

Journal of Siberian Federal University. Chemistry 4 (2014 7) 556-566

~ ~ ~

УДК 676.164

## Study of Phosphates Sorption on the Porous Supports from Birch Bark

**Evgeniya V. Veprikova<sup>a</sup>, Galina P. Skvortsova<sup>a</sup>,  
Svetlana A. Kuznetsova<sup>a,b</sup>, Nikolai V. Chesnokov<sup>a,b</sup>  
and Boris N. Kuznetsov<sup>a,b\*</sup>**

*<sup>a</sup>Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS  
50-24 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia*

*<sup>b</sup>Siberian Federal University  
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

Received 13.11.2014, received in revised form 29.11.2014, accepted 06.12.2014

---

*Processes of phosphates  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  and  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  sorption from water solutions by porous supports from inner birch bark and from birch bark were studied. The influence of salts concentrations in solution, nature and size of support particles on sorption activity were established. It was shown that sorption properties of a support from birch bark is higher than that of commercial active carbon from birch wood. Kinetic features of phosphates sorption by porous supports from inner birch bark and birch bark were discussed.*

*Keywords: birch bark, porous support, sorption, desorption, phosphates.*

---

---

© Siberian Federal University. All rights reserved

\* Corresponding author E-mail address: [inm@icct.ru](mailto:inm@icct.ru)

## Изучение сорбции фосфатов на пористых подложках из коры березы

**Е.В. Веприкова<sup>а</sup>, Г.П. Скворцова<sup>а</sup>, С.А. Кузнецова<sup>а,б</sup>,  
Н.В. Чесноков<sup>а,б</sup>, Б.Н. Кузнецов<sup>а,б</sup>**

<sup>а</sup>Институт химии и химической технологии СО РАН  
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50-24

<sup>б</sup>Сибирский федеральный университет  
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

---

*Изучены процессы сорбции фосфатов  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  из водных растворов пористыми подложками из луба и коры березы. Установлено влияние концентрации солей в растворе, природы и размера частиц подложек на процесс сорбции. Показано, что по своей сорбционной активности пористая подложка из коры березы превосходит промышленные активные угли из древесины березы. Получены и обсуждены данные по кинетике сорбции фосфатов пористыми подложками из луба и коры березы.*

*Ключевые слова: кора березы, пористая подложка, сорбция, десорбция, фосфаты.*

---

### Введение

Древесина березы традиционно широко используется на предприятиях деревообработки для производства различных материалов, а также древесного угля. При заготовке древесины накапливаются многотоннажные отходы коры, которые в основном вывозятся в отвалы или сжигаются.

Альтернативным направлением утилизации коры березы и ее составляющих (луба и бересты) является комплексная химическая переработка с получением биологически активных веществ (суберина, бетулина и его производных, антоцианидиновых красителей и др.) и энтеросорбентов, обладающих высокой сорбционной активностью в отношении веществ разной природы [1–5].

Энтеросорбенты из луба и коры березы можно применять в качестве пористых подложек для иммобилизации белковых веществ и фурацилина, что значительно расширяет область их применения [6]. Иммобилизация мочевины на таких пористых подложках позволила создать биокomпозитное удобрение, обладающее пролонгированным ростостимулирующим действием.

В литературе показана возможность создания эффективных микроудобрений и калий-содержащих композитных удобрений с пролонгированным действием на основе природных цеолитов. Последние являются носителями удобрительных элементов, способными в течение длительного времени выделять эти элементы в почвенный раствор, создавая эффект пролонгированного действия [7–10]. Следует отметить, что традиционные приемы пополнения почвы питательными элементами в виде минеральных удобрений не всегда эффективны из-за способ-

ности одних элементов быстро превращаться в нерастворимые формы и интенсивного вымывания других, что приводит к загрязнению грунтовых вод. Применение композитных удобрений с пролонгированным действием позволяет минимизировать эти недостатки. Однако внесение в почву только минеральных удобрений может приводить к потерям гумуса в результате того, что почвенная микрофлора способна восполнять дефицит поступления органических веществ за счет разложения гумуса [11]. Этот недостаток может быть устранен применением, например, комплексных органоминеральных удобрений пролонгированного действия на основе торфа [12].

