

УДК 676.164

DOI: 10.15372/KhUR20170206

Изучение сорбции калия пористыми подложками из коры березы

Е. В. ВЕПРИКОВА, С. А. КУЗНЕЦОВА, Н. В. ЧЕСНОКОВ, Б. Н. КУЗНЕЦОВ

*Институт химии и химической технологии Сибирского отделения РАН,
Красноярск, Россия**E-mail: inm@icct.ru*

(Поступила 02.02.16; после доработки 13.04.16)

Аннотация

Изучены процессы сорбции калия из водных растворов KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , K_3PO_4 , KCl и KNO_3 пористыми подложками из луба и коры березы. Установлено влияние природы солей на сорбцию калия. Показано, что по способности к сорбции калия исследованные соли образуют следующий ряд: $\text{K}_3\text{PO}_4 > \text{K}_2\text{HPO}_4 > \text{KCl} > \text{KNO}_3 > \text{KH}_2\text{PO}_4$. Проведен сравнительный анализ сорбции калия и фосфатов из растворов фосфорсодержащих солей. Изучено влияние величины рН растворов и фонового электролита на сорбцию калия из растворов различных солей. Установлено, что фоновый электролит оказывает позитивное влияние на сорбцию калия из растворов KH_2PO_4 , KCl и KNO_3 . На примере хлорида и нитрата калия показано, что с увеличением рН растворов солей (до рН 10.8) сорбция калия возрастает в большей мере по сравнению с влиянием фонового электролита. Установлено, что максимальная сорбция калия достигается из растворов K_3PO_4 и KCl (рН 10.8): A_∞ равно 32.55 и 30.20 мг/г соответственно. Приведены изотермы сорбции калия, полученные при различных условиях, для которых по уравнению Лэнгмюра определены значения константы K_L и предельной сорбции A_∞ . С привлечением этих данных рассчитаны значения сорбции калия и сопоставлены с экспериментальными результатами. Показано, что пористые подложки из луба и коры березы имеют близкую сорбционную активность в отношении калия. По сорбционным свойствам исследованные подложки превосходят активный уголь из древесины березы.

Ключевые слова: кора березы, пористая подложка, калий, сорбция, десорбция, пролонгированное действие

ВВЕДЕНИЕ

Береза относится к основным лесообразующим листовым породам на территории России и широко используется в различных отраслях деревообрабатывающей промышленности. При получении древесины накапливаются многотоннажные отходы коры березы. С позиции рационального природопользования такие отходы считаются ценным вторичным сырьем, которое должно максимально полно перерабатываться. Промышленное использование коры березы ограничивается в основном производством дегтя и декоративных изделий из бересты. Основная часть отходов сжигается или вывозится в отвалы, что

повышает негативное техногенное влияние на окружающую среду.

Важным направлением рациональной утилизации древесных отходов является получение на их основе органоминеральных удобрений для эффективного и устойчивого функционирования агросистем [1, 2]. Особое место среди удобрений занимают композиции пролонгированного действия, которые обладают способностью к длительному, медленному выделению питательных элементов в почву. Их применение сдерживает вымывание активных элементов грунтовыми водами и тем самым позволяет сократить количество вносимых в почву традиционных водорастворимых удобрений [2].

Один из способов обеспечения пролонгированного действия удобрений – применение пористых носителей и материалов с сорбционными или ионообменными свойствами для закрепления на них разнообразных питательных элементов. В литературе предлагается использовать в качестве носителей активных компонентов природные цеолиты и торф [3, 4]. Однако торф и древесные отходы предпочтительны, поскольку в процессе их биодеградации почва обогащается комплексом питательных органических веществ.

