

УДК 502/504 : 661.632

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ФОСФАТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Поступила 01.12.2016 г.

© **Ильин Александр Павлович¹, Кочетков Сергей Павлович², Брыль Сергей Валерьевич², Рухлин Георгий Владимирович²**

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

PROBLEMS AND PROSPECTS OF USAGE OF SECONDARY PRODUCTS OF PROCESSING OF NATURAL PHOSPHATES FOR CONSTRUCTION MATERIALS

Received on December 01, 2016

© **Ilin Aleksandr Pavlovich¹, Kochetkov Sergei Pavlovich², Bryl Sergei Valerevich², Rukhlin Georgii Vladimirovich²**

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

В статье рассматриваются проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов. Подобная технология для получения комплексных удобрений осуществляется на химических предприятиях в РФ: Великом Новгороде, Дорогобуже и Кирово-Чепецке. Отмечается, что на 1 т P_2O_5 в апатите выход $CaCO_3$ составляет 80 кг. Общий выход техногенного мела при использовании апатитового концентрата составляет 896 тыс. т и не решает проблему восполнения дефицита цемента в России техногенным сырьем, к тому же все получаемые в данной технологии жидкие отходы и твердые попутные продукты утилизируются внутри самих указанных предприятий без передачи в строительное производство. Для использования максимального количества фосфогипса из отвалов лучше всего перерабатывать на месте в серную кислоту, возвращаемую в производство с попутным получением цемента, агломерата для дорожного строительства или извести (в зависимости от потребности рынка). По классическому методу на 1 т 100%-й серной кислоты и 1 т портландцемента расходуется 2,05 т фосфогипса (в пересчете на сухой дигидрат).

Ключевые слова: фосфогипс, цемент, производство, строительные материалы, переработка.

In the article the problems and prospects of using of secondary products of processing of natural phosphates for obtaining building materials. This technology for production of complex fertilizers is carried out on a Chemical enterprises in Russia: Veliky Novgorod, Dorogouge and Kirovo-Chepetsk. It is noted that from 1 ton of P_2O_5 of apatite it is produced of $CaCO_3$ about 80 kg. Total output of manmade chalk if you use apatite concentrate represented 896 thousand ton and does not solve the problem of the shortfall of cement in Russia technogenic raw materials, in addition, all obtained in this process, liquid wastes and solid by-products are utilized within these companies without reference to the construction industry. To use the maximum amount of phosphogypsum waste produced by the best Perera-motivate on the spot in sulphuric acid, the who-rotated in the manufacturing associated with obtaining cement, sinter for road construction or lime (depending on the needs of the market). According to classical method on 1 ton of 100% sulfuric acid and 1 ton port lancement spent 2.05 ton phosphogypsum (in terms of dry dihydrate).

Keywords: phosphogypsum, cement production, construction materials processing.

Введение. Для производства строительных материалов, и прежде всего, минеральных вяжущих веществ (ВВ) можно использовать как природное сырье (минералы), так и техногенное (вторичные продукты переработки минерального сырья).

Наиболее распространенным химическим элементом, используемым в производстве ВВ является кальций, которого в литосфере и гидросфере 3,4 %. Среди природных минералов, содержащих кальций Ca, наиболее применяются сульфаты и карбонаты. Среди них сульфаты – это природный гипс (ангидрит и дигидрат сульфата кальция (CaSO_4 и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)). Карбонаты кальция представляют кальцит (известковый шпат), который является одним из самых распространенных минералов на поверхности Земли, а также арагонит и доломит ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$).

Сульфаты кальция используются для производства гипсовых вяжущих (гипсовых штукатурок, гипсокартонных плит), а также при получении самого многотоннажного стройматериала – портландцемента, где гипс является регулятором сроков схватывания. В процессе обжига разложение сульфата кальция ведет к образованию свободной извести CaO – катализатора твердения [1]. Карбонатное сырье (известняк, мел, мрамор и др.) используется для получения воздушной извести, гидравлической извести и романцемента, а в основном (на 70...78 %) для производства портландцемента. Однако, указанные известковые породы, как правило, содержат примеси глинистых веществ (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3), магнезия, кварца и др.