Использование древесных пористых подложек для иммобилизации минеральных удобрительных элементов наиболее перспективно, так как разложение лигноцеллюлозных подложек в почве способствует повышению ее гумусного статуса [13]. Кроме того, применение доступного в регионе воспроизводимого сырья для получения подложек позволяет снизить себестоимость биоудобрений.

Очевидно, что эффективность пролонгированного действия биокомпозитного удобрения зависит от свойств пористой подложки и способа иммобилизации активного вещества. Поэтому для научно обоснованного выбора способа получения таких удобрений целесообразно оценить сорбционные свойства подложки в отношении биоактивного элемента.

Цель работы – изучение сорбции фосфатов  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  из водных растворов пористыми подложками из луба и коры березы.

### Экспериментальная часть

В качестве исходного сырья для пористых подложек использовали кору березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и отделенный от нее луб, заготовленные в окрестностях г. Красноярска. Сырье сушили при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния (остаточная влажность  $7,5 \pm 0,5$  %), измельчали на дезинтеграторе марки «Nossen» (Германия). Для подложек отбирали образцы луба и коры березы следующего фракционного состава, мас. %: (0,25 – 0,50) мм – 23,7; (0,50 – 1,00) мм – 76,3. Содержание бересты в образце коры березы составляло 45 мас. %.

Луб и кора березы содержали (мас. % от массы абсолютно сухого вещества соответственно) 42,5 и 59,6 лигнина и 21,6 и 15,8 целлюлозы.

Пористые подложки (ПП) на основе коры и луба березы получали обработкой сырья 1,5%-ным водным раствором NaOH при температуре  $(80 \pm 5)$  °C, гидромодуле 5, перемешивании  $(130 \pm 5)$  об/мин в течение 1 ч с последующей отмыжкой водой и нейтрализацией по методике, представленной в работе [5]. Полученные пористые подложки сушили при  $(50 \pm 5)$  °C.

Изотермы сорбции были получены с применением модельных растворов  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  с различной концентрацией фосфора (в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), которую варьировали от 0,01 до 3,0 г/л. В остальных экспериментах для изучения сорбции использовали модельные растворы с исходной концентрацией  $\text{P}_2\text{O}_5$   $(2,2 \pm 0,05)$  г/л.

Сорбцию проводили в статических условиях при встряхивании (интенсивность  $120 \pm 10$  колеб/мин) навески образца ПП (0,2 г) с модельными растворами (50 мл) при температуре  $(20 \pm 1)$  °C. Кинетику сорбции фосфора изучали, варьируя продолжительность процесса от 10 мин до 72 ч. Во всех остальных экспериментах продолжительность сорбции составляла 24 ч.

Десорбцию фосфора с пористых подложек проводили дистиллированной водой (рН 5,4) при встряхивании с интенсивностью  $(120 \pm 10)$  колеб/мин. Соотношение ПП из луба и коры березы и воды в процессе десорбции составляло  $0,25 \text{ г} : 25 \text{ мл}$ . Продолжительность десорбции варьировали от 1 до 72 ч. Влияние температуры изучали в интервале от 20 до 90 °С и продолжительности процесса десорбции 1 ч.

Изменение концентрации фосфора (в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) в модельных растворах в процессе сорбции и десорбции определяли дифференциальным фотометрическим методом согласно ГОСТ 200851.2–75. Микроколичества фосфора также определяли методом масс-спектрометрии на приборе ICP-MS 7500 Agilent.

По изменению концентрации фосфора в растворе рассчитывали сорбционную емкость ( $A$ , мг/г) пористых подложек из луба и коры березы и величину десорбции ( $D$ , мг/г). Все представленные в работе результаты являются усредненным значением трех измерений. Ошибка определения не превышала 5 %.