В работах [5–7] показана возможность получения биокomпозитных удобрений с пролонгированным действием на основе пористых подложек из луба и коры березы. Для удаления полифенольных веществ, отрицательно влияющих на развитие растений, и развития пористой структуры подложки в этих работах предложено проводить обработку исходного сырья 1.5 % водным раствором щелочи. Хотя калийные биокomпозитные удобрения проявили способность к медленному выделению активного компонента в течение длительного времени, для них характерно быстрое вымывание хлорида калия в течение первых 30 мин [7]. В этой связи актуальна проблема повышения устойчивости биокomпозитов к вымыванию калия водой. Предлагаемые биокomпозитные удобрения получали пропиткой подложек из луба и коры березы раствором KCl, которая широко используется для производства нанесенных катализаторов. Способность подложек к взаимодействию с наносимым соединением будет определять вклад адсорбции в его закрепление на их поверхности, поэтому необходимо определить сорбционную активность подложек в отношении калия. Адсорбция – перспективный способ нанесения требуемого соединения, поскольку варьированием условий ее проведения можно изменять прочность связывания сорбированного компонента с поверхностью подложки. Кроме того, за счет различных взаимодействий адсорбция позволяет обеспечить более высокую дисперсность активного компонента в носителе [8]. Это особенно важно для создания биокomпозитных удобрений с медленным выделением нанесенного активного компонента.

Следует отметить, что процесс сорбции калия из водных растворов хорошо изучен для

ионообменников разного типа [9, 10]. Как показал анализ литературы за последние 5–8 лет, сведения по данному вопросу для сорбентов из древесных отходов практически отсутствуют.

Цель работы – изучение сорбции калия из водных растворов различных солей пористыми подложками из луба и коры березы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве сырья для получения пористых подложек использовали воздушно-сухие (влажность $(7.5 \pm 0.5) \%$) кору березы повислой *Betula pendula* Roth. и отделенный от нее луб следующего состава: 23.7 мас. % фракция размером 0.25–0.50 мм, 76.3 мас. % – фракция 0.50–1.00 мм. Содержание бересты в образце коры березы составляло $(45 \pm 1) \%$ мас. %.

Пористые подложки (ПП) получали обработкой луба и коры березы 1.5 % водным раствором NaOH при температуре $(80 \pm 5) ^\circ\text{C}$, гидромодуле 5 в течение 1 ч, последующей отмывкой водой и нейтрализацией по методике, изложенной в [11]. Полученные подложки сушили при $(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$ до воздушно-сухого состояния.

Изотермы сорбции калия получали с применением модельных растворов K_2HPO_4 , K_2HPO_4 , K_3PO_4 , KCl и KNO_3 . Концентрацию калия в растворах варьировали от 12.5 до 700.5 мг/л. В остальных экспериментах сорбцию проводили из растворов с исходной концентрацией калия $(657.0 \pm 7.5) \text{ мг/л}$. Для приготовления растворов солей использовали дистиллированную воду с $\text{pH } 6.3 \pm 0.1$.

В качестве фонового электролита применяли хлорид натрия, концентрацию которого в растворах калийных солей варьировали от 0.5 до 2.0 мас. %. Значения $\text{pH } 10.8$ в модельных растворах KCl и KNO_3 устанавливали с помощью 5.0 % раствора KOH.

Сорбцию проводили в статических условиях при встряхивании (интенсивность (120 ± 10) колебаний в минуту) навески образца ПП (0.2 г) с модельными растворами (50 мл) при температуре $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Кинетику сорбции изучали, варьируя продолжительность процесса от 5 до 90 мин. Во всех остальных экспериментах продолжительность сорбции составляла 24 ч.

Изменение концентрации калия в растворах в процессе сорбции и десорбции определяли атомно-эмиссионным методом на приборе Analyst-400. Изменение концентрации фосфатов калия (в пересчете на фосфор) определяли дифференциальным фотометрическим методом согласно ГОСТ 200851.2–75. По изменению концентрации калия и фосфора рассчитывали сорбционную емкость A пористых подложек из луба и коры березы.

