Влияние функциональных групп поверхности углеродных материалов на эффективность очистки экстракционной фосфорной кислоты от соединений фтора

Поступила 29.04.2019 г. / Принята к публикации 10.06.2019 г.

© Смирнов Николай Николаевич¹, Коновал Анастасия Васильевна¹,
Смирнова Дарья Николаевна¹, Кочетков Сергей Павлович²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», г. Иваново, Россия

² Коломенский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются экологические проблемы производства экстракционной фосфорной кислоты и влияние фтора на организм человека. Создание промышленно-сти фосфорных удобрений на основе переработки фторсодержащего фосфатного сырья и фторсодержащих соединений, расширение области их применения требуют изучения возникающих при этом экологических последствий, поскольку фтор характеризуется высокой подвижностью в биологическом цикле обмена веществ. В качестве адсорбентов для очистки фосфорной кислоты от соединений фтора были использованы углеродные материалы: активный уголь марки БАУ, природный графит Кыштымского месторождения, сажа П514, древесный уголь. Эксперименты по очистке осуществлялись на неупаренной полугидратной экстракционной фосфорной кислоте производства АО «Апатит» г. Череповец. Проводились следующие анализы: ИК-Фурье спектроскопия, исследование кислотно-основных свойств углеродных материалов методом потенциометрического титрования, потенциометрический метод определения фтора в экстракционной фосфорной кислоте. Отмечается, что наиболее эффективным адсорбентом для очистки экстракционной фосфорной кислоты является сажа П514. Суммарное количество функциональных групп на ее поверхности 0,62 ммоль/г, степень очистки от соединений фтора составляет 94,8%.

Ключевые слова. Фосфорные удобрения, адсорбенты, фтор, очищение, экология, углерод, экстракционная фосфорная кислота, функциональные группы поверхности.

The impact of functional groups of the surface of carbon materials on the efficiency of purification of extraction phosphoric acid from fluorine compounds

Received on April 29, 2019 / Accepted on June 10, 2019

© Smirnov Nikolay Nikolaevich¹, Konoval Anastasiya Vasilevna¹,
Smirnova Daria Nikolaevna¹, Kochetkov Sergei Pavlovich²

¹ Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology», Ivanovo, Russia

² Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia

Abstract. The environmental problems of the production of extraction phosphoric acid and the effect of fluorine on the human body are discussed in the article. The creation of the industry of phosphoric fertilizers on the basis of processing of fluorine-containing phosphate raw materials and fluorine-containing compounds, the development of their application require the study of environmental consequences arising from this, because fluorine is characterized by high mobility in the biological cycle of metabolism. For the purification of phosphoric acid from fluorine was used carbon adsorbents such as active charcoal brand BAU, natural graphite deposits Kyshtymsky, P514 soot, charcoal. Experiments on the purification was carried out on non-evaporated half-hydrated extraction phosphoric acid which was produced by joint stock company «Apatit» in Cherepovets city in Russia. The following analyses were carried out: IR-Fourier spectrometry, research of acid-base properties of carbon materials by potentiometric titration, potentiometric method of fluorine determination in extraction phosphoric acid. It is mentioned that the carbon black P514 is the most efficient adsorbent for purification of extraction phosphoric acid. The total number of functional groups on its surface is 0.62 mmol/g, the degree of purification from fluorine compounds is 94.8%.

Keywords. Phosphate fertilizers, adsorbents, fluorine, purification, ecology, carbon, extraction phosphoric acid, functional groups of the surface.

Введение. Экстракционная фосфорная кислота (ЭФК) является продуктом разложения фосфатного сырья серной кислотой. В зависимости от качества кислота содержит около 7...10% примесей. Применяется ЭФК, в основном, для получения концентрированных фосфорных и комплексных удобрений, таких как аммофос, диаммонийфосфат, полифосфат аммония, которые пользуются широким спросом на мировом рынке [1, 2]. В зависимости от использования к экстракционной фосфорной кислоте предъявляются различные требования по содержанию примесей и особенно токсичных элементов. Наиболее жесткие требования предъявляются к содержанию примесей в фосфорной кислоте, предназначенной для пищевой промышленности и производства кормовых фосфатов [3].