По уравнению изотермы сорбции Ленгмюра, приведенному к линейному виду, вычисляли  $A_\infty$  и  $K_L$ :

$$A^{-1} = (A_\infty K_L)^{-1} C_p^{-1} + A_\infty^{-1}, \quad (1)$$

где  $A$  – сорбция фосфора, мг/г;  $A_\infty$  – предельная сорбция, мг/г;  $C_p$  – равновесная концентрация фосфора (в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), мг/л;  $K_L$  – константа уравнения Ленгмюра.

Степень заполнения пористой подложки ( $F$ ) определяли по отношению  $A_t$  в момент времени  $t$  к равновесной сорбционной емкости  $A_p$  [14]:

$$F = A_t / A_p. \quad (2)$$

Предельный объем пор ( $W_s$ ) определяли по сорбции паров бензола в статических условиях по методике [15]. Удельную поверхность ( $S_{уд}$ ) устанавливали методом низкотемпературной адсорбции азота на приборе «Сорбтометр–М».

Регистрацию ИК-спектров образцов осуществляли на ИК-Фурье спектрометре «Tensor 27» (Bruker, Германия) в области  $4000\text{--}400 \text{ см}^{-1}$ . Обработка спектральной информации была проведена с использованием пакета программ OPUS, версия 5.5. Образцы для получения ИК-спектров готовили в виде таблеток в матрице бромистого калия. Условия приготовления образцов (концентрация вещества в матрице, время перемешивания с бромистым калием, давление прессования, время вакуумирования) были одинаковыми.

### Результаты и обсуждение

Известно, что фосфор усваивается корневой системой растений в виде  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$  [16]. Поэтому изучение сорбции фосфора на пористых подложках из луба и коры березы проводили из модельных растворов этих анионов.

Установлено, что процессы сорбции  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$  подложками из луба и коры описываются изотермами экстремального типа (рис. 1а и б).

Уменьшение сорбции по мере увеличения равновесной концентрации фосфора в модельных растворах выше точки максимума обусловлено разложением подложек в растворах фосфатов. В ходе эксперимента визуально фиксировали появление окраски, интенсивность которой

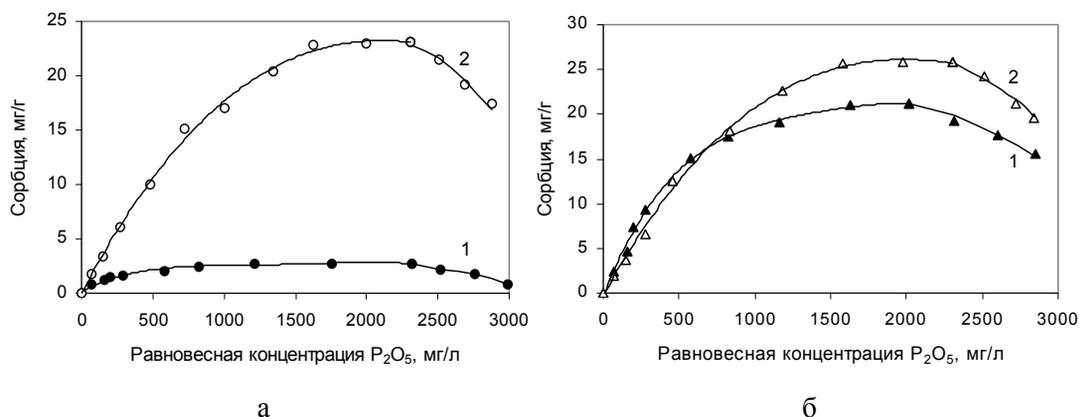


Рис. 1. Изотермы сорбции на пористых подложках из луба (а) и коры березы (б) из водных растворов KН<sub>2</sub>РO<sub>4</sub> (1) и Na<sub>2</sub>НРO<sub>4</sub> (2)