Глинистые вещества в известняках участвуют в твердофазных реакциях с образованием силикатов, алюминатов и ферритов кальция, присутствие которых замедляет гашение извести и делает его менее полным [2]. Количество указанных ингредиентов в известковых породах не хватает для обеспечения содержания их в клинкере согласно ГОСТ 5382-91 (Цементы, материалы цементного производства), поэтому для производства портландцемента используются также глинозemosодержащее природное сырье – бокситы, а также природные силикаты (кварц, полевой шпат и др.). Обычно содержание компонентов в клинкере в пересчете на оксиды колеблется в следующих пределах (% мас):

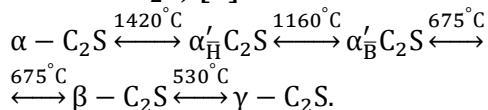
CaO	63...66
SiO ₂	21...24
Al ₂ O ₃	4...8
Fe ₂ O ₃	24
MgO	0,5...5
SO ₃	0,3...1
Na ₂ O + K ₂ O	0,4...1
TiO ₂ + Cr ₂ O ₃	0,2...0,5
P ₂ O ₅	0,1...0,3

Содержание отдельных оксидов оказывает влияние на свойства клинкера портландцемента [1, 3]. Так, повышенное содержание CaO (при условии связывания в химические соединения с кислотными оксидами) обуславливает повышенную скорость твердения и высокую прочность портландцемента, но несколько пониженную водостойкость. Повышение SiO₂ в составе клинкера влияет на скорость твердения и нарастание прочности, а также повышает водо- и сульфостойкость. При повышенном содержании Al₂O₃ цемент приобретает способность к ускоренному твердению в начальные сроки и интенсивному нарастанию прочности, но снижает водостойкость и морозостойкость. Соединения оксида железа способствуют снижению температуры спекания клинкера и повышению сульфостойкости. Повышение содержания MgO в клинкере вызывает неравномерность изменения объема цемента при твердении. Ангидрид серной кислоты в виде гипса необходим для регулирования сроков схватывания портландцемента. Диоксид титана TiO₂ в количестве 0,5% способствует лучшей кристаллизации клинкерных минералов, способствует повышению прочности конечного продукта. Фосфорный ангидрид P₂O₅ и оксид хрома Cr₂O₃ в количестве (0,1...0,3 %) оказывает легирующее действие на клинкер, увеличивая интенсивность твердения.

Портландцементный клинкер представлен не набором отдельных оксидов, а четырьмя основными «искусственными» минералами: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (алит); $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (белит); $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (алюминат кальция); $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (алюмоферритная фаза – целит). В заводских клинкерах все эти минералы содержат изоморфные примеси [4].

Материалы и методы исследования. Для этих примесей относительно основных компонентов, как собственно, и указанные выше свойства конечного продукта зависят от качества исходного сырья и его предварительной подготовки

и могут регулироваться с помощью методов механохимической активации (МХА) непосредственно в технологии портландцемента, а также варьированием температуры при обжиге [1, 4, 5, 6]. Наглядным примером указанного аспекта может являться схема фазовых полиморфных превращений дикальциевого силиката – белита (сокращенное обозначение – C_2S) [1].



МХА за счет тонины помола и количества высвобожденной свободной энергии позволяет корректировать указанные температурные интервалы в сторону понижения [4, 7].

Источником техногенного сырья для получения минеральных вяжущих (прежде всего сульфатов и карбонатов кальция) являются вторичные продукты кислотной переработки природных фосфатов.

В Российской Федерации наиболее крупными важными по запасам являются апатит-нефелиновые руды Хибинского месторождения на Кольском полуострове. В свете современных тенденций главная задача заключается в полноте и комплексности использования минеральных концентратов при их химической переработке (apatит источник 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 %; P_3O – 0,8...1,0 %; нефелин-источник Al_2O_3 , Na_2O , K_2O).

Из 55 млн т P_2O_5 мирового потребления сырья более 70 % в настоящее время перерабатывается сернокислотным способом. Попутным продуктом получения экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) является техногенный сульфат кальция (фосфогипс, фосфолугидрат) содержащий до 5 % примесей. При указанных объемах кислотной переработки фосфатного сырья в мире образуется 180 млн т фосфогипса (ФГ).

