



УДК 541.183.123.2

Извлечение примесей РЗМ и других металлов из фосфорной кислоты

Власовских Н.С.¹, Хамизов С.Х.¹, Хамизов Р.Х.², Крачак А.Н.², Груздева А.Н.², Цикин М.Н.³, Долгов В.В.³

¹Общество с ограниченной ответственностью «НьюКем Текнолоджи», Москва

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), Москва

³Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. Я.В. Самойлова (ОАО «НИУИФ»), Москва

Поступила в редакцию 30.08.2013 г.

Аннотация

Апробирован процесс выделения РЗЭ из промышленной фосфорной кислоты с использованием метода «удерживания кислоты» на ионитах. Показаны зависимости динамических выходных кривых сорбции фосфорной кислоты и примесей редкоземельных элементов от типа сорбента и диаметра его зерна, линейной скорости их пропускания. Определен оптимальный состав регенерационного раствора для предотвращения осадкообразования в колоннах.

Ключевые слова: метод удерживания кислоты, РЗЭ

A presentation demonstrates the process of extraction of rare earth elements from industrial phosphoric acid using the method of «acid retardation». The dependences of dynamic sorption curves of phosphoric acid and additives of REE are shown dependently on sorbent type and grain sizes, as well as flow rates of solution under treatment. For avoiding sedimentation in column beds, the optimal composition of regeneration solution is found

Keywords: acid retardation method, REE

Введение

Существуют два взаимосвязанных фактора, затрудняющих создание конкурентоспособного способа извлечения редкоземельных элементов из экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК), получаемой по сернокислотной технологии. Во-первых, РЗЭ, содержащиеся в исходном апатитовом концентрате, остаются, в основном, в фосфогипсе, и только около 20% переходит в фосфорную кислоту; во-вторых, для кислоты, которая, в отличие от фосфогипса, является основным товарным продуктом очистка с одновременным извлечением РЗЭ не может приводить к изменению ее состава и концентрации, то есть, не допускается воздействие каких-либо химических веществ. Только применением чрезвычайно эффективных нестандартных методов можно попытаться обеспечить малозатратность и конкурентоспособность процесса выделения РЗЭ из ЭФК. Можно

сразу предположить, что традиционные методы сорбции РЗЭ из концентрированной кислоты с последующей химической регенерацией сорбентов в рабочих циклах будут малоперспективными, так как на обычных неселективных ионообменных материалах нельзя обеспечить необходимую длительность фильтроциклов, а на сверхселективных материалах - эффективную десорбцию. Во всех случаях трудно ожидать значимого концентрирования РЗЭ в растворе после регенерации по сравнению с исходной фосфорной кислотой, так как это было бы возможно лишь при малом значении соотношения объемов регенеранта и ЭФК на стадиях десорбции и сорбции.

Более перспективным оказался метод удерживания кислоты (Acid Retardation), суть которого состоит в следующем: при пропускании концентрированных смешанных растворов электролитов через определенные субмикropористые сорбционные и ионообменные материалы в условиях, исключающих ионный обмен или другие химические процессы, происходит разделение этих электролитов за счет различной физической сорбции ("задержки") молекул и гидратированных ионных пар, имеющих различные размеры, в нано-размерных порах. По сути, речь идет о необменной сорбции, которая малозначительна в случае разбавленных растворов, с которыми, как правило, работают при осуществлении обычных ионообменных процессов. В простейшем виде, эффект выглядит так: при пропускании смешанных концентрированных растворов солей и кислот с общим анионом (например, серная кислота и сульфат металла) через колонку со слоем анионита гелевого типа в той же анионной (сульфатной) форме, наблюдается выход из колонки суммы солей и только спустя некоторое время наблюдается появление кислоты на выходе. Такой эффект был замечен давно [1] и был назван авторами методом "удерживания" (или запаздывания) кислоты. Заметим, что в приведенном примере речь идет о разделении ионов металла и водорода, но не на катионите, как это было бы в обычном ионообменном процессе, а на анионите в форме аниона, общего с анионом (или анионами) разделяемых компонентов. Поэтому первой стадией использования описываемого метода является подготовка рабочего слоя анионита, а именно, обработка его перерабатываемым раствором для перехода в равновесную форму соответствующего аниона или суммы анионов (с целью исключения в последующем процессов ионного обмена) с последующей отмывкой водой. Далее процесс разделения состоит из повторяющихся рабочих циклов, включающих пропускание перерабатываемого раствора через слой подготовленного указанным образом ионита и десорбцию, которая осуществляется просто водой. Важным преимуществом метода является то, что для обеспечения количественной десорбции чистой кислоты (или смеси кислот) из колонны не требуется использования каких-либо химических реагентов. Это делает метод удерживания кислоты привлекательным даже в условиях чрезвычайно коротких фильтроциклов (от одного до нескольких колоночных объемов), и при условии, что скорости пропускания растворов электролитов, как правило, меньше чем при обычном ионном обмене. Из-за чрезвычайно высоких концентраций электролитов, достигающих нескольких сотен граммов в литре, удельные нагрузки ионитов по массе переработанных веществ остаются высокими. Для предотвращения перемешивания различных жидкостей в колонне, более плотный исходный раствор пропускают через нее в направлении снизу вверх, а воду - в противоположном направлении.