Таблица 1. Параметры изотермы Ленгмюра для сорбции фосфатов пористыми подложками (ПП) из луба и коры березы

| Подложка  | A <sub>max</sub> , мг/г | Параметры изотермы      |                |                |
|---|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
|   |                         | A <sub>0,5</sub> , мг/г | K <sub>L</sub> | R <sup>2</sup> |
| Сорбция НРO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>              |                         |                         |                |                |
| ПП из коры березы                                   | 25,80                   | 62,11                   | 0,456          | 0,99           |
| ПП из луба  | 23,11                   | 45,05                   | 0,586          | 0,99           |
| Сорбция Н <sub>2</sub> РO <sub>4</sub> <sup>-</sup> |                         |                         |                |                |
| ПП из коры березы                                   | 21,17                   | 41,49                   | 0,889          | 0,99           |
| ПП из луба  | 2,71                    | 2,95                    | 4,644          | 0,99           |

Примечание. A<sub>max</sub> – экспериментальная максимальная сорбция; R<sup>2</sup> – коэффициент аппроксимации.

увеличивалась с увеличением концентрации модельных растворов. Например, при увеличении исходной концентрации НРO<sub>4</sub><sup>2-</sup> от 2,6 до 2,9 г/л (в пересчете на Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>) оптическая плотность растворов после контакта с подложками в течение 24 ч повышалась от 0,025 до 0,075 (364 нм, длина слоя 10 мм). Все остальные эксперименты по изучению сорбции фосфатов проводили на модельных растворах с исходной концентрацией Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> 2,2 г/л, что обеспечивало максимальную сорбцию и стабильность подложек.

На рис. 1 видно, что сорбция дигидрофосфат аниона Н<sub>2</sub>РO<sub>4</sub><sup>-</sup> зависит от природы подложки. Так, способность подложки из луба к сорбции Н<sub>2</sub>РO<sub>4</sub><sup>-</sup> несопоставимо мала по сравнению с подложкой из коры березы. По сорбции НРO<sub>4</sub><sup>2-</sup> подложки из луба и коры отличаются незначительно. Следует отметить, что сорбционная активность подложки из березовой коры в отношении гидро- и дигидрофосфат анионов также характеризуется близкими значениями.

Участки изотерм сорбции фосфатов исследуемыми подложками, ограниченные значениями максимальной сорбции A<sub>max</sub>, с высокой степенью аппроксимации описываются уравнением Ленгмюра (табл. 1).

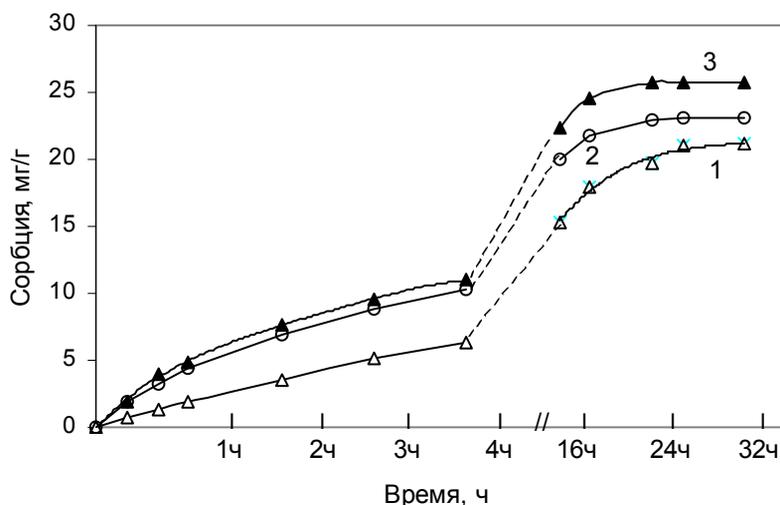


Рис. 2. Кинетика сорбции фосфатов на пористых подложках ПП из луба и коры березы: 1 – сорбция  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  на ПП из коры березы; 2 и 3 – сорбция  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  на ПП из луба и коры березы соответственно