С каждой тонны ЭФК образуется приблизительно 4...6 тонн сухого гипса [4]. Основные предприятия, где получают фосфогипс, находятся в Череповце, Балаково, Воскресенске. Учитывая, что ежегодный выход ФГ составляет $\approx 1,5$ млн т, по данным [8, 9] к настоящему времени в отвалах предприятий скопилось $\approx 430...530$ млн т.

Химический состав фосфогипса в пересчете на сухое вещество (%) по данным этих авторов следующий:

CaO	SO ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃
39...40	56...57	1,0...1,2	6,5...8,5	0,5...0,6

Fe ₂ O ₃	F	P ₂ O ₅	N ₂ O	K ₂ O
0,1	0,3...0,4	0,51...0,68	0,087	0,03

Указанный состав характерен для свежеполученного ФГ, который имеет сильноокислую реакцию за счет присутствия остаточных фосфорной и кремнефтористоводородной кислот. Для промышленного использования таких ФГ, например, для производства строительных материалов требуется нейтрализация такого сырья, что вызывает непереносимое образование сточных вод от отработанных нейтрализующих растворов. Естественное хранение ФГ в отвалах в течение 2-х лет снижает содержание P_2O_5 до 0,5 %, F – до 0,1 % и снимает необходимость нейтрализации.

Фосфогипс, получаемый при переработке апатитового концентрата, содержит в своем составе более 95 % гипса, а следовательно, по данному параметру он может быть отнесен к гипсовому сырью 1-го сорта (ГОСТ 40 13-82).

Направления использования ФГ в строительстве следующие:

производство гипсовых вяжущих и строительных изделий (гипсовых панелей, гипсокартонных плит, гипсовой штукатурки);

производство гипсового камня - регулятора сроков схватывания цемента; дорожное строительство (материал для оснований автомобильных дорог).

В России по ряду направлений ФГ в настоящее время имеет статус промышленной продукции согласно ГОСТ 125-79 «Вяжущие гипсовые. Технические условия.» Фосфогипс наравне с природным гипсовым камнем является сырьем для производства гипсовых вяжущих (по действующей нормативно-технической документации) [10].

Что касается природного гипса, то мировой объем его добычи составляет 100...120 млн т/год, а на долю России приходится 5...6 млн т/год (из них 70 % приходится на горнодобывающие предприятия компании «Knauf»), при этом увеличивается глубина добычи, ухудшается количество гипса и усложняются горно-геологические условия добычи [8].

Те же негативные тенденции что и в мировой добыче гипса характерные для России.

Таким образом, техногенный гипс можно рассматривать как значимую сырьевую базу, сопоставимую по масштабам с природными запасами.

Затраты на подготовку ФГ к переработке на квалифицированные строительные материалы минимальные, если использовать техногенное сырье в мес-

тах его хранения. В данном случае нейтрализация и отмывка ФГ от примесей происходит естественным образом и используются защитные функции инженерно-технических сооружений по хранению, как уже указывалось выше.

В таблице приведены расходные коэффициенты на 1 т гипсового вяжущего при переработке свежеполученного ФГ (регламент) и взятого с мест хранения (достигнутый) по данным [8].

Расходные коэффициенты на 1 т гипсового вяжущего

Наименование	Ед. изм.	Расходный коэффициент	
		регламент	достигнутый
Исходный фосфогипс (сухой дигидрат)	т	1,280	1,280
Карбоксиметилцеллюлоза	кг	0,312	0,255
Электроэнергия	Квт*ч	64,2	50,49
Газ природный	ТУТ	0,08	0,044
Пар (5 атм. насыщ.)	Гкал	0,8	0,293
Вода промышленная	м ³	6,0	2,49
Сжатый воздух	нм ³	0,33	0,21

К концу 90-х годов прошлого столетия выход побочного ФГ-продукта от производства ЭФК составил более 3 млн т/год.

По экологическим показателям влияния на окружающую среду при хранении, транспортировке и промышленному использованию ФГ имеется достаточно исследований и публикаций [11–17]. Общий вывод такой: ФГ с точки зрения токсикологии не опасен в транспортных условиях и при хранении; ФГ является веществом пожаро- и взрывоопасным; ФГ не обладает едкими и коррозионными свойствами; ФГ не является веществом токсичным и может быть отнесен к 5 классу опасности (практически не опасен).