Фтор занимает среди элементов особое положение [4, 5]. Ни у какого другого элемента физиологически необходимое количество не находится в такой близости от дозы, оказывающей токсическое действие. По этой причине хроническое воздействие фтора в течение длительного времени может вызвать целый ряд расстройств, в том числе остеопороз и остеопегию, синдром Дауна, онкологические заболевания, болезни зубов и изменения их внешнего вида. Были отмечены негативные симптомы после добавления фтора в воду: рассеяние ума, потеря памяти, головная боль, анемия, флюороз костей, после 10 лет употребления воды с содержанием фтора 1...1,5 мг/л отмечены случаи артроза [6]. Действие фтора на растения в значительной мере зависит от формы его соединения, дозы и кислотности почвы.

Поступление избыточного количества фтора отрицательно сказывается на животных. Патологические изменения в организме животных усугубляются при одновременном употреблении питьевой воды, содержащей фтор в количестве 1,5 мг/л, и вдыхании воздуха с небольшим содержанием фторсодержащих газов.

Для достижения санитарной нормы по содержанию фтора в воздухе вблизи населенных пунктов повсеместно используется рассеивание выбрасываемых газов через специальные высотные трубы. Это дает возможность резко снизить концентрацию фтористых соединений в приземном слое и обеспечивает нормальные условия обитания на территории промышленного комплекса, однако в силу высокой подвижности атмосферы

вредные вещества переносятся на значительные расстояния, обуславливая региональное и глобальное загрязнение окружающей среды.

Фтор является связующим звеном между примесями в экстракционной фосфорной кислоте. Известно, что удаление соединений фтора инициирует процессы кристаллизации соединений металлов, поэтому целесообразно рассматривать процесс комплексной очистки экстракционной фосфорной кислоты. Существующие промышленно освоенные методы очистки фосфорной кислоты не обеспечивают требуемого качества продукта или неприемлемы по технико-экономическим соображениям. Все это обуславливает необходимость разработки новых высокоэффективных методов очистки экстракционной фосфорной кислоты.

На данный момент универсального способа очистки не существует, потому что разработанные методы направлены на очистку от определенного вида примесей. Одними из наиболее эффективных методов очистки ЭФК от примесей являются сорбционные методы.

Анализируя фазовый состав экстракционной фосфорной кислоты и условия концентрирования-дефторирования, становится ясно, что для ее очистки в качестве адсорбентов могут быть пригодны только материалы, обладающие высокой устойчивостью к агрессивным средам (смеси фосфорной, серной, кремнефтористоводородной, плавиковой кислот), особенно при повышенных температурах, прочностью частиц на истирание и высокой адсорбционной способностью как к органическим, так и неорганическим веществам. Указанным жестким требованиям соответствуют только углеродные адсорбенты.

Высокую активность и сорбционную емкость по фтору проявили древесные активные угли типа БАУ, выпускаемые российскими химическими предприятиями. Такой адсорбент, помимо фтора, позволяет в определенных условиях снижать в ЭФК содержание SO_4^{2-} , органических окрашивающих веществ. Активные угли отличаются высокой степенью чистоты и тонкопористостью. Эти сорбенты проявляют достаточно высокую стойкость в растворах ЭФК и хорошо регенерируются химическим или термическим способом [3].

Активация угольных адсорбентов для очистки ЭФК от катионов кислота-

ми ведет к получению так называемых «окисленных» углей. Для очистки от анионов сорбенты обрабатывают щелочными растворами. В процессе активации изменяется структура сорбента, от степени упорядоченности которой зависит возможность придания активным и модифицированным углям свойств избирательных сорбентов и ионообменников. Окисляются главным образом наименее упорядоченные участки углеродных материалов. Кроме того, по мере воздействия кислорода воздуха происходит дополнительная активация угля, в результате чего увеличивается его удельная поверхность, растут общий объем сорбционного пространства, объемы микро- и мезопор [7].

Образование новых поверхностных групп при обработке углеродного материала каким-либо модификатором может протекать по двум направлениям в зависимости от природы модифицирующего агента и условий проведения процесса. Возможно либо окисление уже существующих на поверхности групп, либо возникновение новых [8]. Для формирования кислотно-основных центров в основном предлагается длительная химическая обработка раствором модифицирующего вещества, в качестве которых используются фосфорная, серная кислоты, щелочи, растворы окислителей.

