

УДК 502/504 : 661.632

ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Поступила 01.06.2016 г.

© **Сергей Павлович Кочетков, Сергей Валерьевич Брыль**

Коломенский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Коломна

THE MAIN ECOLOGICAL ASPECTS OF THE COMPLEX PROCESSING OF NATURAL PHOSPHATE RAW MATERIAL

Received June 1, 2016

© **Sergei Pavlovich Kochetkov, Sergei Valerevich Bryl**

Kolomna Institute of Moscow State Technical University «MAMI», Kolomna, Russia

В Российской Федерации уникальным явлением природы как по запасам фосфорсодержащего сырья, так и по запасам сопутствующих компонентов являются апатит-нефелиновые руды Хибинского месторождения, находящегося в центральной части Кольского полуострова. Основным потребителем этого сырья являются заводы основной химии, перерабатывающие апатит в экстракционную фосфорную кислоту сернокислотным разложением (города Череповец, Балаково, Воскресенск и др.). При этом получается дигидратная или полугидратная экстракционная фосфорная кислота, а сделельный выход сухого фосфогипса составляет от 4 до 6 т на 1 т апатита в зависимости от соотношения в нем $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ и метода получения. Проблемы утилизации отходов химического производства иллюстрируются различными примерами. Дается заключение о целесообразности переработки на удобрение фосфоритного сырья, а дефицитных апатитов – на получение строительных материалов. Впервые разработана принципиально новая, экологически безопасная технология получения фосфорных и комплексных удобрений на основе мокрой механохимической активации фосфатов. Способы прошли опытно-промышленную апробацию в опытном цехе на подмосковном Производственном объединении «Фосфаты» (г. Воскресенск) с использованием установки (0.3 т/ч) и промышленную – на Чилисайском фосфоруднике (г. Аксай) (1.0 т/ч) на базе вибромельниц. В результате осуществления способов получены новые виды удобрений: суспендированные и гранулированные механически активированные фосфаты и аммофосфаты. Делается заключение, что с точки зрения экологической безопасности и экономической целесообразности на удобрения следует перерабатывать фосфоритное сырье, а дефицитные апатиты следует направлять на получение строительных материалов тонкоочищенных фосфатов с одновременным извлечением и утилизацией редкоземельных элементов.

Ключевые слова: безотходное производство, фосфогипс, фтор, фосфор, нанотехнология, переработка, экологическое производство.

Введение. В связи со стремлением человеческой цивилизации переходить к устойчивому развитию, обусловленным де-

In the Russian Federation a unique phenomenon of nature as the reserves of phosphate raw materials and reserves of associated components are Apatite-nepheline ores of the Khibiny Deposit, located in the Central part of the Kola Peninsula. The main consumer of this raw material are the plants basic chemistry, processing of Apatite in a wet-process phosphoric acid sulfuric acid decomposition (the city of Cherepovets, Balakovo, the resurrection, etc.). This gives a dihydrate or hemihydrate wet-process phosphoric acid, and piecemeal output of dry phosphogypsum is 4 to 6 t per 1 t Apatite, depending on the ratio therein of $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ and the method of obtaining. The problem of disposing of chemical wastes are illustrated by various examples. Provides a conclusion of the feasibility of processing into fertilizer of phosphate raw materials, and scarce Apatite – to obtain construction materials. First developed a fundamentally new, environmentally friendly technology to produce phosphoric and complex fertilizers on the basis of wet mechanical activation of the phosphate. Methods have been pilot tested in the experimental shop at Moscow Production Association «Phosphate» (Voskresensk) using (0.3 t/h) and industry – to Estimate povorotniki (Aksai) (1.0 t/h) on the basis of vibrating mills. The implementation of methods obtained new types of fertilizers: granular and suspended mechanically activated phosphates and ammophosphate. It is concluded that from the point of view of environmental safety and economic feasibility of fertilizer phosphate should be recycled raw materials, and scarce Apatite should be directed to the production of construction materials oncooking phosphate with the simultaneous extraction and recovery of rare earth elements.

Keywords: waste-free production, phosphogypsum, fluorine, phosphorus, nanotechnology, recycling, ecological production.

фицитом исчерпываемостью энергетических и минеральных ресурсов, с начала XXI столетия главными направлениями в раз-

витии химической технологии и техники стали такие, которые реализуют прежде всего экологический фактор в экономике:

снижение энергозатрат и максимальное использование теплоты химических реакций;

уменьшение числа стадий производства и переход к замкнутым (циклическим) системам;

создание безотходных (малоотходных) производств, основанных на комплексном использовании сырья.