По уравнению изотермы сорбции Лэнгмюра, приведенному к линейному виду, вычисляли величины A_∞ и K_L для процессов сорбции калия: $1/A = 1/(A_\infty K_L) C_p + 1/A_\infty$ (1) где A – сорбция калия, мг/г; A_∞ – предельная сорбция, мг/г; C_p – равновесная концентрация калия, мг/л; K_L – константа уравнения Лэнгмюра, л/мг.

С учетом полученных величин A_∞ и K_L рассчитаны значения сорбции калия и сопоставлены с экспериментальными результатами.

Также для определения A_∞ и K_L применяли метод наименьших квадратов в соответствии с общепринятыми правилами [12], минимизируя функцию

$$F(A_\infty, K_L) = \sum_i (A_i - f(C_{pi}, A_\infty, K_L))^2 \quad (2)$$

где f – изотерма Лэнгмюра.

Расчеты проводили с использованием пакета программ Statgraphics Centurion XVI, блок DOE (Design of Experiment). Уровень значимости составлял 0.05.

Степень заполнения пористой подложки F определяли как отношение максимального

экспериментального значения сорбции калия A_{\max} к значению предельной сорбции A_∞ [13]: $F = A_{\max}/A_\infty$ (3)

Удельную поверхность $S_{уд}$ определяли методом низкотемпературной адсорбции азота на приборе “Сорботметр-М”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что пористые подложки (ПП) из луба и коры березы по сорбционной активности в отношении калия различаются слабо и существенно превосходят активный уголь БАУ, выбранный в качестве образца сравнения (табл. 1). Очевидно, степень развития пористой структуры (для БАУ $S_{уд} = 524.6$ м²/г, для ПП из луба и коры березы – 2.4 и 3.2 м²/г соответственно) не влияет на сорбцию калия из растворов различных солей.

В случае сорбции калия из растворов KN_2PO_4 , K_2HPO_4 и K_3PO_4 можно проследить зависимость A_∞ от изменения значений pH модельных растворов с увеличением концентрации соли. Наибольшая сорбция достигается в случае растворов K_3PO_4 , в которых с увеличением концентрации соли повышается щелочность. Из растворов кислой соли KN_2PO_4 сорбция калия минимальная (см. табл. 1). Зависимость сорбции калия от pH растворов обусловлена, вероятно, влиянием электростатического взаимодействия поверхности подложек и ионов K^+ . Очевидно, с повышением щелочности модельных растворов K_2HPO_4 и K_3PO_4 отрицательный заряд поверхности под-

ТАБЛИЦА 1

Сорбция калия из растворов различных солей пористыми подложками (ПП) из луба и коры березы

Калийные соли	pH модельных растворов*	Предельная сорбция калия A_∞ , мг/г		
		ПП из луба	коры березы	БАУ
KCl	6.3–6.1	8.42	9.13	3.35
KNO ₃	6.3–6.0	3.73	3.55	1.45
KN ₂ PO ₄	6.1–4.4	0.75**	0.65**	–
K ₂ HPO ₄	6.2–7.9	10.40	10.45	7.25
K ₃ PO ₄	6.8–12.6	32.55	31.44	11.72

Примечание. A_∞ – предельная сорбция. Прочерк – не сорбирует.

* Данные приведены для интервала концентраций калия 12.5–700 мг/л.

** Приведено максимальное значение сорбции.

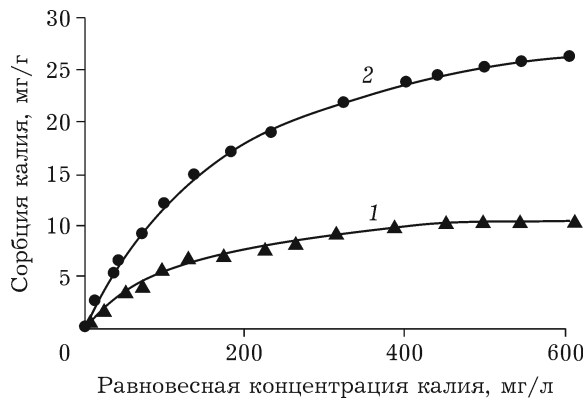


Рис. 1. Изотермы сорбции калия из растворов K_2HPO_4 (1) и K_3PO_4 (2) пористой подложкой из луба коры березы: линии – значения, рассчитанные по уравнению Лэнгмюра и данным табл. 4; точки – экспериментальные значения.