Авторами [9] высказано предположение, что адсорбент также выполняет каталитическую функцию, при этом кислотно-основные центры реагируют с фторкомплексами кремния, алюминия, железа по ионообменному механизму. В результате взаимодействия протекает фторирование поверхности углеродного материала. Фторированные центры легко гидролизуются с образованием фторид-иона. Целесообразно исследовать строение двойного ионного слоя на поверхности адсорбентов в растворе ЭФК и изучить влияние его структуры на селективность взаимодействия углеродных материалов со фторкомплексами.

Определенный функциональный покров поверхности углеродного материала создается в процессе его получения и при последующей химической обработке. Поэтому, кроме сорбционных свойств целесообразно исследовать природу и количество поверхностных кислородсодержащих групп, образовавшихся в процессе активации.

В процессе активации угля поглощаемый кислород находится на поверх-

ности в виде функциональных групп (рис. 1). Среди них обнаружены гидроксильные, гидропероксидные, карбонильные (альдегидные и кетонные), карбоксильные, эфирные, ангидридные, фенольные, хиноидные, лактоновые и другие [10]. Эти группы идентифицированы различными химическими и физико-химическими методами (кислотно-основное титрование, качественные химические реакции, ИК-, УФ-спектроскопия, термодесорбция, микрогравиметрия и др.). Для возможности управления селективностью сорбции ионов необходимо знать, какие именно поверхностные группы ответственны за кислотное, либо основное поведение адсорбента в растворе.

Рис. 1. Функциональные группы на поверхности углеродных материалов

Материалы и методы исследования. Метод группового вклада. Для термодинамической оценки возможности образования функциональных групп на поверхности углеродных материалов можно использовать метод групповых вкладов [11]. Метод группового вклада использует принцип, согласно которому некоторые простые аспекты структур химических компонентов всегда одинаковы во многих разных молекулах. Наименьшими общими составляющими являются атомы и связи. Подавляющее большинство органических компонентов построены из углерода, водорода, кислорода, азота, галогенов и, возможно, серы или фосфора. Вместе с одной, двойной и тройной связью существует только десять типов атомов (не включая астатин) и три типа связей для создания тысяч компонентов. Следующие несколько более сложные строительные блоки компонентов являются функцио-

нальными группами, которые сами построены из нескольких атомов и связей.

Этот метод использует базовую структурную информацию химической молекулы, такую как список простых функциональных групп, добавляет параметры к этим функциональным группам и вычисляет теплофизические и транспортные свойства в зависимости от суммы групповых параметров.

Он предполагает, что между группами нет взаимодействия, и поэтому использует только аддитивные вклады, и нет вкладов для взаимодействия между группами. Большим преимуществом использования только простых параметров группы является небольшое количество необходимых параметров. Количество необходимых параметров группового взаимодействия становится очень высоким для все большего числа групп (1 для двух групп, 3 для трех групп, 6 для четырех групп, 45 для десяти групп и в два раза больше, если взаимодействия не являются симметричными).

В качестве сорбентов для очистки экстракционной фосфорной кислоты были отобраны представители различных классов углеродных материалов:

- активный уголь марки БАУ-А (ГОСТ 6217-74);

- природный графит Кыштымского месторождения;

- сажа П514 средней активности (ГОСТ 7535-86);

- древесный уголь (ГОСТ 7657-84), являющийся полупродуктом в технологии получения активированного угля БАУ.

Проводились следующие анализы: ИК-Фурье спектроскопия, исследование кислотно-основных свойств углеродных материалов методом потенциометрического титрования [12], потенциометрический метод определения фтора в экстракционной фосфорной кислоте.

Эксперименты по очистке ЭФК проводились на неупаренной полулигидратной экстракционной фосфорной кислоте производства Акционерного общества «Апатит» г. Череповец. Состав ЭФК представлен в таблице 1.