Из 55 млн тонн P_2O_5 потребляемого в мире фосфатного сырья более 70 % в настоящее время перерабатывается сернокислотным способом в экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК), попутным продуктом которой является техногенный сульфат кальция (фосфогипс, фосфополугидрат), который содержит до 5 % примесей, переходящих из фосфатного сырья. Основной продукт этой переработки, – ЭФК, также содержит примерно 7...10 % примесей из сырья (не считая воды) и используется в основном для получения концентрированных комплексных удобрений. При указанных объемах кислотной переработки фосфатного сырья с получением ЭФК в мире примерно 35...37млн т/год P_2O_5 образуется 180 млн т фосфогипса (ФГ).

В Российской Федерации уникальным явлением природы как по запасам фосфорсодержащего сырья, так и по запасам сопутствующих компонентов являются апатит-нефелиновые руды Хибинского месторождения, находящегося в центральной части Кольского полуострова.

Задача комплексного использования всего многообразия Хибинских апатит-нефелиновых руд, содержащих в своем составе более половины химических элементов таблицы Менделеева, сводится к двум направлениям:

полнота и комплексность извлечения при добыче и обогащении с получением минеральных концентратов;

комплексное использование минеральных концентратов при их химической переработке (apatит-источник P_2O_5 , CaO , F_2 , PЗЭ; нефелин-источник Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , Ga, Rb, Cs).

Апатитовый концентрат (АК) имеет

следующий химический состав (%):

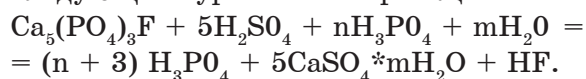
P_2O_5	39,0...40,3
CaO	50,0...51,6
SiO_2	2,0...2,6
R_2O_3	0,5...1,5
TR_2O_3 (PЗЭ)	0,8...1,0
F_2	2,9...3,4
TiO_2	0,2...0,5

Основным потребителем этого сырья являются заводы основной химии, перерабатывающие апатит в ЭФК сернокислотным разложением (города Череповец, Балаково, Воскресенск и др.). При этом получается дигидратная или полугидратная ЭФК, а сдельный выход сухого фосфогипса составляет от 4 до 6 т на 1 т апатита в зависимости от соотношения в нем CaO/P_2O_5 и метода получения.

Комплексная переработка указанного фосфатного сырья предполагает не только использование фосфогипса как крупнотоннажного вторичного сырья, но также и обязательную утилизацию попутных фтористых соединений и редкоземельных металлов.

Общемировое производство ЭФК, по данным на 2010 год достигало 182,1 млн т, а на долю России приходилось 10,84 млн т [1]. Производство ЭФК потребляет до 90 % добываемых природных фосфатов.

Процесс сернокислотного разложения фторапатита в общем случае описывается следующим уравнением реакции:



Технологический процесс получения ЭФК принято называть через модификацию образующихся кристаллов сульфата кальция.

В зависимости от необходимого качества конечных продуктов, дальнейшей переработки фосфорной кислоты получают очищенную фосфорную кислоту, улучшенной квалификации, согласно ГОСТУ или ТУ. Для этого используют специальные методы отчистки, которые часто совмещают с процессом концентрирования [2]. В настоящее время помимо доминирующего использования фосфорной кислоты для производства удобрений (свыше 80 %) на кормовые фосфаты идет около 6 % кислоты и свыше 8 % – на технические и пищевые фосфаты [8].

Получение фосфорной кислоты нуж-

ного качества должно осуществляться с учетом трех аспектов: ресурсно-энергетического, экологического и комплексности переработки. В тоже время все три указанных аспекта неразрывно связаны между собой и технологические решения проблем одного из них обязательно влечет за собой и решение проблем в рамках остальных аспектов.

При реализации мероприятий, направленных на рациональное использование природных ресурсов и уменьшение загрязнения окружающей среды, активным подходом является изменение технологических процессов для комплексной переработки исходных материалов, с сокращением объемов отходов всех видов или перевода их в формы, легко поддающиеся вторичной переработке или специальному хранению.

Фосфогипс. Ввиду крупнотоннажности производства фосфорной кислоты, фосфогипс является наиболее объемным отходом. Например, в 2012 г. только в России образовалось около 12 млн т фосфогипса (в пересчете на сухой дигидрит, дигидрат сульфата кальция). В зависимости от качества исходного сырья на 1 т P_2O_5 в ЭФК образуется примерно 4,2...6,8 т фосфогипса [3].