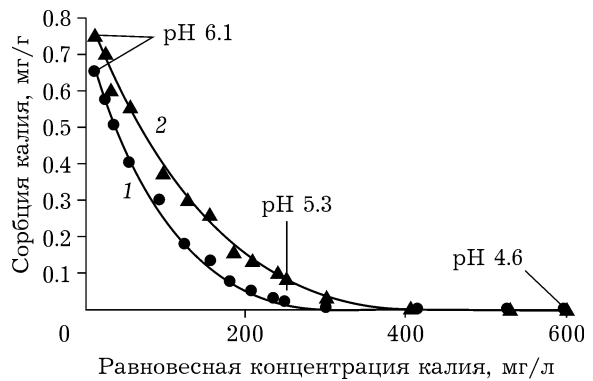


Рис. 2. Сорбция калия из раствора KH_2PO_4 пористыми подложками из коры березы (1) и луба (2).

ложки увеличивается и усиливается притяжение к ней калия, а это будет способствовать увеличению его сорбции [14].

На примере подложки из луба коры березы показано, что процессы поглощения калия из модельных растворов K_2HPO_4 и K_3PO_4 описываются лэнгмюровскими изотермами I типа по классификации БЭТ, соответствующими монослойной сорбции (рис. 1) [13]. В растворах K_2HPO_4 с равновесной концентрацией калия ≥ 550 мг/л достигается его предельная сорбция, равная 10,42 мг/г. Установлено, что с ростом концентрации калия в растворе K_3PO_4 свыше (715 ± 5) мг/л уменьшается его сорбция из-за нестойкости подложки в концентрированных растворах фосфатов. Следует отметить, что различия в сорбции калия из растворов этих солей подложками на осно-

ве луба и коры березы в исследуемом интервале концентраций не превышают ± 2.5 мг/г.

Анализ данных рис. 2 показывает, что сорбция калия из растворов KH_2PO_4 уменьшается с повышением их концентрации. Концентрации растворов, при которых сорбция калия прекращается, для подложек из луба и коры березы составляют ≥ 400 и 250 мг/г соответственно. Очевидно, что повышение кислотности растворов с увеличением их концентрации усиливает электростатическое отталкивание положительно заряженных поверхностей подложек и катионов K^+ .

Введение $NaCl$ в раствор KH_2PO_4 в качестве фонового электролита существенно увеличивает сорбцию калия вследствие экранирования солью электрического отталкивания, характерного для данной системы. При этом

ТАБЛИЦА 2

Влияние фонового электролита $NaCl$ на сорбцию калия из растворов фосфатных солей пористыми подложками (ПП) из луба и коры березы. Исходная концентрация калия в модельных растворах (657.0 ± 7.5) мг/г

Концентрация $NaCl$, мас. %	Сорбция калия из растворов, мг/г					
	KH_2PO_4		K_2HPO_4		K_3PO_4	
	ПП из луба	ПП из коры березы	ПП из луба	ПП из коры березы	ПП из луба	ПП из коры березы
0	0	0	10.42	10.25	25.78	25.19
0.5	2.45	2.31	8.48	8.32	25.15	24.95
1.0	5.78	5.64	5.36	5.14	24.66	24.25
2.0	7.54	7.47	2.62	2.25	23.54	23.43
3.5	7.71	7.68	2.43	2.11	22.14	22.12

ТАБЛИЦА 3

Сорбция калия и фосфатов из растворов различных солей подложками из луба и коры березы, мг/г

Фосфаты калия	Подложка из луба коры березы			Подложка из коры березы		
	A_K	A_F	$A_{P/F}$	A_K	A_F	$A_{P/F}$
KH_2PO_4	7.54	2.18	5.96	7.47	5.05	5.91
K_2HPO_4	10.42	5.28	4.12	10.25	5.71	4.05
K_3PO_4	25.78	1.69	6.79	25.19	1.66	6.64

Примечание. A_K , A_F – экспериментальные значения сорбции калия и фосфора соответственно; $A_{P/F}$ – расчетное значение сорбции фосфора.

