

**Отзыв**  
**официального оппонента на диссертацию**  
**Сафиулиной Алфии Минеровны**

«Экстракция f-элементов олигодетантными фосфоорганическими соединениями»,

представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 2.6.8 – технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Изучение и внедрение в практику новых эффективных процессов выделения редких элементов, в том числе, лантанидов, актинидов и других ценных компонентов из природных и техногенных источников чрезвычайно важно для промышленного развития и обеспечения технологического суверенитета страны. Среди таких процессов особую роль играют экстракционные способы переработки минерального сырья. Именно поэтому представленная диссертация, посвященная изучению и развитию способов экстракции редких элементов из сложных смесей олигодетантными фосфоорганическими соединениями, является весьма актуальной.

Работа имеет большую теоретическую значимость. Она состоит в установленных автором закономерностях взаимодействия фосфоорганических экстрагентов с f-элементами, обнаруженных взаимосвязях между химическим составом и строением лигандов и их экстракционными свойствами по отношению к различным комплексообразующим металлам. Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что автором выявлены условия эффективного экстракционного извлечения и разделения ценных компонентов при использовании олигодетантных экстрагентов классов фосфорилмочевин, фосфорилкетонов и фосфорилированных кислотных подандов. Разработаны рациональные условия использования ряда экстрагентов, в частности, бинарной смеси кислотного фосфорилподанда и четвертичной аммониевой

соли для извлечения урана, тория, циркония, гафния, скандия и титана из растворов вскрытия эвдиалитового концентрата с получением концентрата РЗЭ. Полученные результаты могут быть использованы для создания новой промышленной технологии кондиционирования отходов при производстве редких и редкоземельных металлов из природного и техногенного сырья. Результаты, изложенные в диссертации, могут быть использованы на профильных предприятиях химической промышленности, в институтах, занимающихся разделением и выделением редких металлов из различных сред, в том числе, ГЕОХИ РАН, ИОНХ РАН, АО «ГИРЕДМЕТ», они могут быть полезны в исследованиях и в лекционных курсах, читаемых в вузах, в том числе, в РХТУ им. Д.И. Менделеева, на кафедре химической технологии МГУ им. М.В. Ломоносова, в Московском технологическом университете (МИТХТ) и РТУ МИРЭА.

Диссертация А.М. Сафиулиной изложена на 350 страницах текста, состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 305 ссылок.

Во введении к диссертации обосновывается актуальность темы и формулируются цели и задачи, решаемые в диссертационном исследовании.

Первая глава посвящена изучению взаимосвязи между структурой и экстракционными свойствами фосфорилмочевины и фосфоразотистых лигандов. Для этого автор проводит квантово-химическое моделирование способности различных структур к экстракции 4f- и 5f-элементов. Большой интерес вызывают представленные автором результаты изучения экстракции европия  $^{154,155}\text{Eu}$  из многокомпонентного азотнокислого раствора фосфорилмочевинной в хлороформе, а также схема группового экстракционного фракционирования элементов.

Вторая глава посвящена изучению экстракционных свойств фосфорилкетонов. Автором исследовано влияние количеств функциональных фосфорильных и карбонильных групп в структуре органических лигандов на их комплексообразующую способность. Изучено также влияние природы заместителей и структуры фосфорилкетонов, содержащих гибкие и жесткие структурные фрагменты, на комплексообразующую способность по отношению к лантанидам и актинидам. Показано, что введение гибких алкильных радикалов в структуру фосфорилкетонов способствует улучшению их экстракционных характеристик. Большой интерес вызывает смоделированный автором противоточный экстракционный каскад для количественного извлечения циркония из раствора вскрытия эвдиалита.

В третьей главе рассмотрены фосфорилподанты, обладающие селективностью по отношению к актинидам. Предложены структуры

высокоэффективных экстрагентов из класса кислотных фосфорилподантов, позволяющие проводить селективное выделение лантанидов и актинидов на фоне ионов других металлов при их избыточном содержании в растворах. Сопоставление экстракционной способности исследованных соединений с коммерчески доступными фосфоорганическими экстрагентами показало явное преимущество первых.

В целом изученные и выявленные автором закономерности представляют собой основу для целенаправленного поиска и разработки экстрагентов для создания новых высокоэффективных процессов для выделения редких металлов.

Достоверность результатов диссертации не вызывает сомнения. Она обеспечивается тщательностью проведения экспериментальных исследований, подробным анализом полученных результатов и их сопоставлением с результатами, полученными в других работах.

Автореферат диссертации Сафиулиной А.М. полностью отражает содержание диссертации. Защищаемые положения диссертанта сформулированы вполне конкретно и убедительно подтверждаются результатами проведенных исследований.

К работе имеются некоторые замечания.

1. Имело бы смысл и было бы полезным для людей, не являющихся узкими специалистами в области экстракции, дать пояснения к термину «олигодентантные соединения» и объяснить, чем такие соединения отличаются от более известных полидентантных комплексообразователей.
2. Немного усложняет восприятие работы то, что автор использует в общей части диссертации, например, для обоснования ее актуальности сведения о механизмах комплексобразования, которые могли бы стать известными автору после проведения запланированных исследований.
3. Было бы полезно привести в работе сведения об устойчивости используемых фосфоорганических соединений и их комплексов с актинидами к радиоактивному излучению комплексообразующих металлов.

По своему содержанию диссертационная работа Сафиулиной Алфии Минеровны соответствует паспорту научной специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части направлений исследований «8 – Конверсия достижений технологии редких металлов и

ядерной технологии, использование опыта эксплуатации типичных для данной отрасли промышленности процессов (сорбция, экстракция, плазменные, пламенные процессы и т.п.) для создания малоотходных, ресурсосберегающих технологических схем других отраслей промышленности».

Диссертация Сафиулиной Алфии Минеровны представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические и практические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области технологий редких элементов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор, Сафиулина Алфия Минеровна, заслуживает присуждения ей учёной степени доктора химических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Официальный оппонент

Доктор химических наук


член-корреспондент РАН

Директор Института геохимии и  
аналитической химии им.  
В.И.Вернадского Российской  
академии наук (ГЕОХИ РАН)

  
Руслан Хажсетович Хамизов

Контактные данные оппонента:  
119991, Москва, ул. Косыгина, 19, ГЕОХИ РАН  
Тел. +7(916)530-69-68, моб.  
+ 7 (499) 137-14-84, раб.  
E-mail: [director@geokhi.ru](mailto:director@geokhi.ru); [khamiz@mail.ru](mailto:khamiz@mail.ru)

Подпись  
удостовер  
Де лап/ру

  
Руслан Хажсетович  
Хамизов И. В.  
ГЕОХИ РАН

16.09.2024