Таблица 1
Состав неупаренной экстракционной фосфорной кислоты, полученной полулигидратным методом

Плотность, γ , г/см ³	P ₂ O ₅ , %	SO ₃ , %	F, %	CaO, %
1,416	38,8	0,9	2,06	0,1...0,2

Продолжение таблицы

Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	SiO ₂ , %
0,54	1,33	0,034

Результаты исследований и их обсуждение. По экспериментальным кривым потенциометрического титрования водных суспензий углеродных материалов (рис. 2) рассчитано количество ионов водорода, поглощенного поверхностью углеродного адсорбента, отнесенное к единице его массы в каждой точке титрования Γ_{H^+} .

Рис. 2. Зависимость количества сорбированного на поверхности протона Γ_{H^+} от pH раствора (а), распределение концентраций поверхностных групп по pK различных типов углеродных материалов (б): 1 – БАУ, 2 – древесный уголь, 3 – графит, 4 – сажа П514

Анализируя графики, представленные на рисунке 2, видно, что поверхность угля БАУ заряжена положительно во всем исследуемом диапазоне, древесного угля - вплоть до $pH = 11,6$, несмотря на снижение полярности поверхности с ростом pH . Этот факт говорит о ярко выраженных основных свойствах углей. Таким образом, в области pH выше точки нулевого заряда (ТНЗ) данные сорбенты проявляют кислотные свойства, ниже ТНЗ – основные, при этом полярность поверхности при низких pH существенно ниже, чем у углей.

Анализ pK спектров позволяет сделать вывод, что поверхностные центры могут обладать как фиксированным значением константы диссоциации, так и размытым в некотором диапазоне. Причиной расщепления констант диссоциации является неоднородность поверхности твердого тела (наличие пористой структуры и дефектов) и особенности строения каркаса углеродного материала, представляющего собой кристаллические структуры, соединенные алифатическими фрагментами.

Для установления соответствия между пиком на pK спектре и типом поверхностной группы использовали ИК-Фурье спектроскопию (рис. 3).

Рис. 3. ИК-спектры углеродных адсорбентов: 1 – уголь БАУ, 2 – сажа П514, 3 – древесный уголь, 4 – графит

Полосы в области 3300 см^{-1} следует приписать колебаниям связей в адсорбированной влаге либо валентным колебаниям группы OH , например, в структурах по типу фенола. Полосы в области $3000...2800\text{ см}^{-1}$ относятся к валентным колебаниям связи $C-H$ в ароматических и алифатических структурах. Полосы 1631

см^{-1} и 1641 см^{-1} на ИК-спектрах сорбентов соответствуют валентным колебаниям хиноновых, хромоновых и пириновых группировок, которые придают поверхности углеродных материалов основные свойства. Наличие на ИК-спектрах полосы 1740 см^{-1} колебаний $C=O$ говорит о кетоновых и альдегидных центрах в структуре сажи П514, древесного угля и графита, а сочетание указанных колебаний с полосой в области $1120...1240\text{ см}^{-1}$ от группы $C-O$ свидетельствует о присутствии карбоксильных групп [13].

Результаты очистки экстракционной фосфорной кислоты на углеродных материалах представлены в таблице 2.

Таблица 2

Корреляция степени очистки ЭФК от соединений фтора от концентрации функциональных групп поверхности углеродных материалов

Параметры процесса	Уголь БАУ	Сажа П514	Древесный уголь	Графит
	Степень дефторирования кислоты на углеродных материалах, %			
Соотношение адсорбент/кислота = 1/10	71,7	94,8	60,6	17,8
Соотношение адсорбент/кислота = 1/100	34,8	94,7	59,6	17,3
Характеристика адсорбента	Концентрация функциональных групп поверхности, моль/г			
	0,39	0,62	0,32	0,18

Наибольшее количество функциональных групп присутствует на саже П514. Следовательно, она является более подходящим адсорбентом для очистки ЭФК от соединений фтора. Степень очистки ЭФК на саже П514 составляет $94,7...94,8\%$.