Впервые практическое применение метод удерживания кислоты нашел, когда Канадская компания Есо-Тес создала специальные ионообменные колонны с верхним плавающим дренажом (для исключения перемешивания жидкостей вне слоя сорбента), а впоследствии - совершенно новую технологию организации

массообменных процессов Resoflo с использованием коротких зажатых под большим давлением слоев калиброванных мелкодисперсных ионитов [2]. Несмотря на дорогостоящее оборудование и необходимость частой замены смолы, эксплуатируемой в весьма жестких условиях, в указанная компания с ее новой технологией является одним из мировых лидеров в области продажи и обслуживания промышленных установок для очистки и переработки электролитов в гальваническом производстве, травильном производстве, гидрометаллургии и других областях.

Эксперимент

Использовали экстракционную фосфорную кислоту, производства ОАО «Азот», г. Череповец. Состав исследованного образца приведен в табл. 1 и 2

Таблица 1. Содержание взвешенных веществ и растворенных макрокомпонентов в неупаренной дигидратной экстракционной фосфорной кислоте (данные завода-производителя)

Показатель	Результат
Хвзв, %	1.3
<i>осветленная часть:</i>	
P ₂ O ₅ , %	26.6
SO ₃ , %	2
F, %	1.8
CaO, %	0.1
Na ₂ O, %	0.06
K ₂ O, %	0.01
SiO ₂ , %	1.1
Al ₂ O ₃ , %	0.44
Fe ₂ O ₃ , %	0.26
MgO, %	0.053

Таблица 2. Содержание РЗЭ и некоторых других элементов в неупаренной (продукционной) экстракционной фосфорной кислоте Анализ был проведен по заданию НИУИФ в ГЕОХИ РАН методом ICP-MS на приборе Element-XF

Элемент	ЭФК неупаренная
Ce	311
Nd	158
La	128
Pr	42
Gd	28
Sm	27
Dy	16
Eu	8.3
Er	7.0
Yb	4.0
Tb	3.6
Ho	2.8
Tm	0.76
Lu	0.48
Va	178

Сильноосновный гелевый анионит АВ-17-8. Образец производства ПО ТОКЕМ, г. Кемерово. Использовали фракцию с размером зерен – 0,5-0,8мм.

Анионит Леватит (LEWATIT Mono Plus M500) производства концерна Lanxes (Германия). Lewatit MonoPlus M 500. Сильноосновный гелеобразный анионит на основе сополимеров стирола-дивинилбензола. Характеризуется однородным диаметром гранул (монодисперсное распределение). В работе использовали образец с диаметром гранул 0,5 мм. Оптимизированная кинетика обеспечивает увеличение использования емкости по сравнению с аналогичными гетеродисперсными смолами. Анионит Пьюролайт (Purolite A 430 MR 192/199) – высокоосновный гелевый анионит, аналог АВ-17 производства компании Purolite. Использованный в работе образец, предоставленный московским представительством компании, представлял собой порошкообразный материал с гранулами неправильной формы, выпускаемый для фармацевтической промышленности. Максимальный диаметр гранул составлял 0,15 мм. Для экспериментов методами седиментации и рассеивания была выделена часть образца со средним диаметром гранул 0,1-0,15 мм.

Указанные образцы в динамических условиях переводили в фосфатную форму, пропуская фосфорную кислоту до выравнивания ее концентраций на входе и выходе колонки, а затем отмывали дистиллированной водой до нейтральной реакции. Использовали как исследуемую ЭФК, так и реактивную ортофосфорную кислоту квалификации чда.

Эксперименты проводили в термостатируемых лабораторных колонках с объемом загрузки 150 – 1000 см³. Исследуемую ЭФК из термостатируемой емкости подавали в колонку с помощью насоса снизу вверх при постоянной температуре и с постоянной скоростью. На выходе колонки отбирали пробы. Термостатированный регенерационный раствор пропускали с той же скоростью сверху вниз. В качестве регенерационного раствора в различных опытах использовали

- дистиллированную воду;
- ЭФК, разбавленную до концентрации 0,01- 0,5 г-экв/л;
- реактивную фосфорную кислоту квалификации чда, разбавленную до концентрации 0, 1- 0,5 г-экв/л.

Общее содержание кислоты в исходных и регенерационных растворах, а также в фильтрах, получаемых в ходе экспериментов, определяли ацидиметрическим методом.

Содержание РЗЭ и других примесей в определяли методами АЭС-ИСП на полихроматоре ICAP 9000 Термо-Джарелл Аш, (США), или ИСП-МС.