Хотя в настоящее время имеются рекомендации по использованию фосфогипса в сельском хозяйстве в качестве мелиоранта, а также для производства строительных материалов (ТУ 2141-677-00209438-2004 марки А и Б), для строительства автомобильных дорог (ТУ5744-144-05015182-2010; ГОСТ Р52398-2005), реализация их сдерживается наличием ряда проблем.

Во первых, фосфогипс выходящий с производства ЭФК имеет кислую реакцию за счет присутствия оставшейся кислоты (до 10 %) и представляет коррозионную угрозу для оборудования и дальнейшего использования (например печей обжига цементного клинкера).

Во вторых проблема связана с необходимостью утилизации РЗЭ, входящих в состав фосфогипса. Известно, что общего количества РЗЭ в фосфатном сырье около 1...75 % переходят в фосфогипсе при кислотном разложении, а остальное остается в ЭФК [4].

Отсутствие реальных (экономически

обоснованных) технологий переработки фосфогипса в целевые продукты обуславливает его преимущественное складирование, которое оказывает негативное воздействие на окружающую среду, а внедрение различных природоохранных мероприятий по устранению этого негатива в свою очередь требуют дополнительных затрат на реализацию.

Фтор. Вторым в количественном отношении компонентом в фосфатном сырье, требующим утилизации (в том числе и по экологическим соображениям) является фтор. К технологиям, которые могут рассматриваться относительно технико-экономической целесообразности выделения промежуточного продукта фторводорода или кремнефтористоводородной кислоты (КФВК), относятся только предусматривающие концентрирование фосфорной кислоты до содержания P_2O_5 более 41 %. Используемое фосфатное сырье в производстве комплексных удобрений содержит до 3,0...3,2 % фтора. В получаемой неупаренной ЭФК содержание в ней фтора составляет 0,6...0,9 % при условиях использования для упаковки вакуумных выпарных установок (ВВУ) [5]

Согласно международной экологической классификации (ISO), фтористые соединения относятся к категории канцерогенных (по токсичности), что предопределяет отнесение их (а также ЭФК, в состав которой они входят) ко второму классу опасности ПДК в воздухе до 2 мг/м³. Исходя из этого, экологический аспект переработки природных фосфатов определяет развитие двух проблемных направлений:

максимального извлечения фтора с целью получения экологически безопасных продуктов;

максимальной утилизации фтора с целью недопущения загрязнения отходящими фтористыми соединениями атмосферы, гидросферы и литосферы.

В связи с этим очистка ЭФК от фтора, при получении высокочистых сортов кислоты, должна использовать технологии, 'реализующие одновременно улавливание выделившихся в газовую фазу фтористых соединений, что актуально с точки зрения комплексности переработки сырья с извлечением РЗЭ.

Хибинский апатитный концентрат (АК) содержит около 1 % суммы оксидов редкоземельных элементов, доминирующую часть которых составляют РЗЭ легкой группы (лантан, церий, празеодим, неодим).

В РФ до 85 % АК в настоящее время подвергается сернокислотному вскрытию (до 4...5 млн т ежегодно) с получением ЭФК. При этом основная часть РЗЭ (0,5...0,7 %) осаждается в виде отходов в сульфате кальция (дигидрата или полугидрата). Остальная часть РЗЭ остается в растворах ЭФК в виде суспензий или малорастворимых солей. При получении удобрений путем аммонизации ЭФК эта часть РЗЭ безвозвратно теряется при внесении удобрений в почву [4, 6].

Учитывая масштабы производства ЭФК, выделение РЗЭ из ее растворов является наиболее доступным и привлекательным, а выделение из фосфогипса - процесс трудоемкий, затратный, требующий переработки больших объемов ЭФК.

Результаты и обсуждение. Анализ накопленных экспериментальных данных в масштабе НИР по комплексной переработке АК формулирует основные требования к технологическим процессам попутного извлечения Sr, Ln, F.

Таким образом, основными принципами создания технологий переработки природных фосфатов являются: ресурсосбережение, энергосбережение, экологическая безопасность и комплексность переработки сырья, выражающиеся в расходных коэффициентах, а также в изменениях физико-химических и эксплуатационных характеристиках получаемых продуктов. Особую перспективу с этой точки зрения будут иметь системы, реализующие нанотехнологии с использованием механохимической активации (МХА) и механохимического синтеза (МХС) [7, 8].