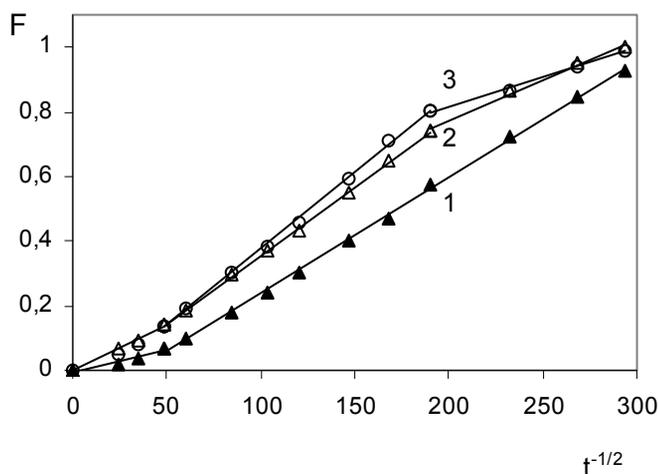


Рис. 3. Зависимость степени заполнения  $F$  пористых подложек ПП из луба и коры березы от  $t^{1/2}$ : 1 – сорбция  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  на ПП из коры березы; 2 и 3 – сорбция  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  на ПП из луба и коры березы соответственно

Причем только в случае сорбции  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  подложкой из луба экспериментальное значение  $A_{\text{max}}$  близко к расчетному значению предельной сорбции  $A_{\infty}$ . На основании значения константы равновесия  $K_L$  можно сделать вывод, что поглощение  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  подложкой из луба характеризуется наибольшей теплотой сорбции [17]. В остальных случаях расчетные и экспериментальные значения сорбции отличаются в 2–2,4 раза. Очевидно, это обусловлено нестойкостью подложек в концентрированных растворах фосфатов.

Процесс сорбции  $\text{HPO}_4^{2-}$  протекает медленно на подложках из луба и коры – сорбционное равновесие достигается через 24 ч. При этом анионы  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  сорбируются подложкой из коры еще медленнее – для достижения равновесного состояния требуется не менее 26 ч (рис. 2).

Таблица 2. Влияние размера частиц подложек ПП из луба и коры березы на сорбцию  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$ 

| Подложка          | Сорбируемое вещество      | Сорбция на ПП с различным размером частиц, мг/г |           | $A_{0,25-1,0}/A_{<0,25}$ |
|-------------------|---------------------------|---|-----------|--------------------------|
|                   |                           | 0,25 – 1,0 мм                                   | < 0,25 мм |                          |
| ПП из коры березы | $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ | 21,17   | 30,64     | 0,69                     |
| ПП из коры березы | $\text{HPO}_4^{2-}$       | 25,80   | 43,18     | 0,59                     |
| ПП из луба        | $\text{HPO}_4^{2-}$       | 23,11   | 36,69     | 0,63                     |

Примечание.  $A_{0,25-1,0}$ ,  $A_{<0,25}$  – сорбция на подложках с соответствующим размером частиц.

Таблица 3. Сорбция  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$  на подложках с различной пористой структурой (размер частиц подложек менее 0,25 мм)

| Подложка          | $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г | $W_s$ , см <sup>3</sup> /г | Сорбция $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , мг/г | Сорбция $\text{HPO}_4^{2-}$ , мг/г |
|-------------------|------------------------------|----------------------------|--|------------------------------------|
| ПП из луба        | 2,4                          | 0,11                       | 4,62                                     | 36,69                              |
| ПП из коры березы | 3,2                          | 0,10                       | 30,60                                    | 43,18                              |
| БАУ               | 524,6                        | 0,31                       | не сорбирует                             | 4,96                               |
| ОУ – А            | 717,8                        | 0,41                       | 14,98                                    | 43,47                              |

Для определения лимитирующей стадии процессов сорбции был применен графоаналитический метод построения зависимостей степени заполнения пористых подложек  $F$  от  $t^{1/2}$  (рис. 3).

Линейный характер зависимостей позволяет предположить, что сорбция анионов  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$  подложками из луба и коры протекает по внутридиффузионному механизму. Наличие участков с разным углом наклона свидетельствует об изменении роли внутренней диффузии на протяжении процесса сорбции [14].

Экспериментальные результаты, приведенные в табл. 2, служат подтверждением наличия внутридиффузионных затруднений в процессе сорбции  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

Видно, что на порошкообразных подложках (менее 0,25 мм) фосфаты сорбируются значительно лучше независимо от формы нахождения в растворе. Наибольший эффект от уменьшения размера частиц наблюдается при сорбции  $\text{HPO}_4^{2-}$  подложкой из коры – сорбция увеличивается почти 1,7 раза.