эффект экранирования усиливается по мере увеличения количества NaCl, добавляемого к раствору дигидрофосфата. В случае сорбции калия из раствора K_2HPO_4 в присутствии фонового электролита наблюдается обратный эффект его действия – за счет экранирования притяжения к поверхности подложки сорбция калия уменьшается в среднем в 4 раза. Установлено, что с введением NaCl в раствор K_3PO_4 сорбция калия снижается в меньшей степени по сравнению с K_2HPO_4 (табл. 2).

Вероятно, фоновый электролит слабо экранирует сильное притяжение калия к поверхности подложек из-за щелочности модельного раствора фосфата (рН 12.4). Повышение концентрации электролита (> 2.0 мас. %) незначительно влияет на сорбцию калия. Следует отметить, что наблюдаемые изменения сорбции для подложек из луба и коры носят схожий характер (см. табл. 2).

Целесообразно сравнить сорбцию калия и фосфатов из растворов их солей, которые

являются типичными водорастворимыми фосфорно-калийными удобрениями [2].

В табл. 3 приведены данные по сорбции калия A_K и фосфатов A_F (в пересчете на фосфор) пористыми подложками из луба и коры березы из растворов солей с исходной концентрацией калия (657.0 ± 7.5) мг/л. В случае KH_2PO_4 использован фоновый электролит – 2.0 мас. % NaCl. Здесь же приведены данные по сорбции фосфора $A_{P/F}$, рассчитанные в предположении, что калий и фосфор сорбируются в стехиометрическом соотношении.

Видно, что значение A_F , полученное для подложки из луба в растворе KH_2PO_4 , в 2.7 раза меньше расчетного, в отличие от данных для подложки из коры березы. Низкая способность подложки из луба сорбировать фосфаты может быть связана с меньшим содержанием на ее поверхности активных феноксирадикалов и ионов Fe^{3+} по сравнению с подложкой из коры березы [5]. В случае сорбции фосфатов из раствора K_3PO_4 значения A_F существ-

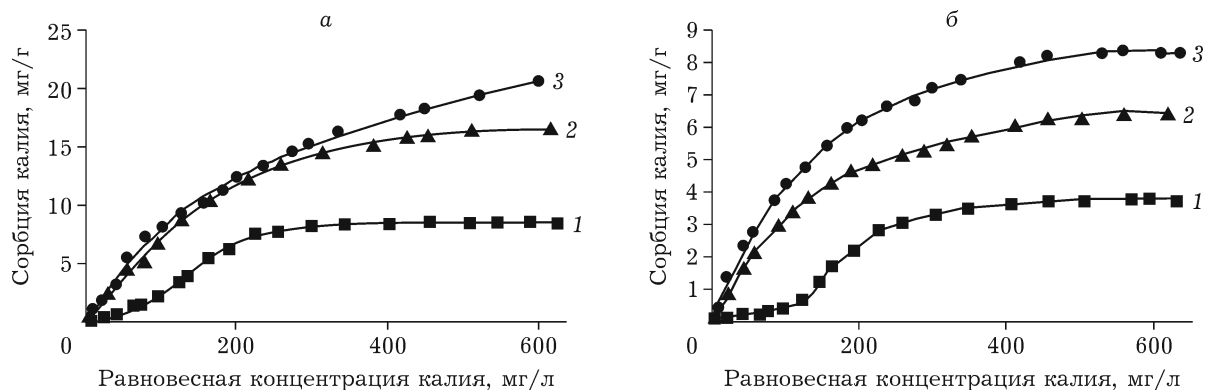


Рис. 3. Изотермы сорбции калия из растворов KCl (а) и KNO_3 (б) пористой подложкой из луба коры березы: 1 – рН 6.2; 2 – рН 6.2, фоновый электролит (2% NaCl); 3 – рН 10.8. Кривые 2, 3: линии – рассчитаны по уравнению Лэнгмюра и данным табл. 4; точки – экспериментальные значения.