Применение МХА позволяет достигать наноразмерного уровня с частичным разрывом молекулярных связей в процессе в целом, что связано с эксэргетическим подходом, к которому можно приближаться, и согласно которому мы будем иметь дело с термической эксэргией E из-за различия составов реагентов системе и на выходе (в окружающей среде) и соответственно температур и давления.

$$E_T = E_X + E_\Phi.$$

В меньшей степени указанный аспект относится к стадии сернокислотного разложения апатитового концентрата, протекающего с участием трех фаз: твердой, жидкой и газовой.

В то же время, решение энергетической проблемы механохимической технологии тесно связано с вопросом возможности и оптимизации участия жидкой или газовой фазы на промежуточных стадиях синтеза.

В [10] было показано, что за счет превращения механической энергии разрушения и разрыва связи на молекулярном уровне (10^{-9} м) происходит увеличение избыточной свободной энергии ΔG .

Эта величина применяется для описания неравновесных состояний в термодинамике и выражает средство активированного вещества в процессе перехода его в стабильное состояние. В результате значительно улучшаются физико-химические свойства продукта и прежде всего его растворимость. Другим эффектом МХС-фосфоритов является их дефторирование (на 30...40 %) в основном за счет нагревания обрабатываемой системы на 85... 90 °С. [9]

Для определения роли газовой и жидкой фаз при МХ активации предложено использовать относительную степень насыщения многокомпонентной газовой смеси [10]:

$$\phi = \sum_{i=0}^n \left(\frac{z_i}{K_i(T, P)} \right),$$

где z_i - состав подаваемой в реактор исходной газовой смеси; n - число компонентов; $K_i(T, P)$ - константа фазового равновесия; $i = \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{O}_2, \text{N}_2$.

Высокая энергетическая эффективность МХ синтеза в газожидкостных средах связана не столько с измельчением твердых тел в жидкости, сколько с выделением высокодисперсной твердой фазы из жидкой среды. По существу МХ синтез в газожидкостных средах является комбинацией процессов диспергирования измельчаемого компонента и конденсации образующегося продукта химической реакции в слое жидкости на активированной поверхности высокодисперсных частиц [10].

Использование же ЭФК, полученной кислотным разложением АК для полу-

чения удобрений является примером нерационального и сверхрасточительного потребления природных ресурсов. Учитывая многотонажность и высокую концентрацию фосфора в продукте это выгодно производителю с точки зрения получения прибыли и снижения затрат на транспортировку. В то же время эффект применения таких удобрений, находящихся в водорастворимой форме, в сельском хозяйстве недостаточен. По первому году после внесения в почву используется лишь 15...20 % фосфора, находящегося в туках, остальное количество вымывается осадками с полей в водоемы и далее в мировой океан, выбывая из биологического круговорота в большой геологический, становясь «недоступным» в течение многих тысяч лет, при нынешнем дефиците и исчерпаемости фосфорного сырья (11). Побочными негативными экологическими явлениями, сопровождающими описанный процесс представляет эвтрофикация водоемов, связанная с поступлением избытка азота и фосфора, а так же продвижение концеровенных соединений фтора из удобрений, полученных из инеочищенной ЭФК, по трофическим цепям питания в организм человека, и аккумуляция его там со всеми вытекающими последствиями.

Перспектива переработки природных фосфатов механохимической (МХ) активацией определила развитие нескольких проблемных направлений:

извлечение соединений фтора с целью получения экологически чистых продуктов;

утилизация соединений фтора и снижение загрязнения отходящими фтористыми соединениями атмосферы, гидросферы и литосферы;

расширение ассортимента выпускаемой продукции;

эффективное использование минерального сырья.

Данные технологические решения разработаны и апробированы и опытно-промышленных и промышленных условиях совместно рядом организаций: ОАО «Воскресенский НИУиФ», ФГБОУ ВПО «ИГХТУ», филиал Университета машиностроения в г. Воскресенске и г. Коломне. При теоретическом обосновании и технологических операциях переработ-

ки различных фосфоритов и апатитов с использованием МХ активации в газожидкостных средах было обнаружено протекание следующих процессов: частичное обесфторивание фосфатов; увеличение их растворимости в слабых кислотах; частичное растворение примесей в жидкой фазе при активации.

Установлены протекающие при МХ активации реакции обесфторивания и разложения. Примеси в составе фоссырья могут непосредственно участвовать в МХ реакциях. Среди примесей отмечена иницирующая роль Si^{4+} , Fe^{3+} Al^{3+} и ингибирующее действие Mg^{2+} [9].