Отношение  $A_{0,25-1,0}/A_{<0,25}$  показывает зависимость сорбции от размера частиц сорбента. Чем ближе это отношение к единице, тем меньше внутренняя диффузия лимитирует процесс сорбции [14]. Очевидно, меньше всего диффузия внутри пор подложки влияет на сорбцию  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  подложкой из коры березы (табл. 2).

На примере активных углей БАУ и ОУ-Б исследовали влияние пористой структуры подложки на сорбцию  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$  (табл. 3).

Следует отметить, что БАУ, несмотря на хорошо развитую пористую структуру, по своей сорбционной активности уступает не только осветляющему углю ОУ – А, но и пористым подложкам (ПП) из луба и коры березы. По-видимому, это обусловлено несоответствием размеров пор БАУ и сорбируемых частиц.

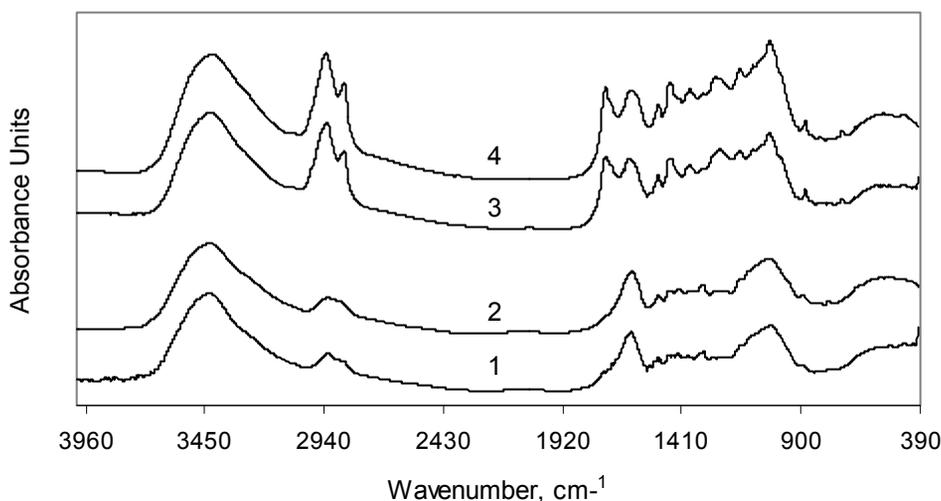


Рис. 4. ИК-спектры подложек из луба и коры березы до и после сорбции  $\text{HPO}_4^{2-}$  (размер частиц подложек менее 0,25 мм): 1 – ПП из луба; 2 – ПП из луба после сорбции; 3 – ПП из коры; 4 – ПП из коры после сорбции

В пористой структуре осветляющего угля ОУ – А в отличие от БАУ ( $V_{\text{мезо}} 0,08 \text{ см}^3/\text{г}$ ) присутствует значительно больше мезопор –  $V_{\text{мезо}} 0,27 \text{ см}^3/\text{г}$  [18]. По-видимому, развитая мезопористая структура этого угля и обуславливает его сорбционную активность в отношении  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

В случае пористых подложек из луба и коры березы значения  $S_{\text{уд}}$  и  $W_s$  не коррелируют со значениями сорбции фосфат анионов. Так, подложка из коры, имеющая низкие значения  $S_{\text{уд}}$  и  $W_s$ , по сорбции  $\text{HPO}_4^{2-}$  сравнима с ОУ – А, а по сорбции  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  превосходит его (табл. 3).

Можно предположить, что основной вклад в сорбцию фосфатов на подложках из луба и коры вносят взаимодействия с активными центрами на их поверхности. Известно, что на поверхности этих подложек с помощью ЭПР было обнаружено наличие парамагнитных феноксирадикалов, ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ , а также ферромагнитных наночастиц, обладающих высокой химической активностью. Установлено, что подложка из коры березы содержит больше активных феноксирадикалов и существенно больше ионов  $\text{Fe}^{3+}$ , чем подложка из луба. Вероятно, это обуславливает большую сорбционную активность подложки из коры в отношении сорбции фосфатов.