Таким образом, с точки зрения экологической опасности препятствий для использования техногенного гипса не имеется. Тем не менее, по мнению специалистов для строительных вяжущих материалов необходимо использовать очищенный ФГ [12]. Здесь речь идет прежде всего о влиянии техногенных примесей в составе ФГ на технологические параметры и главные свойства вяжущих, регламентируемых нормативными документами.

И, все-таки, начиная с 70-х годов 20 века имеется положительный мировой опыт использования фосфогипса для получения промышленных строительных материалов. Подробный историчес-

кий ракурс этих тенденций рассмотрен в работах [8, 9].

Технология производства строительных изделий из фосфогипса хорошо отработана двумя немецкими фирмами «Salzgitter» и «Knauf». С использованием этих технологий схема частичной утилизации функционировала в составе Воскресенского ОАО «Минудобрения» с 1982 года, где был достигнут годовой объем производства гипсового вяжущего – 250 тыс. т, из которого производились панели и другие изделия. Аналогичное производство мощностью 216 тыс. т/год гипсового вяжущего было запроектировано для Балаковского ООО «БМУ» с закупкой импортного оборудования. В течение последних десятилетий такие производства не функционируют, не совершенствуются и не создаются по причинам не технического и не экономического характера, хотя спрос на эти изделия до сих пор остается.

Положительным примером практически полного использования образующегося фосфополугидрата служит практика европейской компании «Prayon» применяющей ФГ для производства цемента, гипсокартона, гипсовых блоков, гипсовой штукатурки. Указанной компанией выполняются жесткие требования к подготовительным и технологическим операциям, включая и очистки ФГ от примесей. Детальный анализ действия примесей,

а также сравнение состава и условия получения изделий из природного и техногенного гипса приведен в работе [16]. По данным автора такие примеси как P_2O_5 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , свободной фтор оказывают негативное влияние на размеры и форму кристаллов, а также скорость перекристаллизации полугидрата в дигидрат, и на процессе фильтрации осадка за счет увеличения вязкости.

TR_2O_3 (лантаноиды) при небольших концентрациях (0,02...0,05 % La_2O_3) адсорбируются на поверхности $CaSO_4$ и замедляют указанную перекристаллизацию. Как уже указывалось выше, позитивную роль для перекристаллизации полугидрата в дигидрат играет механохимическая активация [4, 7], которая так же может оказывать благоприятное влияние на процессы очистки ФГ от указанных примесей.

Разработаны и апробированы экстракционные и сорбционные методы извлечения примесей из ФГ, для осуществления которых необходим перевод его в жидкую фазу [18, 19]. Особое место среди подобных манипуляций занимает извлечение и утилизация редкоземельных металлов (РЗЭ). Апатитовое сырье в Российской Федерации является основным источником РЗЭ, извлечение и утилизация которых является важнейшей государственной задачей стратегического значения. Извлечение РЗЭ из апатитового концентрата осуществляется при кислотной переработке (серной, азотной, соляной). При доминирующей сернокислотной переработке 55...90 % РЗЭ переходит фосфогипс, а 10...45 % процентов в ЭФК. Разработаны методы извлечения РЗЭ из ФГ, которые пока не имеют промышленного применения в РФ, но значительно увеличивают технико-экономические показатели использования ФГ, для получения стройматериалов [6, 7, 20–22]. При комплексной переработке фосфогипса с получением химически осажденного мела, очищенного от фосфора и фтор гипса и концентрата РЗЭ даже опытно-промышленное производства переработка фосфогипса становится экономически выгодной при выделении всего комплекса ценных компонентов производство будет безубыточным и решит связанные с ним экологические проблемы [21–22]. По данным [22] 60 % выручки при переработке ФГ приходится на гипс, а 40 % на РЗЭ.

Тем не менее, имеющиеся в практике примеры успешного применения ФГ скорее являются исключением. Только 2 % от получаемого ежегодно в мире ФГ имеет прямое применение на практике в настоящее время [8]. В Российской Федерации лишь 4 % от производимого ФГ используют в основном для получения гипсокартонных плит. В экономически развитых странах (США, Японии, Германии) примерно 20 % от общего количества различных вяжущих изготавливаются из гипса, при этом в Японии ФГ перерабатывается полностью, а это 5,5 млн т/год. Количество, например, гипсокартонных плит производимых на душу населения в России меньше чем США в 10 раз и меньше чем в Японии в 3,5 раза [9]. Таким образом, чтобы перейти от складирования ФГ к его крупномасштабной переработке нужно прежде всего изменить отношение к нему. При получении в Российской Федерации полного ассортимента указанных строительных материалов из гипса при условии полной замены природного гипса на ФГ годовая потребность в последнем составляет ≈ 1 млн т [9].