В результате обобщения исследований физико-химических свойств, кинетических и энергетических характеристик МХ активации фосфатов различных месторождений и нахождения корреляций этих данных с параметрами элементарных ячеек, а также содержанием примесей предложена классификация по эффективности переработки фосфатов методом МХ активации. На основе этого рекомендована схема механохимической переработки фосфоритов напрямую в удобрения, а активация апатитов рассматривается как вспомогательная операция, облегчающая кислотную переработку [12,13].

Впервые разработана принципиально новая, экологически безопасная технология получения фосфорных и комплексных удобрений на основе мокрой МХ активации фосфатов [6-8]. Способы прошли опытно-промышленную апробацию в опытном цехе ГИГХС на подмосковном ПО «Фосфаты» (г. Воскресенск) с использованием установки (0,3 т/ч) и промышленную – на Чилисайском фосфоруднике (г. Аксай) (1,0 т/ч) на базе вибромельниц. В результате осуществления способов получены новые виды удобрений: суспендированные и гранулированные механически активированные фосфаты и аммофосфаты. Многолетние агрохимические испытания активированных образцов свидетельствуют об их эффективности, а также значительном превосходстве по сравнению с фосфоритной мукой стандартного и тонкого помола. Наилучшие результаты получены при использовании удобрений из чилисайского и егорьевского фосфоритов. Комплексные суспендированные удобрения из

него по своему действию приближаются к уровню двойного суперфосфата, а приготовленные с использованием базовых растворов ПФА в качестве жидкой фазы, равноценны аммофосу.

В качестве преимущества механически активированных удобрений перед стандартными водорастворимыми туками отмечается значительно меньшее использование P_2O_5 по первому году испытаний. На основании этого факта такие удобрения могут считаться медленнодействующими с повышенным коэффициентом использования питательных элементов [11, 14]. Фосфор в них находится в растворимой лимонной кислотой форме.

Нанотехнологии при механохимии жидкости в объеме равновесного флюида («жидкость - газ») разработаны для процессов дегидратации и дефторирования ЭФК с использованием интенсивного теплообменного аппарата тарельчатого типа [12, 13]. В этом случае единственным видом деформации является всестороннее сжатие, а локальное механохимическое состояние характеризуется заданием давления P .

Принадлежность таких систем к «нано» иллюстрируется для процессов дегидратации и дефторирования на примере испарения сферической капли в газовую фазу в зависимости от ее размера по уравнению Лапаса:

$$P = 2\sigma/r,$$

где σ – поверхностное натяжение; r – радиус капли, причем давление.

Рассчитанные по известным формулам [8] значения r составляют 50...80 нм.

В свою очередь, структура поверхности газожидкостного слоя играет роль энергетического барьера для испарения. Поэтому для данного механохимического нанопроцесса, чем выше межфазовая поверхность слоя и, соответственно, больше перепад давления, тем при более низкой температуре может быть осуществлен процесс [12,15].

Разработанный в ОАО «Воскресенский НИУиФ» тарельчатый аппарат испытан в опытно-промышленных и промышленных условиях и является универсальным, так как может быть использован в качестве концентратора, дефторатора и абсорбера.

Для установления основных энерге-

тических закономерностей концентрирования и дефторирования в тарельчатом аппарате и оптимизации процесса была разработана теплофизическая модель, в которой область наиболее эффективных параметров (температурных, расходных) определялась путем совместного решения ряда уравнений относительно искомым ингредиентов в диапазоне концентрации фосфорной кислоты 52...65 % P_2O_5 [15].

Процесс очистки с извлечением нужных компонентов будет протекать тем легче, чем более разупорядочена (деструктурирована) будет данная система. Мерой разупорядоченности, удаления от равновесия согласно второму закону термодинамики, является величина энтропии. Использование МХ активации при получении ОФК для разрушения указанной структуры, может быть лишь элементом (стадией) в общей технологической схеме путем отдувки фтора в тарельчатом дефтораторе.

Решение же задачи комплексной очистки ЭФК с успехом может осуществляться адсорбционными методами, которые позволяют удалить в той или иной степени практически все вышеуказанные компоненты.

Введение в растворы ЭФК серной, азотной кислот, а также гидроксида аммония либо их солей в небольших количествах, эквивалентных содержанию в системе высаливаемых примесей Fe^{3+} , SO_4^{2-} , SiF_6^{2-} активует процесс.