Был проведен сравнительный анализ ИК-спектров подложек из луба и коры березы до и после сорбции  $\text{HPO}_4^{2-}$  (рис. 4). В ИК-спектрах подложек после сорбции отмечено незначительное увеличение интенсивности поглощения в области 1100–1000 и 1000–800  $\text{см}^{-1}$  за счет колебаний связей Р-ОН [21].

При этом в спектрах подложек не обнаружено сдвига характеристических полос поглощения, свойственных группам разной природы. Очевидно, в процессе сорбции не происходит взаимодействия аниона  $\text{HPO}_4^{2-}$  с поверхностными группами подложек, которое возможно зафиксировать в области 4000-400  $\text{см}^{-1}$ .

На примере подложек из луба и коры березы (размер частиц менее 0,25 мм), на поверхности которых было иммобилизовано сорбционным способом 36,69 и 43,18 мг фосфора (в виде

Таблица 4. Десорбция фосфатов с пористых подложек (ПП) из луба и коры березы при различной продолжительности процесса

| Подложка   | Размер частиц подложек, мм | Десорбция, фосфора, мг/г |       |       |
|------------|----------------------------|--------------------------|-------|-------|
|            |                            | 24, ч                    | 48, ч | 72, ч |
| ПП из луба | 0,25 – 1,0                 | 0,01                     | 0,01  | 0,01  |
|            | менее 0,25                 | 0,02                     | 0,02  | 0,02  |
| ПП из коры | 0,25 – 1,0                 | 0,01                     | 0,02  | 0,02  |
|            | менее 0,25                 | 0,03                     | 0,04  | 0,04  |

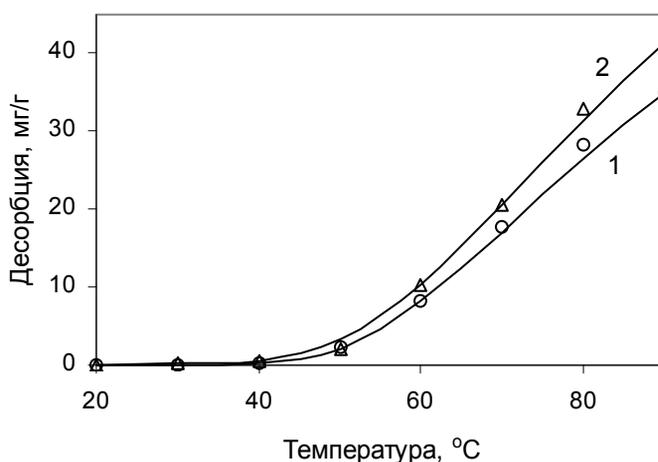


Рис. 5. Зависимость десорбция фосфатов с поверхности подложек из луба (1) и коры березы (2) от температуры (размер частиц подложек менее 0,25 мм, время 1 ч)

$\text{HPO}_4^{2-}$ ), была изучена десорбция фосфатов. Установлено, что на протяжении длительного времени при температуре  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  фосфаты слабо десорбируются водой независимо от размера частиц подложек (табл. 4).

Повышение температуры позволяет существенно увеличить десорбцию фосфатов с поверхности подложек уже в течение короткого времени (рис. 5).

Например, при температуре  $60^\circ\text{C}$  с подложки из луба и коры в раствор переходит 22,2 и 24,1 % сорбированных фосфатов. При  $90^\circ\text{C}$  десорбция с подложек увеличивается до 96 %. На основании экспериментальных данных были рассчитаны значения энергии активации  $E_a$  десорбции, которые равны 103 и 99 кДж/моль для подложки из луба и коры березы соответственно. Такие значения  $E_a$  могут служить подтверждением сильного взаимодействия фосфатов с активными центрами подложек.