венно ниже расчетных $A_{p/ф}$ (см. табл. 3). Наблюдаемое различие обусловлено, вероятно, сильным электростатическим отталкиванием фосфат-ионов и поверхности подложек в щелочном растворе соли, затрудняющим их сорбцию.

Установлено, что введение в раствор K_3PO_4 хлорида натрия в количестве 2.0 и 3.5 мас. % приводит к незначительному увеличению сорбции фосфатов подложками из луба и коры – в среднем на 5–10 %.

Влияние эффектов электростатического взаимодействия на сорбцию калия из растворов KCl и KNO_3 изучено на примере подложки из луба коры березы. Следует отметить, что значения pH растворов этих солей с увеличением концентрации изменяются несущественно (см. табл. 1).

Установлено, что процессы поглощения калия из растворов хлорида и нитрата описываются одностепенными изотермами и отличаются только величинами сорбции (рис. 3). Введение в растворы фонового электролита или повышение их щелочности (до pH 10.8) приводят к изменению формы изотерм. Так, при щелочности растворов солей pH 6.2 в отсутствие NaCl на изотермах можно выделить вогнутый участок в области равновесных концентраций калия от 0 до 100–160 мг/л (см. рис. 3, кривая 1).

Вероятно, эффекты электростатического взаимодействия оказывают сильное влияние на сорбцию из низкоконцентрированных растворов [14]. Фоновый электролит, экранируя электростатическое отталкивание, способствует существенному увеличению сорбции калия в изученном интервале его концентраций (см. рис. 3, кривая 2).

Следует отметить, что с повышением щелочности растворов KNO_3 до pH 10.8 сорбция калия сильно возрастает по сравнению с влиянием фонового электролита. В случае KCl позитивное влияние увеличения pH наблюдается для растворов с равновесной концентрацией более 350 мг/л (см. рис. 3, кривая 3).

Сравнение результатов сорбции калия из растворов хлорида и нитрата показывает, что максимальные значения получены для хлорида. Это может быть обусловлено влиянием природы аниона – его размеров, электроотрицательности, подвижности и др. Известно, что из разбавленных растворов таких солей сорбируются преимущественно отдельные ионы. Вероятность образования ионных ассоциатов в таких растворах крайне низкая и не влияет на процесс сорбции [9, 14].

В табл. 4 приведены результаты определения величин A_∞ и K_L по уравнению (1) и методом наименьших квадратов. Уравнение (1) применяли для обработки экспериментальных результатов, полученных для растворов K_3PO_4 и KCl (в присутствии фонового электролита и при pH 10.8), в остальных случаях использовали метод наименьших квадратов.

Для сопоставления значений максимальной экспериментальной сорбции калия A_{max} со значениями предельной сорбции A_∞ рассчитана степень заполнения подложки F (уравнение (3)). Наибольшие значения F достигаются для растворов K_3PO_4 и KNO_3 (pH 10.8), что свидетельствует о высокой степени заполнения сорбционного слоя в изученном интервале их концентраций.

На рис. 1 и 3, а приведены экспериментальные данные по сорбции калия из раство-

ТАБЛИЦА 4

Параметры изотерм Лэнгмюра для сорбции калия из растворов различных солей пористой подложкой из луба коры березы

Соли	A_∞ , мг/г	K_L , л/мг	R^2	F
K_3PO_4	32.55	$0.566 \cdot 10^{-2}$	0.998	0.81
KCl (в присутствии 2 % NaCl)	26.88	$0.339 \cdot 10^{-2}$	0.979	0.61
KCl (pH 10,8)	30.20	$0.333 \cdot 10^{-2}$	0.988	0.68
K_2HPO_4	15.69	$0.483 \cdot 10^{-2}$	0.998	0.66
KNO_3 (в присутствии 2 % NaCl)	8.67	$0.571 \cdot 10^{-2}$	0.997	0.74
KNO_3 (pH 10.8)	10.56	$0.672 \cdot 10^{-2}$	0.999	0.79

Примечание. F – степень заполнения подложки; R^2 – коэффициент аппроксимации.