Наибольшую перспективу для крупномасштабной переработки ФГ представляет использование последнего непосредственно на цемент исходя из того, что в настоящее время сложилась благоприятная обстановка. В Российской Федерации планировалось с 2010 года вводить в строй более 80 млн m^2 жилья (0,56 m^2 /год на 1 жителя). Для выполнения этой программы понадобится 85...100 млн т цемента [9]. В РФ на 1 m^2 общей площади строительства требуется 350 кг цемента (в США этот показатель в 3 раза меньше). Если не вводить новые мощности, то дефицит цемента составит ≈ 30 млн т в год.

Российский рынок цемента уже сейчас дефицитен [8, 9]. Основным сырьем для производства цемента является природный известняк (кальцит, мел). Состояние природного сырья и проблемы его переработки те же, что и с природным гипсом. Напрямую техногенный мел может получаться при азотнокислотном разложении апатитового концентрата.

Подобная технология для получения комплексных удобрений осуществляется на химических предприятиях в РФ: Великом Новгороде, Дорогобуже и Кирово-Чепецке. При азотнокислотной переработке вторичным продуктом (тве-

рдым) является нитрат кальция, который в случае выпуска «чистого» мела конвертируется до карбоната кальция. При этом на 1 т P_2O_5 в апатите выход $CaCO_3$ составляет 80 кг. Общий выход техногенного мела при использовании апатитового концентрата составляет 896 тыс т и не решает проблему восполнения дефицита цемента в России техногенным сырьем, к тому же все получаемые в данной технологии жидкие отходы и твердые попутные продукты утилизируются внутри самих указанных предприятий без передачи в строительное производство [25].

Дефицит в России цемента может еще более увеличиваться, так как Правительством РФ поставлена задача достичь среднеевропейский уровень по вводу общей жилой площади на одного жителя в год – 1 м².

Выводы

Для решения вопроса крупномасштабной переработки ФГ предложено 3 способа.

Авторами [10, 16, 23] показана возможность использования фосфогипсового камня как регулятора срока схватывания цемента. Проведенные опытные и промышленные испытания (на Нижнетагильском, Подольском, Ульяновском и Вольском цементных заводах показали большее замедляющее действие фосфогипсового камня на сроки схватывания цемента по сравнению с природным гипсовым камнем; более дешевую технологию получения фосфогипсового камня по сравнению с добычей и транспортировкой природного сырья; возможность использования фосфогипсового камня (нейтрализованного и рядового) взамен природного в количестве 3-6% от массы клинкера для производства портландцемента).

Разработана технология комплексной переработки фосфогипса на сульфат аммония и карбонат кальция методом углеаммонийной конверсии с попутным извлечением РЗЭ [24]. Наиболее эффективной в мировой практике была признана жидкостная схема конверсии, согласно которой фосфогипс (отмытый) обрабатывается раствором $(NH_4)_2CO_3$. Эффект такой конверсии фосфогипса основан на большой разнице (примерно в 140 раз) растворимостей $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и $CaCO_3$. Представленная схема хорошо вписывается в технологию комплексных

удобрений и может быть реализована на соответствующих предприятиях.

Для использования максимального количества ФГ из отвалов лучше всего перерабатывать на месте в серную кислоту, возвращаемую в производство ЭФК с попутным получением цемента, агломерата для дорожного строительства или извести (в зависимости от потребности рынка). По классическому методу на 1 т 100% -й серной кислоты и 1 т портландцемента расходуется 2,05 т ФГ (в пересчете на сухой дигидрат) [9].

Указанная технология разработана в США фирмой «Деви Мак Ки» (DMC), в Германии фирмой «Knauf» и в Китае (Shandong).

Разработанная в Китае собственная технология комбинированного производства цемента и серной кислоты имеет особенности: дигидратный ФГ должен содержать $SO_3 \geq 40\%$, $SiO_2 \leq 8\%$, $P_2O_5 \leq 1\%$, $F \leq 0,35\%$; нет необходимости в очистке ФГ. В 1999 году на основном заводе Shandong Lubei Chemical Industry был запущен проект, производящий 200 тыс т/год серной кислоты и 300 тыс т/год цемента.