### Заключение

В результате исследований выявлено различие сорбции  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  и  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  пористыми подложками из луба и коры березы. Было установлено, что эти пористые подложки проявляют близкую сорбционную активность в отношении  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Сорбция из раствора  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  проис-

ходит только на подложке из коры березы. Показано, что уменьшение размера частиц подложек с 0,5–1,0 мм до  $< 0,25$  мм приводит к увеличению их сорбционной емкости в 1,4–1,7 раза.

Установлено, что по своей сорбционной активности пористая подложка из коры березы превосходит промышленные активные угли марок БАУ и ОУ - А.

Получены температурные зависимости десорбции фосфатов с подложек из луба и коры березы. Рассчитанные значения энергии активации процесса десорбции равны 103 и 99 кДж/моль для подложек из луба и коры березы соответственно.

### Список литературы

1. Кислицин А.Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение // Химия древесины. 1994. № 3. С. 3-28.
2. Левданский В.А., Кузнецов Б.Н., Полежаева Н.И., Иванченко Н.М., Левданский А.В. Влияние активации коры березы перегретым паром на выход и состав экстрактов, содержащих бетулин и дубильные вещества // Химия растительного сырья. 2005. № 2. С. 15 – 20.
3. Судакова И.Г., Кузнецов Б.Н., Гарынцева Н.В. Изучение процесса выделения субериновых веществ из бересты березовой коры // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 41 – 44.
4. Кузнецова С.А., Левданский В.А., Кузнецов Б.Н., Щипко М.Л., Рязанова Т.В., Ковальчук Н.М. Получение дубильных веществ, красителей и энтеросорбентов из луба березовой коры // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. № 3. С. 401 - 409.
5. Веприкова Е.В., Кузнецова С.А., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. Свойства энтеросорбентов, полученных из автогидролизованной коры березы // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20. № 6. С. 673 – 678.
6. Веприкова Е.В., Щипко М.Л., Кузнецова С.А., Кузнецов Б.Н. Изучение сорбции маркера белковой природы – желатина на пористой подложке из луба березы // Катализ в промышленности. 2011. № 2. С. 72 – 76.
7. Кожевникова Н.М., Абашева Н.Е., Зонхоева Э.Л., Митыпов Б.Б., Меркушева М.Г. Физико-химические основы получения лантансодержащих микроудобрений // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. Т. 7. С. 675 – 679.
8. Кожевникова Н.М., Абашева Н.Е., Гаркушева Н.М. и др. Получение неодимсодержащих микроудобрений по сорбционной технологии // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 1. С. 65 – 69.
9. Окуджава Н.Г., Бериашвили Ц.А., Мамукошвили Н.Ш. Получение обогащенного калием природного цеолита двухтемпературным ионообменным методом с использованием морской воды // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8. Вып. 5. С. 875 – 880.
10. Патент № 2222514 РФ. Азотно-цеолитовое удобрение пролонгированного действия / Багдасаров В.Р., Казаченко А.А., Рустамбеков М.К., Успенский Б.Г., Кузнецова В.В., Ефремов Е.Н. - заявл. 04.04.2002; опубл. 27.01.2004.
11. Фокин Д.В., Дмитраков А.М., Соколов О.А. Участие микроорганизмов в трансформации гумуса почв // Агрехимия. 1999. № 9. С. 79–90.
12. Алексеева Т.П., Перфильева В.Д., Криницын Г.Г. Комплексные органоминеральные удобрения пролонгированного действия на основе торфа // Химия растительного сырья. 1999. № 4. С. 53 – 59.

13. Беловежец Л.А., Волчатова И.В., Медведева С.А. Перспективные способы переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 5 – 16.
14. Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Марутовский Р.М., Рода И.Г. Адсорбционная технология очистки сточных вод. Киев: Наук. думка, 1981. 175 с.
15. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1976. 512 с.
16. Безуглова Л.А. Удобрения и стимуляторы роста. Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. 317 с.
17. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1970. 306 с.
18. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. М.: Metallurgia, 2000. 352 с.
19. Infrared and Raman characteristic group frequencies: Tables and charts. G.Socrates. John Wiley- Sons, 2004. 347 p.