

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И МИНЕРАЛЬНОГО
СЫРЬЯ им. И.В.Тананаева
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА №6
Заседания Ученого совета института**

От 6.06.2017

Присутствовали члены Ученого совета:

зам. директора ИХТРЭМС КНЦ РАН, к.т.н. Громов П.Б., ученый секретарь ИХТРЭМС КНЦ РАН, к.т.н. Васильева Т.Н., зам. директора института, чл.-корр. РАН Николаев А.И., д.т.н. Герасимова Л.Г., д.т.н. Гришин Н.Н., к.х.н. Домонов Д.П., д.т.н. Иваненко В.И., д.х.н. Калинин А.М., к.х.н. Касиков А.Г., д.т.н. Колосов В.Н., к.х.н. Кузьмич Ю.В., д.т.н. Маслова М.В., д.т.н. Матвеев В.А., д.т.н. Орлов В.М., д.т.н. Палатников М.Н., д.х.н. Печенюк С.И., к.х.н. Семушин В.В., д.ф.-м.н. Сидоров Н.В., к.т.н. Скиба Г.С., к.т.н. Суворова О.В.

СЛУШАЛИ: Рассмотрение диссертационной работы Яничевой Наталии Юрьевны «Синтез и применение титаносиликатных сорбентов группы иванюкита для очистки жидких радиоактивных отходов», представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ.

Докл. Яничева Н.Ю.

Рецензенты: д.т.н. Иваненко В.И., д.т.н. Маслова М.В.

В обсуждении диссертационной работы приняли участие: чл.-корр., д.т.н. Николаев А.И., к.т.н. Громов П.Б., д.т.н. Иваненко В.И., к.х.н. Кузьмич Ю.В., д.т.н. Маслова М.В., д.т.н. Матвеев В.А., д.т.н. Палатников М.Н., д.х.н. Печенюк С.И., к.т.н. Скиба Г.С.

В ходе обсуждения были заданы следующие вопросы:

д.х.н. Печенюк С.И.:

Скажите, пожалуйста, какова была степень извлечения катионов при исследовании кинетики сорбции?

Яничева Н.Ю.:

Степень извлечения цезия в данном эксперименте составляла 60%, степень извлечения стронция – 90%.

д.х.н. Печенюк С.И.:

Концентрации катионов в данном эксперименте достаточно высокие. Скажите, что будет с кинетикой, если концентрации будут на порядок ниже?

Яничева Н.Ю.:

На низких концентрациях мы не проводили экспериментов, но могу предположить, что сорбция пройдет быстрее. В то же время необходимо учесть, что при таких условиях эксперимента наличие протонов в системе может оказать влияние на скорость сорбции.

д.т.н. Палатников М.Н.:

Скажите, вы проводили исследования сорбционных свойств SIV только в отношении цезия и стронция? Содержатся ли помимо цезия и стронция в ЖРО другие катионы?

Яничева Н.Ю.:

Да, мы проводили исследования свойств SIV только в отношении цезия и стронция. В ЖРО, действительно, содержатся и другие радионуклиды, к примеру,

кобальт. В данной работе мы оценивали только сорбционную способность SIV к различным катионами. Селективность по отношению к катионам мы не оценивали. Так, наши эксперименты показали, что он обладает достаточно высокой емкостью по отношению к кобальту. Можно предположить, что в сложных ЖРО SIV будет выступать не селективным сорбентом, а комплексным.

к.т.н. Громов П.Б.:

На сколько в ваших экспериментах снизилась активность радионуклидов в растворах? Какая активность осталась? Какая активность цезия и стронция оказалась в осадках?

Яничева Н.Ю.:

Исходная активность цезия и стронция в растворах составляла 1.1×10^6 и 8.5×10^4 Бк/л, соответственно. Очистка ЖРО осуществлялась при помощи SIV в 2 этапа. После первого этапа активность раствора составила 1.5×10^5 Бк/л по цезию, суммарная бета-активность - 1.6×10^5 Бк/л. Активность осадка - 8.9×10^7 и 9.3×10^7 Бк/кг, соответственно. После второго этапа остаточная гамма-активность по ^{137}Cs оказалась ниже предела обнаружения прибора, остаточная бета-активность по ^{90}Sr - 3 Бк/л, что соответствует уровню неактивных отходов. Активность осадка составила 2.6×10^7 Бк/кг (гамма-активность), 4.5×10^7 Бк/кг (суммарная бета-активность).