С использованием данных положений разработана технология получения очищенной фосфорной кислоты технического (ОФК), пищевого, медицинского качества с одновременным извлечением и утилизацией соединений фтора, кремния, кальция, железа, алюминия и РЗЭ. Технология основана на совмещении процессов концентрирования ЭФК, отдувки фтористых соединений горячими топочными газами (или паром) и сорбции всех примесных ингредиентов на активных углях в едином циркуляционном контуре. Основными аппаратами такого контура являются тарельчатый дефторатор колонного типа, работающий в пенном режиме, и адсорбционная колонна [6, 10, 16].

Исходным углеродным материалом, который используется в качестве сорбента

для очистки экстракционной фосфорной кислоты, либо как сырье для химического модифицирования является активный уголь марки БАУ-А ГОСТ 6217-74.

При такой комплексной обработке большая часть фтористых соединений переходит в газовую фазу и утилизируется в виде кремнефтористой кислоты системе адсорбции, а ионы железа и РЗЭ адсорбируются на углях, концентрируются при циркуляции производного раствора и далее десорбируются при регенерации адсорбентов. Интенсифицирующее действие серной и азотной кислот может быть также использовано при модифицировании стандартных углей и регулировании содержания их селективных активных центров механохимическим синтезом [8]. Что касается извлечения РЗЭ из фосфогипса, то специалистами репульпации последнего рекомендуются все те же серная и азотная кислоты с последующим сорбционным извлечением ингредиентов из пульпы.

Реализация описанной здесь схемы получения очищенной фосфорной кислоты с одновременным извлечением РЗЭ в крупных масштабах позволит отнести данную схему к разряду энерготехнологических, сочетающих максимальное использование сырья и энергии с учетом энергетических принципов, указанных выше.

Использование адсорбентов дало возможность повысить не только глубину очистки от соединений железа, алюминия, кремния, серы, РЗЭ, но и увеличить скорость отдувки фтористых соединений. Подробности очистки ЭФК от фтора и других элементов, а также извлечения РЗЭ с помощью древесных углей типа БАУ и модифицированных различными добавками, приведены в публикации [6].

Предложен новый подход для извлечения РЗЭ из ЭФК, представляющей сорбционное разделение концентрированных электролитов на ионитах с использованием эффекта «удерживания кислоты» [17-18].

Заключение

Таким образом, подводя итог настоящей публикации, следует констатировать, что с точки зрения экологической безопасности и экономической целесообразности на удобрения следует перерабатывать фосфоритное сырье, а дефицитные апатиты следует направлять на получение

строительных материалов тонкоочищенных фосфатов с одновременным извлечением и утилизацией РЗЭ.

Библиографический список

1. Левин Б. В. Фосфатное сырье как ресурс для экономически целесообразного производства фторпродуктов: Потенциал и реальность // Труды НИУИФ. – М.: НИУИФ, 2014. – С. 283–304.

2. Кочетков С. Л., Баринов А. Л., Малявин А. С. Сорбционные процессы и нанотехнологии при комплексной переработке апатитов // Ibid. – С. 355–359.

3. Кочетков С. П., Наймоген С. В., Смирнов Н. Н., Ильин А. П. Современные тенденции в производстве и квалифицировании фосфорной кислоты: Современные тенденции в производстве и применении фосфорсодержащих удобрений и неорганических кислот: мат. междунауч.-практ. конф. – М.: НИУИФ, 2015. – С. 98–108.

4. Бушуев Н. Н., Левин Б. В. Основы новой технологии выделения редкоземельных элементов из ЭФК // Труды НИУИФ. – М.: НИУИФ, 2014. – С. 455–461.

5. Кочетков С. П., Баринов А. Н. Экологический аспект использования нанотехнологий в производстве минеральных удобрений: Переработка и утилизация попутных фтористых соединений и извлечение редкоземельных металлов: мат. междунауч.-практ. сем. – М., 2011. – С. 49–53.

6. Смирнов Н. Н., Ильин А. П., Смирнова Д. Н., Кочетков С. П. Очистка ЭФК и попутное извлечение РЗЭ с использованием адсорбентов // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. – 2014. – Т. 57. – Вып. 12. – С. 3–10.

7. Кочетков С. П., Баринов А. Н., Ильин А. П., Смирнов Н. Н. Нанотехнологии в промышленности удобрений, катализаторов и сорбентов // Нанотехнологии. Наука и производство. – 2011. – № 4(13). – С. 40–53.

8. Кочетков С. П., Смирнов Н. Н., Ильин А. П. Перспективы использования нанотехнологий в фосфорной промышленности и в производстве катализаторов и сорбентов // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. – 2012. – Т. 55. – № 2. – С. 131–144.