ТАБЛИЦА 5

Параметры изотерм Лэнгмюра для сорбции калия из растворов K_2HPO_4 и KNO_3 пористой подложкой из луба коры березы, рассчитанные по уравнению (1)

Соли	Параметры изотермы			C_p^{max} , мг/л	A_{max} , мг/г	A_{max}^p , мг/г
	A_{∞} , мг/г	K_L , л/мг	R^2			
K_2HPO_4	15.78	$0.835 \cdot 10^{-2}$	0.985	615.42	10.42	13.21
KNO_3 (в присутствии 2 % NaCl)	20.77	$0.145 \cdot 10^{-2}$	0.977	615.51	6.42	9.80
KNO_3 (рН 10.8)	17.70	$0.110 \cdot 10^{-2}$	0.979	630.47	8.31	7.25

Примечание. R^2 – коэффициент аппроксимации.

ров K_3PO_4 и KCl (в присутствии 2 % NaCl и при рН 10.8) и изотермы, определенные по рассчитанным согласно уравнению (1) значениям A_{∞} и K_L (табл. 4). Видно, что они хорошо согласуются между собой.

На целесообразность применения метода наименьших квадратов для определения величин A_{∞} и K_L в случае гидрофосфата и нитрата калия (в присутствии 2 % NaCl и рН 10.8) указывают данные табл. 5, в которой приведены результаты расчета этих параметров по уравнению (1). Здесь же приведены значения максимальной сорбции калия A_{max} , достигнутой в растворах различных солей при соответствующих значениях максимальной равновесной концентрации калия C_p^{max} , и значения A_{max}^p , рассчитанные по уравнению Лэнгмюра.

Сравнение экспериментальных A_{max} и расчетных A_{max}^p значений сорбции калия показало, что они существенно различаются для

растворов K_2HPO_4 и KNO_3 (в присутствии 2 % NaCl) – в 1.27 и 1.53 раза соответственно.

В случае KNO_3 (рН 10.8) значения A_{max} и A_{max}^p различаются всего в 1.15 раза. Однако в области равновесных концентраций калия до 100 мг/л экспериментальные данные превышают расчетные значения сорбции в 2.4–3.0 раза.

Метод наименьших квадратов позволил уточнить значения A_{∞} и K_L (см. табл. 4 и 5). В результате, изотермы сорбции калия из изучаемых растворов гидрофосфата и нитрата калия, рассчитанные на основании этих значений, согласуются с экспериментальными результатами (см. рис. 1 и 3, б).

Изучена кинетика сорбции калия подложкой из луба из растворов K_3PO_4 и KCl (рН 10.8), в которых достигается его наибольшее поглощение (см. табл. 4).

Анализ данных рис. 4 показывает, что при изменении величины рН раствора хлорида калия от рН 6.2 до рН 10.8 не только увеличивается сорбция, но и в 1.5 раза сокращается время достижения равновесия.

В щелочных растворах исследуемых солей сорбционное равновесие достигается за примерно одинаковый интервал времени – 40 и 45 мин для KCl и K_3PO_4 соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлено влияние природы солей на сорбцию калия из водных растворов пористыми подложками на основе коры березы. Установлено, что исследованные соли по способности к сорбции калия можно расположить в следующий ряд: $K_3PO_4 > K_2HPO_4 > KCl > KNO_3 > KH_2PO_4$. Показано, что пористые подложки