к.т.н. Скиба Г.С.:

Можно ли сравнить по экономической эффективности клиноптилолит и синтетический иванюкит? По сорбции видно, что клиноптилолит отличается от иванюкита на порядки, а по стоимости можно оценить?

Яничева Н.Ю.:

Да, стоимость сорбента клиноптилолита оказывается намного ниже стоимости SIV, приблизительно в 10 раз, если оценивать по себестоимости SIV, без учета затрат электроэнергии, рабочей силы и др. на синтез SIV. Т.е. скорее всего SIV окажется еще дороже, может, на порядок. Однако здесь стоит учесть, что клиноптилолит обладает слабыми сорбционными и термическими свойствами и требует дальнейшего его остекловывания, что в конечном итоге приводит к затратам на перезахоронение отходов. Да и сам процесс остекловывания является дорогим (температура остекловывания обычно составляет 1050 – 1200°C, в то время как отработанный SIV переходит в керамику при 650 – 900°C). В целом, такая многостадийная небезопасная технология (ведь стекла имеют ограниченную способность образовывать химические соединения с ЖРО, очень сильно подвержены выщелачиванию, термически и химически неустойчивы и т.д.) окажется намного дороже технологии, которую предлагаем мы – технологию прямой одностадийной переработки ЖРО: сорбент – отработанный сорбент – его прокалка – готовая керамика для захоронения. Предлагаемая нами технология не требует перезахоронения ЖРО, поскольку керамика устойчива к воздействию кислот и щелочей, термически устойчива и стабильна.

к.т.н. Скиба Г.С.:

Сколько из автоклава объемом 7 л получается SIV?

Яничева Н.Ю.:

На данный момент мы можем получать разные продукты по качеству для разных целей. Так, выход SIV в смеси с другими фазами составляет 200-250 г. Стоит заметить, что данный полифазный продукт, также как и монофазный, подходит для извлечения радионуклидов из ЖРО и последующего термического преобразования в керамику. Выход монофазного SIV-C составляет 50 г. Выход монофазного SIV-T – 150 г.

к.т.н. Скиба Г.С.:

Скажите, для получения Nb-модификаций SIV, какое сырье будет выступать в качестве источника ниобия? И насколько такое модифицирование повысит стоимость продукта?

Яничева Н.Ю.:

В качестве источника ниобия может быть использовано наше местное сырье. Это пентахлорид ниобия, получаемый на ОАО «СМЗ» одновременно с тетрахлоридом титана. В данной работе был использован пентаоксид ниобия Nb₂O₅, полученный при переработке лопаритового концентрата по сернокислотной технологии на АО Силмет. Также потенциальным источником ниобия может выступать Nb₂O₅, выделенный из пироклорового или перовскитового концентратов. Поскольку модифицированный продукт содержит всего 2.5 % Nb, то стоимость SIV увеличится незначительно. Точную цифру сложно назвать, поскольку расчет стоимости модифицированного продукта не производился.

к.х.н. Кузьмич Ю.В.:

От внешних факторов ваша керамика защищена. А устойчива ли она к внутренним воздействиям? Самооблучению? Особенно при такой большой загрузке радионуклидами?

Яничева Н.Ю.:

Получаемые нами керамики устойчивы как к внешним, так и внутренним воздействиям. Наши эксперименты на базе Курчатовского университета показали, что степень выщелачивания радионуклидов составляет 10⁻⁷ г/см²·сут. А вид керамики, полученной при проведении экспериментов в Гремехе, после 2х лет остался прежним. Исследование свойств керамики проводится в настоящее время и, в скором времени, я смогу ответить более точно на данный вопрос.

д.т.н. Иваненко В.И.:

Скажите, пожалуйста, а при какой температуре вы создаете керамику?

Яничева Н.Ю.:

В экспериментах с реальными радиоактивными отходами температура прокаливания отработанного SIV составляла 1000 °С в течение 2 часов.

д.т.н. Иваненко В.И.:

С какой точностью определялась активность?

Яничева Н.Ю.:

Если смотреть по стандартным характеристикам прибора, то отклонения ±10%. Однако прибор старый и уже сам радиоактивный, поэтому погрешность измерения может быть и больше.