9. Кочетков С. П., Лембриков М. В. О

перспективах использования механических методов для переработки апатитов // Изв. СО АН СССР, сер. хим. наук. – 1979. – № 7. – Вып. 3. – С. 29–34.

10. Кочетков С. П., Смирнов Н. Н., Ильин А. П. Комплексная механохимическая переработка фосфатов: Фосфатное сырье: производство и переработка: сб. мат. междун. науч.-практ. конф. – М.: НИУИФ. – 2012. – С. 98–102.

11. Кочетков С. П. Научные основы новых высокоэффективных процессов комплексной переработки фосфатосодержащего сырья: дис. ... д-ра. техн. наук. – Иваново: ИГХТУ. – 2004.

12. Кочетков С. П. Использование механохимических методов для комплексной переработки твердых и жидких фосфатов на целевые продукты // Тр. НИУИФ, юб. выпуск, 85-лет. – Москва, 2004. – С. 142–157.

13. Кочетков С. П., Хромов С. В., Ильин А. П. Физико-химический аспект влияния примесей и интенсивного тепломассообмена на дегидратацию и дефторирование ЭФК // Хим. технология. – 2005. – № 12. – С. 26–32.

14. Кочетков С. П., Баринов А. А. О влиянии примесей различного фосфатного сырья и его структуры на переработку различными методами и физико-химические свойства продуктов: Фосфатное сырье: производство и переработка сб. мат. междун. науч.-практ. конф. – М.: НИУИФ. – 2012. – С. 157–163.

15. Кочетков С. П., Смирнов Н. Н., Ильин А. П. Концентрирование и очистка экстракционной фосфорной кислоты: монография. – Иваново: ИГХТУ. – 2007. – 304 с.

16. Смирнов Н. Н., Ильин А. П., Кочетков С. П. Очистка ЭФК на угольных адсорбентах // Катализ в промышленности. – 2009. – № 5. – С. 22–27.

17. Хамизов Р. Х. Сорбционное концентрирование и выделение РЗЭ из ЭФК / Хамизов Р. Х., Крачак А. Н. [и др.]: Переработка и утилизация попутных фтористых соединений и извлечение РЗМ в производстве минеральных удобрений: мат. межд. науч.-практ. сем. – М.: НИУИФ, 2011. – С. 180–198.

18. Локшин Э. П., Калинин В. Т. Извлечение РЗЭ из отходов и промпродуктов

сернокислотной переработки хибинского апатитового концентрата // Jbid. – С. 125–142.

Сведения об авторах

Кочетков Сергей Павлович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры строительного производства; Коломенский институт (филиал) Университета машиностроения; 140402, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408.

Брыль Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительного производства; Коломенский институт (филиал) Университета машиностроения; 140402, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408; e-mail: Bryl_SV@mail.ru.

References

1. Levin B. V. Fosfatnoe syr'e kak resurs dlja jekonomicheskicelesoobraznogo proizvodstva ftorproduktov: Potencial i real'nost' // Trudy NIUIF. – М.: NIUIF, 2014. – S. 283–304.

2. Kochetkov S. L., Barinov A. L., Maljavin A. S. Sorbcionnye processy i nanotehnologii pri kompleksnoj pererabotke apatitov // Jbid. – S. 355–359.

3. Kochetkov S. P., Najmogen S. V., Smirnov N. N., Il'in A. P. Sovremennye tendencii v proizvodstve i kvalificirovanii fosfornoj kisloty: Sovremennyye tendencii v proizvodstve i primenении fosforsoderzhashhih udobrenij i neorganicheskikh kislot: mat. mezhdun. науч.-практ. конф. – М.: NIUIF, 2015. – S. 98–108.

4. Bushuev N. N., Levin B. V. Osnovy novoj tehnologii vydelenija redkozemel'nyh jelementov iz JeFK // Trudy NIUIF. – М.: NIUIF, 2014. – S. 455–461.

5. Kochetkov S. P., Barinov A. N. Jekologicheskij aspekt ispol'zovanija nanotehnologij v proizvodstve mineral'nyh udobrenij: Pererabotka i utilizacija poputnyh ftoristykh soedinenij i izvlechenie redkozemel'nyh metallov: mat. mezhdun. науч.-практ. сем. – М., 2011. – S. 49–53.

6. Smirnov N. N., Il'in A. P., Smirnova D. N., Kochetkov S. P. Ochistka JeFK i poputnoe izvlechenie RZJe s ispol'zovaniem adsorbentov // Izv. VUZov. Himija i him.

tehnologija. – 2014. – T. 57. – Vyp. 12. – S. 3–10.