Аналогичная технология в РФ была разработана ОАО «НИУИФ» и Воскресенским филиалом еще в 1980-х годах.

Целесообразно данные технологии по всем 3-м направлениям внедрять на Воскресенском, Балаковском, Череповецком предприятиях, где скопились в отвалах огромные запасы ФГ, а также поблизости расположены цементные заводы.

Библиографический список

1. Андреева Н.А. Химия цемента и вяжущих веществ: учеб. пособие. – С.-Пб.: СПбГАСУ, 2011. – 67 с.
2. Барбанищikov Ю.Г. Строительные материалы и изделия: учебник. – М.: «Академия», 2010. – 368 с.
3. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства: учебник для вузов. – М.: Строиздат, 1979. – 476 с.
4. Усов Б.А. Химия и технология цемента: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 158 с.
5. Кочетков С.П., Брыль С.В., Рухлин Г.В. Современные экологические тенденции в технологии переработки природ-

ных фосфатов // Системные технологии. – 2016. – Вып. 1/19. – С. 115–120.

6. Кочетков С.П., Брыль С.В. Основные экологические аспекты комплексной переработки природного фосфатного сырья // Экология и строительство. – 2016. – № 2. – С. 9–17.

7. Кочетков С.П. Научные основы новых высокоэффективных процессов комплексной переработки фосфорсодержащего сырья: дисс. ... д-ра техн. наук. – Иваново: ИГХТУ, 2004.

8. Левин Б.А. Фосфогипс: выбор стратегически перспективных направлений переработки использования // Сб. материалов II Международной научно-практической конференции «Фосфогипс. Хранение и направления использования». – М.: 2010. – С. 10–24.

9. Бабкин В.В. Переработка фосфогипса-насушная проблема национальной экономики // *Ybid.* – С. 25–37.

10. Давыденко В.В., Кержнер А.М., Терсин В.А., Трошин М.А. Основные направления использования фосфогипса ООО «Балаковские минеральные удобрения» // *Ybid.* – С. 50–69.

11. Горленко А.С. Влияние отвалов фосфогипса на окружающую среду // *Ybid.* – С. 38–50.

12. Херосфельд Бад. Строительные материалы из фосфогипса // *Ybid.* – С. 84–97.

13. Мартынюк А.А., Кураев В.Н., Коженков Л.Л., Миронов В.Е. Лесобиологическая рекультивация полигонов складирования фосфогипса. – М.: ВНИИЛМ, 2006. – 120 с.

14. Терсин В.А., Левин Б.В., Кержнер А.М., Сеник Я.В. Об оценке транспортной опасности отходов экспериментальным методом // Труды НИУИФ: 85 лет НИУИФ. – М., 2004. – С. 302–306.

15. Гудашева В.М., Сырченков А.Я., Терещенко Л.Ф. Исследование транспортной опасности фосфогипса // *Ybid.* – С. 306–316.

16. Левин Б.В. Природный и техногенный гипс, методология обеспечения экологической безопасности при размещении техногенного гипса // «Труды НИУИФ 95 лет». – М.: 2014. – С. 479–505.

17. Кочетков С.П., Баринов А.М., Малявин А.С. Сорбционные процессы и нанотехнологии при комплексной переработке апатитов // *Ybid.* – С. 355–360.

18. Кочетков С.П., Смирнов Н.Н., Ильин А.П. Комплексная механохимическая переработка фосфатов // Сб. материалов международной научно-практической конференции «Фосфатное сырье: производство и переработка». – М., 2012. – С. 98–103.

19. Кочетков С.П., Баринов А.М. О влиянии примесей в составе различного фосфатного сырья и его структуры на переработку различными методами и физико-химические свойства продуктов // *Ybid.* – С. 157–164.

20. Локшин Э.П., Калинин В.Т. Извлечение редкоземельных элементов из отходов и промпродуктов сернокислотной переработки хибинского апатитового концентрата // Сб. материалов международного научно-практического семинара «Переработка и утилизация попутных фтористых соединений и извлечение редкоземельных металлов в производстве минеральных удобрений». – М., 2011. – С. 125–148.