д.т.н. Иваненко В.И.:

Какие приборы использовались для измерения активности?

Яничева Н.Ю.:

Использовался измерительный комплекс УИМ2-2Д с подключенными к нему блоками детектирования: блоком для контроля по гамма-излучению и блоком для контроля бета-загрязненности.

к.т.н. Громов П.Б.:

Участвовали ли Вы при проведении экспериментов с реальными ЖРО?

Яничева Н.Ю.:

Я принимала участие в наработке образцов для испытаний, их гидротермальном синтезе. Проведение предварительных исследований сорбционных свойств SIV на модельных растворах. Однако допуска к работе с радиоактивными реальными растворами мы не имеем. Также принимала непосредственное участие в составление методики проведения испытаний, написании регламента.

д.т.н. Матвеев В.А.

Вы говорите про сокращение времени синтеза в 10 раз. По сравнению с чем?

Яничева Н.Ю.:

Ранее сотрудниками ЦНМ КНЦ РАН с использованием в качестве источника титана, сульфаттитанил аммония, были получены образцы SIV в течение 11 суток. В данной работе с использованием тетрахлорида титана сначала получен SIV за 3 суток, а далее удалось сократить время его синтеза до 11 часов.

д.т.н. Матвеев В.А.

В качестве источника титана может быть использован только тетрахлорид титана?

Яничева Н.Ю.:

Нет, для синтеза SIV в качестве источника титана может быть использована любая его соль. И трихлорид титана, и сульфаттитаниламмония, и другие соли.

д.т.н. Матвеев В.А.

Почему в ваших исследованиях был использован только тетрахлорид титана?

Яничева Н.Ю.:

В данной работе было очень важно получить за короткое время монофазные SIV со стехиометричным отношением титана к кремнию (полных аналогов минералов всей группы иванюкита) для точного исследования свойств синтетического материала. Как показали наши эксперименты, монофаза SIV формируется за 11 часов только при использовании водорастворимых пероксокомплексов титана, полученных прямой реакцией между тетрахлоридом титана и пероксидом водорода в кислой среде. Добавление пероксида водорода приводит к повышению устойчивости растворов титана.

д.х.н. Печенюк С.И.:

Скажите, знаете ли Вы составы реальных ЖРО?

Яничева Н.Ю.:

К сожалению, нет. Солесодержание и состав растворов мы не знаем. Знаем только их активность.

к.т.н. Громов П.Б.:

Скажите, почему в качестве источника кремния Вами был использован именно аморфный кремнезем?

Яничева Н.Ю.:

Первоначально для синтеза SIV мы использовали в качестве источника кремния металисиликат натрия. Таким образом, при получении Nb-модификаций сначала была использована система, содержащая натрий. Однако из такой системы нам не удалось получить монофазу SIV:Nb со сравнительно высоким содержанием ниобия из-за формирования более стабильных ниобо-титаносиликатов и ниобатов натрия. В связи с этим, на следующем этапе синтез SIV:Nb необходимо было провести в безнатриевой системе. Для этого необходимо было найти источник кремния, не содержащий натрия. В итоге был выбран аморфный кремнезем с высокоразвитой поверхностью. Данный источник кремния хорошо растворяется в гидроксиде калия, что, в конечном итоге, после смешения с титаносодержащим раствором приводит к получению титанокремниевых растворов, из которых при гидротермальной обработке формируется SIV:Nb с содержанием Nb до 10%.

1. ПОСТАНОВИЛИ:

Заслушав и обсудив диссертационную работу Яничевой Наталии Юрьевны «Синтез и применение титаносиликатных сорбентов группы иванюкита для очистки жидких радиоактивных отходов» принять следующее заключение:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Актуальность работы

Накопление радиоактивных отходов (РАО) на предприятиях атомной энергетики и ВПК – глобальная проблема цивилизации, чреватая катастрофами регионального и общечеловеческого масштаба. Применяемые во всех странах методы иммобилизации радионуклидов посредством битумирования, цементирования или остекловывания жидких радиоактивных отходов (ЖРО) являются временной мерой, не гарантирующей надёжной фиксации радионуклидов в составе соответствующих матриц. Наиболее безопасными для возможного природного воздействия являются минералоподобные керамические матрицы, состоящие из химически и механически устойчивых фаз,