Учитывая необходимость анализа большого количества проб для получения выходных кривых сорбции и десорбции по всем контролируемым компонентам, мы использовали также рекомендуемый для массового анализа метод энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (ЭДФА), на приборе, созданном совместно ГЕОХИ РАН и Институтом Рентгеновской Оптики [3]. Было установлено, что при прямом анализе экстракционной фосфорной кислоты и экспериментальных проб хорошо различимы спектральные линии для Се и Nd и в меньшей степени для La и Pr. С учетом трудности разделения РЗЭ и группового характера их поведения в процессах концентрирования, такой информации, получаемой по реперным линиям основных компонентов в спектрах ЭДФА, было вполне достаточно для контроля сорбционных процессов по всей группе РЗЭ.

Обсуждение результатов

Исследование влияния состава десорбирующего раствора на процесс переработки ЭФК.

Предварительными опытами было показано, при осуществлении десорбции чистой водой наблюдается осадкообразование в слое ионита. Предположение, которое было подтверждено предварительными опытами, состояло в том, что использование разбавленных растворов кислоты вместо чистой воды для десорбции ЭФК будет приводить к тому, что в ходе последующего сорбционного процесса передние фронты, образуемые солями металлов, будут соприкасаться и проходить не через нейтральную, а через слабокислую среду, что должно существенно замедлить самопроизвольное осадкообразование этих солей из соответствующих перенасыщенных растворов.

Действительно, при использовании вместо чистой воды 0,02н раствора кислоты, полученной разбавлением ЭФК, было отмечено уменьшение осадкообразования. Однако использование кислоты, получаемой разбавлением исходной ЭФК оказалось нерациональным, поскольку при ее разбавлении образуется опалесцирующая твердая фаза, а также коллоиды, которые медленно формируются, возобновляя опалесценцию даже после фильтрации. Эти частицы и коллоиды могут быть центрами кристаллизации в слое анионита, что нарушит процесс очистки ЭФК и выделения РЗЭ. Задача состояла в том, чтобы полностью избавиться от процессов осаждения, для чего была проведена серия экспериментов с различными концентрациями фосфорной кислоты (от 0.09 г-экв/л до 0.48 г-экв/л). В экспериментах была использована реактивная фосфорная кислота (далее будет показано, что часть такой кислоты можно держать в обороте в технологическом процессе, а остальную часть можно получать из хвостовых фракций десорбированной кислоты в ходе переработки ЭФК).

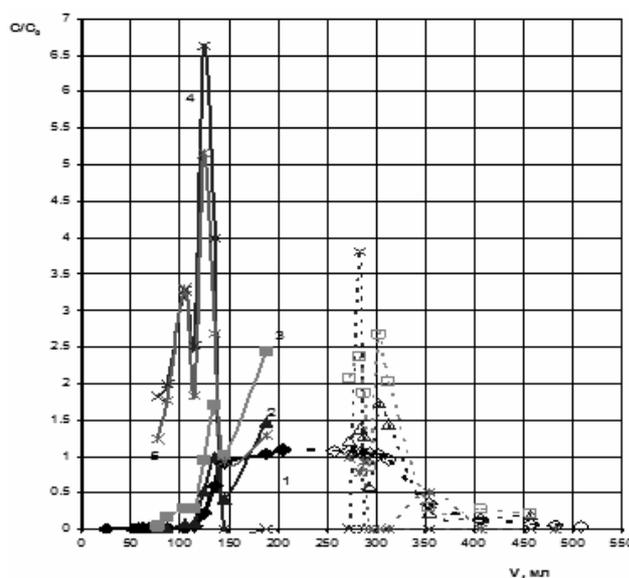


Рис. 1. Выходные кривые сорбции (сплошные линии) и десорбции (пунктиры) кислоты (1), фосфора (2), серы (3), калия (4), кальция (5) на анионите АВ-17 в фосфатной форме при $t=66^{\circ}\text{C}$ и при использовании в качестве десорбирующего раствора 0.09 н реактивной фосфорной кислоты

На рис. 1-3 приведены выходные кривые, соответствующие проведению полного цикла переработки ЭФК при температуре 66°C с использованием $0,09 \text{ н}$ фосфорной кислоты для десорбции. В экспериментах использовалась колонка со слоем анионита с параметрами: $S=5,6 \text{ см}^2$, $L= 26 \text{ см}$, объем загрузки анионита – 146 см^3 . Скорость пропускания растворов на стадиях сорбции и десорбции держали равной $0,4$ колоночных объема в час ($0,4 \text{ ч}^{-1}$).

