivnykh produktov iz otkhodov i nizkokachestvennogo drevesnogo syr'ya: tr. Vsesoyuz. nauch.-tekhn. soveshch.* – Krasnoyarsk, 1990. – S. 110-120.

6. Chernyaeva G.N, Dolgodvorova S.Ya., Stepen' R.A. Utilizatsiya drevesnoy biomassy. – Krasnoyarsk, 1987. – 166 s.

7. Fujii M., Shioya S., Ito A. Chemically modified coniferous wood barks as scavengers of uranium from sea water // *Holzforschung*. – 1988. – Vol. 4 (5). – P. 295-298.

8. Smirnov, A.D. Sorbtsionnaya ochistka vody. – L.: Khimiya, 1982. – 168 s.

9. Han J.S. Stormwater filtration of toxic heavy metal ions using lignocellulosic materials selection process, fiberization, chemical modification, and mat formation // *Emerging Technologies for Sustainable Land Use and Water Management: 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water*. – Lausanne: Switzerland, 1999. – P. 1-17.