Выводы

Таким образом, проанализировав ИК-спектры адсорбентов, выяснили, что кислотно-основные свойства всех исследуемых углеродных материалов обусловлены преимущественно кислородосодержащими группировками. Используя метод группового вклада, можно предсказать термодинамическую

вероятность образования определенных функциональных групп на поверхности углеродного материала для очистки экстракционной фосфорной кислоты от фтористых соединений. Степень очистки ЭФК на углеродных адсорбентах от соединений фтора коррелирует с концентрацией функциональных групп поверхности углеродных материалов.

Библиографический список

1. Беглов, Б.М. Перспективы развития фосфора, удобрений и солей различного назначения на основе экстракционной фосфорной кислоты / Б.М. Беглов, М.К. Жекеев // Хим. Пром. – 2002. – №5
2. The fertilizer encyclopedia / Vasant Gowariker, chief editor & author; editors & authors: V.N. Krishnamurthy... [et al.]. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 861 p.
3. Кочетков, С.П. Концентрирование и очистка экстракционной фосфорной кислоты: монография / С.П. Кочетков, Н.Н. Смирнов, А.П. Ильин, Иваново: ГОУ ВПО ИГХТУ, 2007. – 304 с.
4. Кармышов, В.Ф. Производство и применение кормовых фосфатов / В.Ф. Кармышов, Б.П. Соболев, В.Н. Носов. – М.: Химия, 1987. – 272 с.
5. J. Fawell Fluoride in Drinking-water / J. Fawell, K. Bailey. – UK: World Health Organization (WHO), 2006. – 144 p.
6. A systematic review of the efficacy and safety of fluoridation. Part A: Review of methodology and results / Australian Government, 2007. – 183 p.
7. Мазурова, Е.В. Модификация древесно-угольных материалов / Е.В. Мазурова, В.С. Петров, Н.С. Епифанцева. Химия растительного сырья. – 2003. – № 2. – С. 69–72.
8. Солдатов, А.И. Формирование структуры углеродной поверхности при воздействии окислителей // Химическая технология. – 2001. – №1. – С. 155–163.
9. Смирнов, Н.Н. Очистка экстракционной фосфорной кислоты на угольных адсорбентах / Н.Н. Смирнов, А.П. Ильин, С.П. Кочетков // Катализ в промышленности. – 2009. – № 5. – С. 22–27.
10. P. Burg Characterization of Carbon Surface Chemistry / P. Burg, D. Cagniant // Chemistry and physics of Carbon. – 2008. – Vol. 30. – pp. 129–176.

11. Joback K.G. Estimation of Pure-Component Properties from Group-Contributions // Chem. Eng. Commun. – 1987. – №57. – С. 233–243.

12. Пухов, И.Г. Исследование кислотно-основных свойств поверхности углеродных адсорбентов методом потенциометрического титрования / И.Г. Пухов, Д.Н. Смирнова, А.П. Ильин, Н.Н. Смирнов // Изв. ВУЗов. Хим. и хим. технология – Иваново, 2012 – Т. 55, выпуск 12 – С.117–122.

13. Киселев, А.В., Лыгин, В.И. Инфракрасные спектры поверхностных соединений и адсорбированных веществ. – М.: Наука, 1972.

References in roman script

1. Beglov, B.M. Perspektivy razvitiya fosfora, udobrenij i solej razlichnogo naznacheniya na osnove ekstrakcionnoj fosfornoj kisloty / B.M. Beglov, M.K. ZHekeev // Him. Prom. – 2002. – №5
2. The fertilizer encyclopedia / Vasant Gowariker, chief editor & author; editors & authors: V.N. Krishnamurthy... [et al.]. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 861 p.
3. Kochetkov, S.P. Koncentrirovaniye i ochistka ekstrakcionnoj fosfornoj kisloty: monografiya / S.P. Kochetkov, N.N. Smirnov, A.P. Ilin, Ivanovo: GOU VPO IGHTU, 2007. – 304 s.
4. Karmyshov, V.F. Proizvodstvo i primeneniye kormovykh fosfatov / V.F. Karmyshov, B.P. Sobolev, V.N. Nosov. – M.: Himiya, 1987. – 272 s.
5. J. Fawell Fluoride in Drinking-water / J. Fawell, K. Bailey. – UK: World Health Organization (WHO), 2006. – 144 p.
6. A systematic review of the efficacy and safety of fluoridation. Part A: Review of methodology and results / Australian Government, 2007. – 183 p.
7. Mazurova, E.V. Modifikatsiya drevesno-ugolnykh materialov / E.V. Mazurova, V.S. Petrov, N.S. Epifanceva. Himiya rastitelnogo syrya. – 2003. – № 2. – S. 69–72.
8. Soldatov, A.I. Formirovaniye struktury uglerodnoy poverhnosti pri vozdejstvii okislitelej // Himicheskaya tekhnologiya. – 2001. – №1. – С. 155–163.
9. Smirnov, N.N. Ochistka ekstrakcionnoj fosfornoj kisloty na ugolnykh