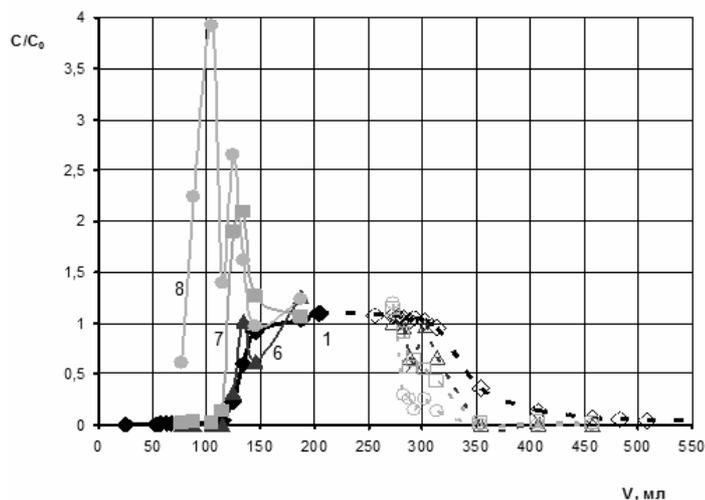


Рис. 2. Выходные кривые сорбции (сплошные линии) и десорбции (пунктиры) кислоты (1), титана (6), железа (7), марганца (8) - на анионите АВ-17 в фосфатной форме при $t=66^{\circ}\text{C}$ и при использовании в качестве десорбирующего раствора $0,09 \text{ н}$ реактивной фосфорной кислоты

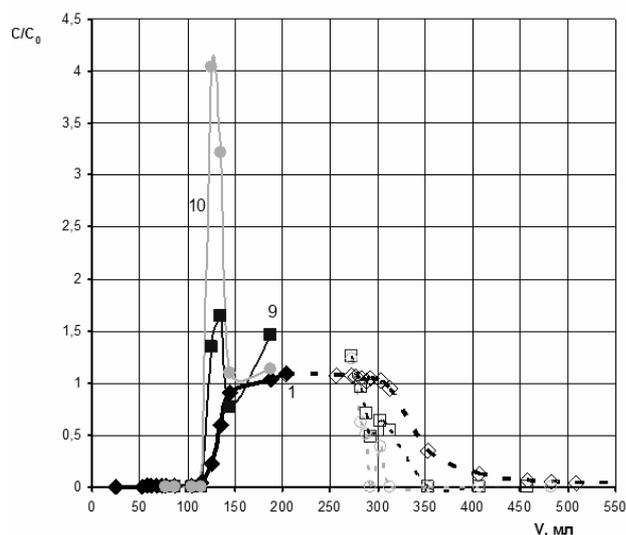


Рис. 3. Выходные кривые сорбции (сплошные линии) и десорбции (пунктиры) кислоты (1), церия-титана (9), неодима-лантана (10) на анионите АВ-17 в фосфатной форме при $t=66^{\circ}\text{C}$ и при использовании в качестве десорбирующего раствора $0,09 \text{ н}$ реактивной фосфорной кислоты

Для упрощения рисунков и облегчения понимания результатов на рис. 1-3 и далее один и тот же эксперимент иллюстрируется несколькими рисунками, на

которых повторяются выходные кривые основного компонента – фосфорной кислоты, но выходные кривые примесных компонентов даются только для небольшой группы металлов. Из кривых, представленных на рис. 2 и 3, видно, что процессы сорбции идут с концентрированием примесных металлов с формированием соответствующих динамических пиков впереди сорбционного фронта фосфорной кислоты, а фронт десорбции фосфорной кислоты формируется позади десорбционных кривых ионов металлов, что соответствует частичной очистке десорбируемой кислоты. В то же время, при использованной концентрации десорбирующего раствора (0,09 н) процесс характеризуется сравнительно меньшим, чем в случае десорбции водой, но все-таки заметным осадкообразованием в слое ионита, особенно, в зоне концентрирования железа и марганца.

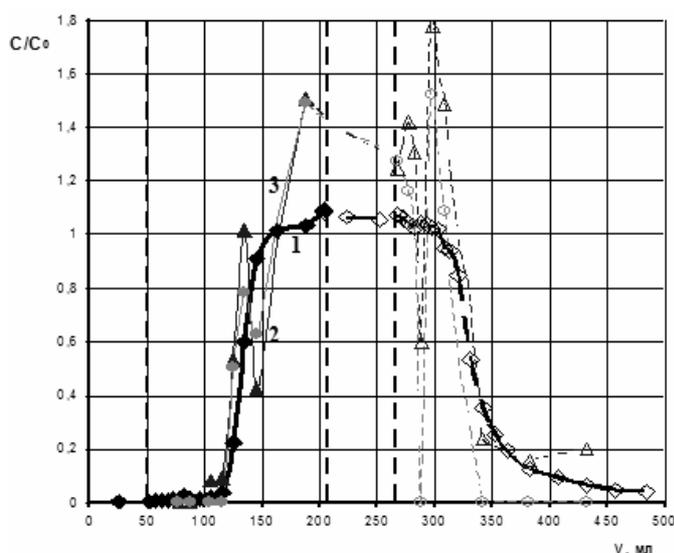


Рис. 4. 2-й цикл переработки ЭФК на АВ-17. Выходные кривые фосфорной кислоты (1), фосфора (2) и серы (3). Сплошные линии – сорбция, пунктиры – десорбция 0.435 н раствором реактивной фосфорной кислоты