21. Комплексная переработка апатита с получением химически осажденного мела, гипса и концентрата РЗЭ / Косынкин В.Д., Селивановский А.К., Федурлова Т.Т. [и др.] // *Ybid.* – С. 163–168.

22. Глушенко Ю.Г., Козырев А.Б., Ларичкин Ф.Д. Вопросы технологии и экономики при выделении РЗЭ из фосфогипса // *Ybid.* – С. 149–163.

23. Трошин М.А. Фосфогипсовый камень-регулятор срока схватывания цемента // «Труды НИУИФ 95 лет». – М., 2014. – С. 516–522.

24. Цикин М.Н., Бризицкая Н.М., Букколини Н.В., Долгов В.В. Технология комплексной переработки фосфогипса на сульфатамония и карбонат кальция // *Ybid.* – С. 474–479.

25. Ильин А.П., Ильин А.А. Свременные проблемы химической технологии неорганических веществ: уч. пособие. – Иваново: ИГХТУ, 2011. – 133 с.

Сведения об авторах

Ильин Александр Павлович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии неорганических веществ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»; 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7; e-mail: ilyin@isuct.ru.

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

Брыль Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительного производства; Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408; e-mail: stroy@polytech-kolomna.ru.

Рухлин Георгий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства; Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408.

References

1. *Andreeva N.A.* Himija cementa i vjazhushhij veshhestv: ucheb. posobie. – S.-Pb.: SPbGASU, 2011. – 67 s.
2. *Barabanshnikov Ju.G.* Stroitel'nye materialy i izdelija: uchebnik. – M.: «Aka-demija», 2010. – 368 s.
3. *Volzhenskij A.V.* Mineral'nye vjazhushhie veshhestva: tehnologija i svojstva: uchebnik dlja vuzov. – M.: Stroizdat, 1979. – 476 s.
4. *Usov B.A.* Himija i tehnologija cementa: Uchebnoe posobie. – M.: INFRA-M, 2015. – 158 s.
5. *Kochetkov S.P., Bryl' S.V., Ruhlin G.V.* Sovremennye jekologicheskie tendencii v tehnologii pererabotki prirodnyh fosfatov //Sistemnye tehnologii. – 2016. – Vyp. 1/19. – S. 115–120.
6. *Kochetkov S.P., Bryl' S.V.* Osnovnye jekologicheskie aspekty kompleksnoj pererabotki prirodnogo fosfatnogo syr'ja // Jekologija i stroitel'stvo. – 2016. – № 2. – S. 9–17.
7. *Kochetkov S.P.* Nauchnye osnovy novyh vysokojeffektivnyh rocessov kompleksnoj pererabotki fosforsoderzhashhego syr'ja: diss. ... d-ra tehn. nauk. – Ivanovo: IGHTU, 2004.
8. *Levin B.A.* Fosfogips: vybor strategicheskij perspektivnyh napravlenij pere-rabotki ispol'zovanija // Sb. materialov II Mezhdunarodnoj nauchno prakticheskij konferencii «Fosfogips. Hranenie i napravlenija ispol'zovanija». – M.: 2010. – S. 10–24.
9. *Babkin V.V.* Pererabotka fosfogipsa-nasushhnaja problema nacional'noj jekono-miki // Ybid. – S. 25–37.
10. *Davydenko V.V., Kerzhner A.M., Tersin V.A., Troshin M.A.* Osnovnye napravlenija ispol'zovanija fosfogipsa OOO «Balakovskie mineral'nye udobrenija» // Ybid. – S. 50–69.
11. *Gorlenko A.S.* Vlijanie otvalov fosfogipsa na okruzhajushhiju sredu // Ybid. – S. 38–50.
12. *Herosfel'd Bad.* Stroitel'nye materialy iz fosfogipsa // Ybid. – S. 84–97.
13. *Martynjuk A.A., Kuraev V.N., Kozhenkov L.L., Mironov V.E.* Lesobiologicheskaja rekul'tivacija poligonov skladirovaniya fosfogipsa. – M.: VNINLM, 2006. – 120 s.
14. *Tersin V.A., Levin B.V., Kerzhner A.M., Senik Ja.V.* Ob ocenke transportnoj opasnosti othodov jeksperimental'nyh metodom // Trudy NIUIF: 85 let NIUIF. – M., 2004. – S. 302–306.
15. *Gudasheva V.M., Syrchenkov A.Ja., Tereshhenko L.F.* Issledovanie transportnoj opasnosti fosfogipsa // Ybid. – S. 306–316.
16. *Levin B.V.* Prirodnyj i tehnogennyj gips, metodologija obespechenija jekologicheskij bezopasnosti pri razmeshhenii tehnogennogo gipsa // «Trudy NIUIF 95 let». – M.: 2014. – S. 479–505.
17. *Kochetkov S.P., Barinov A.M., Maljavin A.S.* Sorbcionnye processy i nanoteh-nologii pri kompleksnoj pererabotke apatitov // Ybid. – S. 355–360.
18. *Kochetkov S.P., Smirnov N.N., Il'in A.P.* Kompleksnaja mehanohimicheskaja pe-rerabotka fosfatov // Sb. materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskij konfe-rencii «Fosfatnoe syr'e: proizvodstvo i pererabotka». – M., 2012. – S. 98–103.
19. *Kochetkov S.P., Barinov A.M.* O vlijanii primesej v sostave razlichnogo fos-fatnogo syr'ja i ego struktury na