adsorbentah / N.N. Smirnov, A.P. Ilin, S.P. Kochetkov // Kataliz v promyshlennosti. – 2009. – № 5. – S. 22–27.

10. P. Burg Characterization of Carbon Surface Chemistry / P. Burg, D. Cagniant // Chemistry and physics of Carbon. – 2008. – Vol. 30. – pp. 129–176.

11. Joback K.G. Estimation of Pure-Component Properties from Group-Contributions // Chem. Eng. Commun. – 1987. – №57. – S. 233–243.

12. Puhov, I.G. Issledovanie kisloto-tno-osnovnykh svoystv poverhnosti ugle-rodnykh adsorbentov metodom potenciometricheskogo titrovaniya / I.G. Puhov, D.N. Smirnova, A.P. Ilin, N.N. Smirnov // Izv. VUZov. Him. i him. tekhnologiya – Ivanovo, 2012 – T. 55, vypusk 12 – S.117–122.

13. Kiselev, A.V., Lygin, V.I. Infrakrasnye spektry poverhnostnykh soedinenij i adsorbirovannykh veshchestv. – M.: Nauka, 1972.

Дополнительная информация

Сведения об авторах:

Смирнов Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»; 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7; email: smirnov@isuct.ru.

Коновал Анастасия Васильевна, магистрант; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»; 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7; email: konovalanastasiya@mail.ru.

Смирнова Дарья Николаевна, аспирант; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»; 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7; email: smirnov@isuct.ru.

Кочетков Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры; Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д.408.

В этой статье под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International License, которая разрешает копирование, распространение, воспроизведение, исполнение и переработку материалов статей на любом носителе или формате при условии указания автора(ов) произведения, защищенного лицензией Creative Commons, и указанием, если в оригинальный материал были внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иные условия не распространяются на указанный материал. Если материал не включен в лицензию Creative Commons, и Ваше предполагаемое использование не разрешено законодательством Вашей страны или превышает разрешенное использование, Вам необходимо получить разрешение непосредственно от владельца(ев) авторских прав.

Для цитирования: Смирнов Н.Н., Коновал А.В., Смирнова Д.Н., Кочетков С.П. Влияние функциональных групп поверхности углеродных материалов на эффективность очистки экстракционной фосфорной кислоты от соединений фтора // Экология и строительство. 2019. № 2. С. 11–18. doi: [10.35688/2413-8452-2019-02-002](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-02-002).

Additional Information

Information about the authors:

Smirnov Nikolay Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, director of The Center for collective use of scientific equipment; Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»; 7, Sheremetievskiy Avenue, Ivanovo, 153000, Russia; email: smirnov@isuct.ru.

Konoval Anastasiya Vasilevna, master student; Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»; 7, Sheremetievskiy Avenue, Ivanovo, 153000, Russia; e-mail: konovalanastasiya@mail.ru.

Smirnova Daria Nikolaevna, PhD student; Federal state budget educational institution of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»; 7, Sheremetievskiy Avenue, Ivanovo, 153000, Russia; e-mail: smirnov@isuct.ru.

Kochetkov Sergei Pavlovich, doctor of technical sciences, professor; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrskoy revolutsii, 408.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

For citations: Smirnov N.N., Konoval A.V., Smirnova D.N., Kochetkov S.P. The impact of functional groups of the surface of carbon materials on the efficiency of purification of extraction phosphoric acid from fluorine compounds // *Ekologiya i stroitelstvo*. 2019. № 2. P. 11–18. doi: [10.35688/2413-8452-2019-02-002](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-02-002).