На рис.4-11 представлены экспериментальные результаты, полученные для двух следующих рабочих циклов, проведенных с использованием 0,435 н раствора реактивной фосфорной кислоты в качестве десорбирующего агента. Процессы, показанные на рис. 4-11 уже идут без какого-нибудь осадкообразования в колонне. При этом сразу же после выхода свободного объема из колонны примесные металлы, в том числе, РЗЭ, существенно концентрируются с формированием динамического пика, опережающего сорбционную кривую для фосфорной кислоты. В большей степени эффект опережения сорбционного фронта ЭФК наблюдается для кальция, калия и марганца. В меньшей степени – для РЗЭ и еще меньшей для железа и титана, способных к образованию анионных комплексов в кислой среде. Наблюдается также, очистка десорбируемой кислоты от примесей, и здесь эффект очистки уменьшается в той же закономерности, что и при сорбции. В третьем цикле как видно из рис. 8 (в сравнении с рис.1 и рис.4), также, сорбционные и десорбционные выходные кривые по сере (серной кислоте) практически полностью соответствует соответствующим кривым по фосфору или фосфорной кислоте.

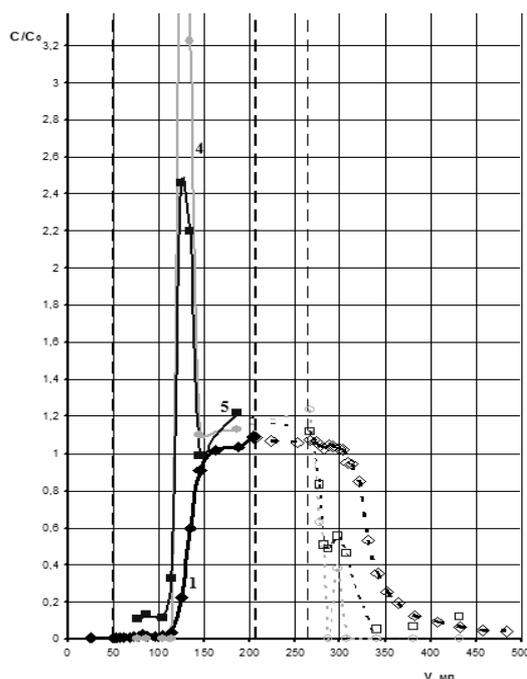


Рис. 5. 2-й цикл переработки ЭФК на АВ-17. Выходные кривые фосфорной кислоты (1), неодима-церия (4), церия-лантана-титана (5). Сплошные линии – сорбция, пунктиры – десорбция 0.435 н раствором реактивной фосфорной кислоты

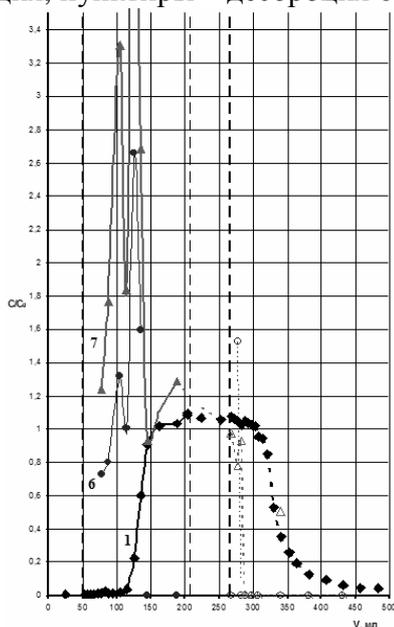


Рис. 6. 2-й цикл переработки ЭФК на АВ-17. Выходные кривые фосфорной кислоты (1), калия (6) и кальция (7). Сплошные линии – сорбция, пунктиры – десорбция 0.435 н раствором реактивной фосфорной кислоты

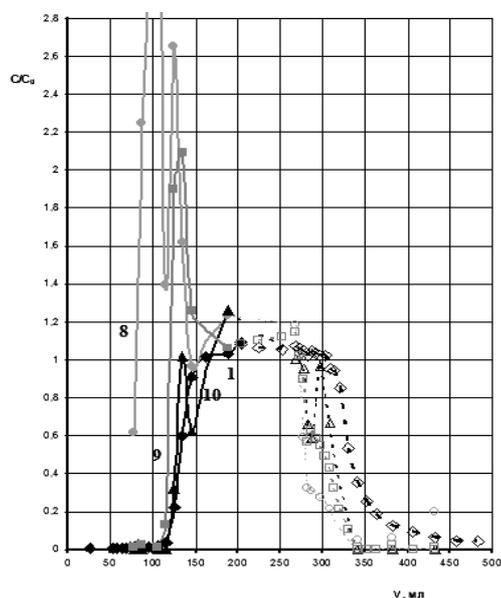


Рис. 7. 2-й цикл переработки ЭФК на АВ-17. Выходные кривые фосфорной кислоты (1), марганца (8), железа (9), титана (10). Сплошные линии – сорбция, пунктиры – десорбция 0.435 н раствором реактивной фосфорной кислоты