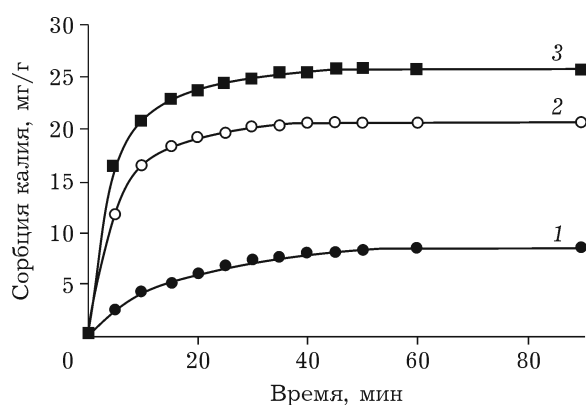


Рис. 4. Кинетика сорбции калия подложкой из луба коры березы: 1 – KCl, рН 6.2; 2 – KCl, рН 10.8; 3 – K_3PO_4 , рН 12.4

из луба и коры березы проявляют близкую сорбционную активность в отношении калия.

Установлено, что повышение щелочности растворов приводит к увеличению сорбции калия из растворов его солей. Применение фонового электролита оказывает позитивное влияние на сорбцию калия только из растворов $\text{KН}_2\text{PО}_4$, KCl и KNO_3 . На примере хлорида и нитрата калия показано, что увеличение щелочности растворов до рН 10.8 способствует повышению сорбции калия по сравнению с фоновым электролитом

Исследования показали, что наибольшая сорбция калия подложками на основе луба коры березы достигается из растворов $\text{K}_3\text{PО}_4$ и KCl (рН 10.8): A_∞ равна 32.55 и 30.20 мг/г соответственно.

Установлено, что по своим сорбционным свойствам пористые подложки из луба и коры березы превосходят активный уголь марки БАУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект РЕМЕФИ 60714Х0031).

В работе использованы приборы Красноярского регионального центра коллективного пользования СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Беловежец Л. А., Волчатова И. В., Медведева С. А. // Химия раст. сырья. 2010. № 2. С. 5–16.
- 2 Безуглова Л. А. Удобрения и стимуляторы роста. Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. 317 с.
- 3 Окуджава Н. Г., Бериашвили Ц. А., Мамукошвили Н. Ш. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8, Вып. 5. С. 875–880.
- 4 Пат. 2502713 РФ, 2013.
- 5 Кузнецова С. А., Кузнецов Б. Н., Скурыдина Е. С., Максимов Н. Г., Калачева Г. С., Ульянова О. А., Скворцова Г. П. // Журн. Сиб. фед. ун-та. Химия. 2013. Т. 6, № 4. С. 380–393.
- 6 Веприкова Е. В., Кузнецова С. А., Чесноков Н. В., Кузнецов Б. Н. // Журн. Сиб. фед. ун-та. Химия. 2015. Т. 8, № 3. С. 413–421.
- 7 Веприкова Е. В., Кузнецова С. А., Чесноков Н. В., Кузнецов Б. Н. // Журн. Сиб. фед. ун-та. Химия. 2015. Т. 8, № 1. С. 25–34.
- 8 Промышленный катализ в лекциях. Вып. 1. / Под ред. А. С. Носкова. М.: Калвис, 2005. 136 с.
- 9 Нефедова Т. Н., Хохлова О. Н., Хохлов В. Ю. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т. 9, Вып. 2. С. 281–287.
- 10 Чаговец А. С., Сазонов А. Б., Богородская М. А. // Успехи в химии и хим. технологии. 2012. Т. 26, Вып. 6. С. 99–103.
- 11 Веприкова Е. В., Кузнецова С. А., Чесноков Н. В., Кузнецов Б. Н. // Химия уст. разв. 2012. Т. 20, № 6. С. 673–678.
- 12 Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: 2-е изд. М.: Высш. шк., 1985. 327 с.
- 13 Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость: Изд-е 2-е. Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 306 с.
- 14 Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел / Под ред. Г. Парфита, Л. Рочестера: пер. с англ. М.: Мир, 1986. 488 с.