7. Kochetkov S. P., Barinov A. N., Il'in A. P., Smirnov N. N. Nanotehnologii v promyshlennosti udobrenij, katalizatorov i sorbentov // Nanotehnologii. Nauka i proizvodstvo. – 2011. – № 4(13). – S. 40–53.

8. Kochetkov S. P., Smirnov N. N., Il'in A. P. Perspektivy ispol'zovaniya nanotehnologij v fosfornoj promyshlennosti i v proizvodstve katalizatorov i sorbentov // Izv. VUZov. Himija i him. tehnologija. – 2012. – T. 55. – № 2. – S. 131–144.

9. Kochetkov S. P., Lembrikov M. V. O perspektivah ispol'zovaniya mehanicheskikh metodov dlja pererabotki apatitov // Izv. SO ANSSSR, ser. him. nauk. – 1979. – № 7. – Vyp. 3. – S. 29–34.

10. Kochetkov S. P., Smirnov N. N., Il'in A. P. Kompleksnaja mehanohimicheskaja pererabotka fosfatov: Fosfatnoe syr'e: proizvodstvo i pererabotka: sb. mat. mezhdun. nauch.-prakt. konf. – M.: NIUIF. – 2012. – S. 98–102.

11. Kochetkov S. P. Nauchnye osnovy novyh vysokoeffektivnyh processov kompleksnoj pererabotki fosfatosoderzhashhego syr'ja: dis. ... d-ra. tehn. nauk. – Ivanovo: IGHTU. – 2004.

12. Kochetkov S. P. Ispol'zovanie mehanohimicheskikh metodov dlja kompleksnoj pererabotki tverdyh i zhidkikh fosfatov na celevye produkty // Tr. NIUIF, jub. vypusk, 85-let. – Moskva, 2004. – S. 142–157.

13. Kochetkov S. P., Hromov S. V., Il'in A. P. Fiziko-himicheskij aspekt vlijaniya primesej i intensivnogo teplomassoobmena na degidrataciju i deflorirovanie JeFK // Him. tehnologija. – 2005. – № 12. – S. 26–32.

14. Kochetkov S. P., Barinov A. A. O vlijanii primesej razlichnogo fosfatnogo syr'ja i ego struktury na pererabotku razlichnymi metodami i fiziko-himicheskie svojstva produktov: Fosfatnoe syr'e: proizvodstvo i pererabotka sb. mat. mezhdun. nauch.-prakt. konf. – M.: NIUIF. – 2012. – S. 157–163.

15. Kochetkov S. P., Smirnov N. N., Il'in A. P. Koncentrirovanie i ochistka jekstrakcionnoj fosfornoj kisloty: monografija. – Ivanovo: IGHTU. – 2007. – 304 s.

16. Smirnov N. N., Il'in A. P., Kochetkov S. P. Ochistka JeFK na ugol'nyh adsorbentah // Kataliz v promyshlennosti. – 2009. – № 5. – S. 22–27.

17. Hamizov R. H. Sorbcionnoe koncentrirovanie i vydelenie RZJe iz JeFK / Hamizov R. H., Krachak A. N. [i dr.]: Pererabotka i utilizacija poputnyh ftoristykh soedinenij i izvlechenie RZM v proizvodstve mineral'nyh udobrenij: mat. mezhd. nauch.-prakt. sem. – M.: NIUIF, 2011. – S. 180–198.

18. Lokshin Je. P., Kalinnikov V. T. Izvlechenie RZJe iz othodov i promproduktov sernokislotoj pererabotki hibinskogo apatitovogo koncentrata // Jbid. – S. 125–142.

Information about the authors

Kochetkov Sergei Pavlovich, doctor of technical sciences, senior researcher, professor of construction production; The Kolomna institute (branch) of the University of machine building; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrskoj revolutsii, 408.

Bryl Sergey Valerjevich, candidate of technical sciences, head of the chair of construction production; The Kolomna institute (branch) of the University of machine building; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrskoj revolutsii, 408; e-mail: Bryl_SV@mail.ru.

Для цитирования: Kochetkov S. P., Bryl S. V. Основные экологические аспекты комплексной переработки природного фосфатного сырья // Экология и строительство. – 2016. – № 2. – С. 9–17.

For citations: Kochetkov S. P., Bryl S. V. The main ecological aspects of the complex processing of natural phosphateraw material // Ekologiya & Stroitelstvo. – 2016. – № 2. – С. 9–17.