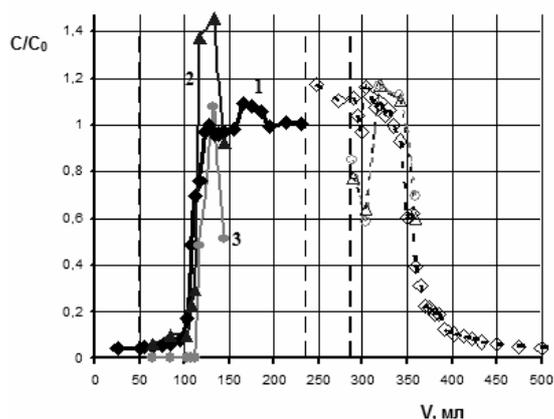


Рис. 8. 3-й цикл переработки ЭФК на АВ-17. Выходные кривые фосфорной кислоты (1), фосфора (2) и серы (3). Сплошные линии – сорбция, пунктиры – десорбция 0,435 н раствором реактивной фосфорной кислоты

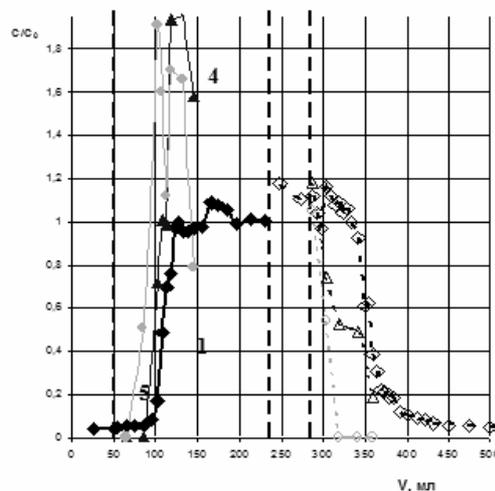


Рис. 9. 3-й цикл переработки ЭФК на АВ-17. Выходные кривые фосфорной кислоты (1), неодима-церия (4), церия-лантана-титана (5). Сплошные линии – сорбция, пунктиры – десорбция 0,435 н раствором реактивной фосфорной кислоты

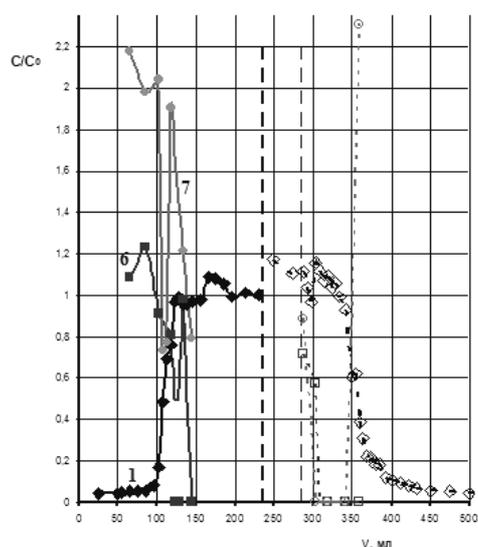


Рис.10. 3-й цикл переработки ЭФК на АВ-17. Выходные кривые фосфорной кислоты (1), калия (6) и кальция (7). Сплошные линии – сорбция, пунктиры – десорбция 0,435 н раствором реактивной фосфорной кислоты

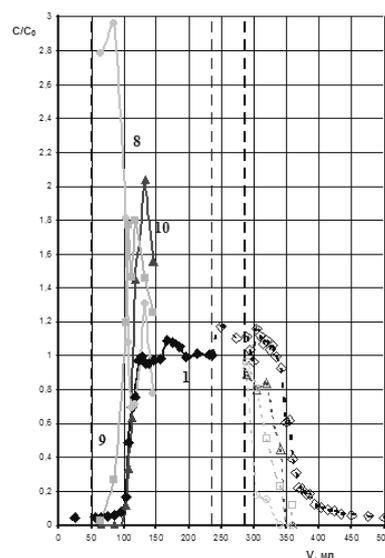


Рис.11. 3-й цикл переработки ЭФК на АВ-17. Выходные кривые фосфорной кислоты (1), марганца (8), железа (9), титана (10). Сплошные линии – сорбция, пунктиры – десорбция 0,435 н раствором реактивной фосфорной кислоты

Исследования зависимости характеристик процесса от типа иона и диаметра зерна

Экспериментальные результаты для анионита АВ-17 с диаметром зерна 0,5-0,8 мм описаны в предыдущем разделе. Исследования процесса очистки ЭФК с

использованием монодисперсного анионита Леватит с размером зерен 0,5 мм проводили на лабораторной колонке со слоем анионита с параметрами: $S = 8,02 \text{ см}^2$, $L=18,7 \text{ см}$, объем загрузки – 150 мл. Скорость пропускания растворов на обеих стадиях процесса – $0,4 \text{ ч}^{-1}$. Основные закономерности, наблюдаемые для исследуемого анионита, такие же, как для АВ-17. Примесные металлы образуют концентрационные пики перед выходом сорбционного фронта кислоты, при этом раньше всего выходят соединения калия, кальция и марганца, а позже всех – соединения железа и титана. Из сравнения выходных кривых можно также наблюдать, что в первом цикле пики суммы церия и неодима практически «лежат» на сорбционной кривой фосфорной кислоты, но, начиная со второго цикла, эти пики немного отделяются от фронта кислоты и опережают его.