pererabotku razlichnymi metodami i fiziko-himicheskie svojstva produktov // Ybid. – S. 157–164.

20. *Lokshin Je.P., Kalinnikov V.T.* Izvlechenie redkozemel'nyh jelementov iz ot-hodov i promproduktov sernokislотноj pererabotki hibinskogo apatitovogo koncen-trata // Sb. materialov mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminarа «Pererabotka i utilizacija poputnyh ftoristyh soedinenij i izvlechenie redkozemel'nyh metallov v proizvodstve mineral'nyh udobrenij. – M., 2011. – S. 125–148.

21. Kompleksnaja pererabotka apatita s polucheniem himicheski osazhdennogo mela, gipsa i koncentrata RZJe / Kosynkin V.D., Selivanovskij A.K., Fedulova T.T. [i dr.] // Ybid. – S. 163–168.

22. *Glushenko Ju.G., Kozyrev A.B., Larichkin F.D.* Voprosy tehnologii i jekonomiki pri vydelenii RZJe iz fosfogipsa // Ybid. – S. 149–163.

23. *Troshin M.A.* Fosfogipsovyj kamen'-reguljator sroka shvatyvanija cementa // «Trudy NIUNF 95 let». – M., 2014. – S. 516–522.

24. *Cikin M.N., Brizickaja N.M., Bukkolini N.V., Dolgov V.V.* Tehnologija kom-pleksnoj pererabotki fosfogipsa na sul'fatamonija i karbonat kal'cija // Ybid. – S. 474–479.

25. *Ilin A.P., Il'in A.A.* Svremennye problemy himicheskoj tehnologii neorganicheskikh veshhestv: uch. posobie. – Ivanovo: IGHTU, 2011. – 133 s.

Information about the authors

Ilin Aleksandr Pavlovich, professor, doctor of technical sciences, head of the construction production department; Federal state budget educational institution

of higher education «Ivanovo State University of Chemistry and Technology»; 7, Sheremetievskiy Avenue, Ivanovo, 153000, Russia; e-mail: ilyin@isuct.ru.

Kochetkov Sergei Pavlovich, doctor of technical sciences, senior researcher, professor of the construction production department; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrskoy revolyutsii, 408.

Bryl Sergey Valerjevich, candidate of technical sciences, head of the construction production department; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrskoy revolyutsii, 408; e-mail: stroy@polytech-kolomna.ru.

Rukhlin Georgii Vladimirovich, candidate of technical sciences, senior lecturer of the construction production department; Kolomna Institute of Moscow Polytechnic University; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabrskoy revolyutsii, 408

Для цитирования: Ильин А.П., Кочетков С.П., Брыль С.В., Рухлин Г.В. Проблемы и перспективы использования вторичных продуктов переработки природных фосфатов для получения строительных материалов // Экология и строительство. – 2016. – № 4. – С. 21–29.

For citations: Ilin A.P., Kochetkov S.P., Bryl S.V., Rukhlin G.V. Problems and prospects of usage of secondary products of processing of natural phosphates for construction materials // Ekologiya & Stroitelstvo. – 2016. – № 4. – P. 21–29.