При проведении серии экспериментов из 3-х циклов сорбции-десорбции с высокоосновным анионитом Пьюролайт А430 с диаметром зерен 90-150 мкм наблюдались технические трудности в организации правильных гидродинамических режимов на стеклянных лабораторных колонках. При использовании не зажатого слоя анионита он поднимался вместе с перерабатываемым раствором ЭФК, при зажатом слое резко поднималось противодавление потоку раствора. С этим связан вид выходных кривых для фосфорной кислоты в трех последовательных циклах, первый цикл удалось провести нормально, в следующих циклах из-за повышения давления и разгерметизации колонки наблюдались потери основного вещества. В то же время, из формы выходных кривых 1-го цикла видно, что тонкодисперсный анионит, по сравнению с зернистыми аналогами позволяет существенно поднять скорость потока (до $6,7 \text{ ч}^{-1}$) без кинетического размытия концентрационных профилей. Для объективного сравнения необходимы, однако, исследования для зернистых анионитов при сравнимых скоростях потоков, что и описано в следующем подразделе. Лабораторные эксперименты с тонкодисперсным анионитом Пьюролайт были приостановлены из-за технических трудностей, однако это не исключает возможностей его применения в специальных колонках.

Влияние скорости потока на выходные кривые

Изучение влияния скорости пропускания растворов через слой анионита на выходные кривые сорбции и десорбции фосфорной кислоты проводили на лабораторной колонке со слоем анионита с параметрами: $S = 8,02 \text{ см}^2$, $L=18,7 \text{ см}$, объем загрузки – 150 мл. Скорость пропускания растворов (общую для обеих стадий процессов) варьировали от $0,4$ до 6 колоночных объемов в час ($0,4 \text{ ч}^{-1}$ – $6,0 \text{ ч}^{-1}$). Полученные результаты представлены на Рис.12. Как видно из соответствующих выходных кривых, вплоть до скорости 2 ч^{-1} практически трудно заметить изменений в ширине (размытии) концентрационных фронтов. Следует полагать, что такое размытие, в особенности, на стадии десорбции фосфорной кислоты, может быть связано не только с кинетическими факторами, но и с причинами равновесного характера, например, большей селективностью анионита к фосфорной кислоте, что приводит к вогнутым изотермам конкурентной адсорбции воды с вытеснением кислоты. В случае равновесного размытия фронтов, использование слишком больших по высоте слоев анионита будет не рационально. В любом случае, из полученных данных следует, что в технологических процессах можно держать скорости пропускания растворов не менее 2 колоночных объемов в час.

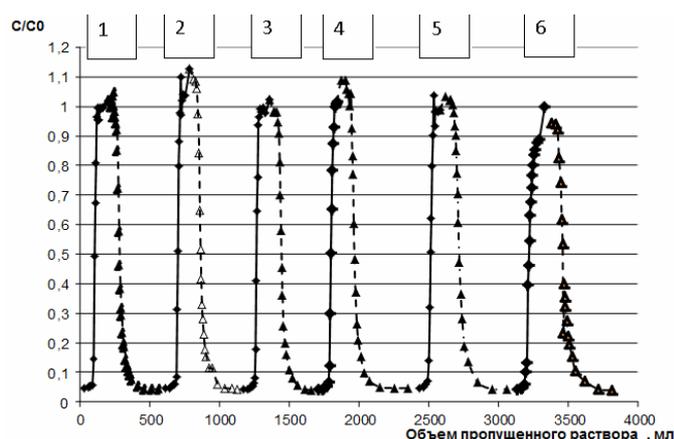


Рис. 12. Выходные кривые кислоты (H^+) LEWATIT Mono Plus M500.

В 1-ом (1), 2-ом (2), 3-ем (3) циклах, скорость пропуска 0.3-0.4 колоночных объема, в 4-ом цикле (4) – скорость пропуска 1 колоночный объем, в 5 –ом цикле (5) скорость пропуска 2 колоночных объема, 6-ом цикле (6) скорость пропуска 5 колоночных объемов в час. Сплошные линии – сорбция ЭФК, пунктирные линии – десорбция 0.435 н фосфорной кислотой

Состав твердых концентратов РЗЭ

Для оценки составов твердых концентратов использовали упрощенную методику. Образец жидкого концентрата РЗЭ (всего 100мл) был обработан аммиаком (14% раствором гидроксида аммония) до $pH=2.3$, нагрет до $80^{\circ}C$ для созревания осадка и отфильтрован после предварительного добавления нескольких миллиграммов нитрата калия. Осадок полученной смеси гидроксидов и оксидов металлов был высушен при $120^{\circ}C$. Всего было получено 2.55 г. Небольшую дозу, а именно, 100 мг осадка, растворяли в концентрированной азотной кислоте, доводили объем до 550 мл и анализировали методом эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой. К сожалению, ограничения по концентрации кислоты в образцах для анализа на инструментах ICP-ES приводят к необходимости высокой степени разбавления, что ограничивает ассортимент определяемых элементов. Тем не менее, приведенные в таблице данные дают представление о содержаниях основных элементов.

Таблица 3. Состав твердого концентрата

№ п/п	Элемент	мкг	мкг/г	%
1	Al	3505.33	35053.33	3.51
2	Ca	4578.75	45787.50	4.58
3	Ce	15620.00	156200.00	15.62
4	Co	0.73	7.34	0.000734
5	Fe	8442.50	84425.00	8.44
6	La	5285.50	52855.00	5.29
7	Mg	2117.50	21175.00	2.12
8	Mn	1487.75	14877.50	1.49
9	Mo	402.60	4026.00	0.40
10	Na	12485.00	124850.00	12.49
11	Nd	8470.00	84700.00	8.47
12	Sr	863.50	8635.00	0.86
13	Ti	7700.00	77000.00	7.70
14	Y	2986.50	29865.00	2.99
15	Zr	8.97	89.65	0.01
Сумма		73954.63	739546.32	73.95

Данные, представленные в таблице 3, в настоящее время уточняются и дополняются цифрами для других элементов группы РЗЭ с помощью масс-спектрометрического анализа. Тем не менее, можно утверждать, что предложенная методика разделения на «обедненные» и «обогащенные» фракции позволяет получать удобные для дальнейшей переработки высококонцентрированные по РЗЭ составы.

Заключение

Созданы основы нового процесса переработки экстракционной фосфорной кислоты на основе метода удерживания кислоты на анионитах. Отличительной особенностью процесса является использование слабокислых растворов на стадиях десорбции с вытеснением перенасыщенного раствора примесных компонентов на стадиях сорбции рабочих циклов.

Изучено влияние технологических параметров: скорости потока, типа анионита, диаметра зерен, продолжительности отдельных стадий на динамические характеристики процесса (выходные кривые сорбции и десорбции фосфорной кислоты и примесных компонентов).

На основании результатов проведенных исследований выбраны рациональные условия проведения процесса концентрирования и выделения РЗЭ с одновременной очисткой фосфорной кислоты.

Получены образцы твердых концентратов и определены их составы, уточнены основные режимы проведения технологического процесса.

Список литературы

1 Hatch M.J. and Dillon J.A. Industrial and Engineering Chemistry : Process Design and Development, 2 (4), 253, October 1963.

2 Brown C.J., Fletcher C.J. The Recoflo Short Bed Ion Exchange Process, in Ion Exchange for Industry/ed.M. Streat., Ellis Horwood Ltd., Chichester, England, 1979. pp. 392-403

3 Болотоков А.А., Кумахов М.А., Груздева А.Н., Хамизов Р.Х., Подгорная Е.Б. О возможности рентгенофлуоресцентного микроанализа растворов с предварительным концентрированием // Сорбционные и хроматографические процессы, 2011, Т. 11, Вып. 1, С. 88-99.

Власовских (Бастрыкина) Наталья Сергеевна - к.т.н., начальник технологического отдела, ООО «НьюКем Текнолоджи» Москва, 8(499)151-29-32

Хамизов Султан Хажсетович - генеральный директор ООО «НьюКем Текнолоджи», 8(499)151-29-32

Хамизов Руслан Хажсетович – Хамизов Руслан Хажсетович, д.х.н., зав. лабораторией сорбционных методов ГЕОХИ РАН, Москва

Крачак Анна Наумовна - к.х.н., заместитель заведующего лабораторией сорбционных методов ГЕОХИ РАН, Москва, 8(499)137-86-17

Vlasovskih Natalia S. - Ph.D, Head of technological Department LLC «NewChem Technology», Moscow, newchemtechnology@mail.ru

Khamizov Sultan Kh. - Chief Director, LLC «NewChem Technology», Moscow newchem@mail.ru

Khamizov Ruslan Kh. - Dr.Sci (Chem), head of the Laboratory of sorption methods, GEOkHI RAS, Moscow

Krachak Anna N. – Ph.D, Deputy head of the laboratory of sorption methods, GEOkHI RAS, Moscow, krachak@mail.ru

Груздева Александра Николаевна - к.х.н.,
научный сотрудник, ГЕОХИ РАН, Москва

Цикин Максим Николаевич - научный
сотрудник лаборатории технологии удобрений
ОАО «НИУИФ», Москва

Долгов Виктор Васильевич – к.т.н.,
заведующий лабораторией технологии
удобрений, ОАО «НИУИФ», Москва

Gruzdeva Aleksandra N. - Ph.D., Research
associate of the Laboratory of sorption methods,
GEOKHI RAS, Moscow, alexgruzdeva@yandex.ru

Tsikin Maksim N. - Research associate of the
Laboratory of fertilizer technology OJSC "NIUIF",
Moscow

Dolgov Victor V. -Ph. D. Head of the
Laboratory of fertilizer technology OJSC "NIUIF",
Moscow