способных долгое время (сотни–тысячи лет) хранить в себе достаточно большое количество радионуклидов без существенного изменения их кристаллической структуры в результате самооблучения. До недавнего времени наиболее перспективной представлялась технология иммобилизации радионуклидов в составе минералоподобной керамики Синрок (**synthetic rock**) Австралийской организации по ядерным исследованиям и технологиям ANSTO, для получения которой ЖРО после концентрирования смешивают с титанатной шихтой и прокаливают при температурах порядка 1000–1500°C. Типичная Синрок-керамика состоит из цирконолита, перовскита, голландита и различных сплавов. Однако эта сложная и энергозатратная технология так и не получила широкого применения, поэтому разработка новых более эффективных и дешёвых технологий сорбции радионуклидов из ЖРО и их дальнейшей иммобилизации в составе устойчивых минералоподобных матриц является актуальной задачей.

Открытие в Хибинском массиве природных титаносиликатов группы иванюкита, обладающих ионообменными свойствами в отношении одно–трёхвалентных катионов металлов и способных образовывать титанатную керамику Синрок-типа при нагревании свыше 700 °С, создали предпосылки для решения обозначенной актуальной проблемы на базе сырья и отходов горнодобывающих предприятий Мурманской области и определили цель и основные задачи данной работы.

Цель работы – разработка эффективных технологий гидротермального синтеза иванюкита (SIV – Synthetic IVanyukite) и его модификаций из доступного сырья и отходов кольских горнодобывающих предприятий, изучение сорбционных свойств полученных продуктов по отношению к ЖРО различного состава, а также определение оптимальных условий перевода образовавшихся радиоактивных осадков в титанатную керамику.

Задачи работы:

- изучение кристаллической структуры иванюкита-Na-T, иванюкита-K и его Cs-обменной формы с целью оптимизации процесса гидротермального синтеза и создания новых модификаций SIV (-Cs, -Cu, -Nb и т.д.) для решения конкретных задач;
- разработка принципиальной схемы гидротермального синтеза монофазного SIV из местного минерального сырья и отходов горнорудного производства;
- изучение структурной устойчивости и сорбционных свойств SIV в кислых, нейтральных и щелочных растворах различных солей и концентрации;
- изучение процесса и продуктов отжига отработанных форм SIV, оценка потерь катионов при переходе SIV в титанатную керамику Синрок-типа и подбор оптимального температурного режима отжига;
- проведение экспериментов по сорбции радионуклидов из модельных растворов и реальных ЖРО на SIV, а также по переводу образовавшихся осадков в титанатную керамику.

Научная новизна работы включает:

- уточнение кристаллической структуры иванюкита-Na-T, решение кристаллической структуры иванюкита-K и иванюкита-Cs, подтверждение идентичности кристаллических структур иванюкита-Na и SIV, а также соответствующих обменных форм методом Ритвельда;
- определение оптимальных условий кристаллизации SIV в гидротермальных системах различного состава;
- определение механизма протекания сорбции на SIV и кинетики обменных реакций между SIV и водными растворами различных солей, а также изучение влияния макропримесей на сорбцию цезия и стронция на SIV;
- определение предела термической устойчивости SIV и его модификаций, а также кинетики титанатного минералообразования при прокаливании SIV-Cs, SIV-Sr, SIV-CsSr и SIV-CsSr+LT-CsSr.

Практическая значимость работы определяется:

- разработкой новых схем гидротермального синтеза SIV из композиций на основе продуктов хлорной переработки лопарита, позволивших сократить температуру процесса с 230 до 160°C, а его длительность с 3 суток до 11 часов, без ухудшения сорбционных характеристик продукта;
- обоснованием и экспериментальным подтверждением возможности использования остаточного Na-K-Si-раствора в обороте;
- определением условий и кинетики сорбции Cs⁺ и Sr²⁺ из модельных и реальных ЖРО различного состава на SIV;
- экспериментальным подтверждением высокого значения K_d ¹³⁷Cs на SIV, сопоставимого со значениями, полученными на ферроцианидных сорбентах, и K_d ⁹⁰Sr в присутствии ионов кальция, превышающего аналогичную величину для всех испытанных сорбентов;
- получением Nb-содержащего SIV, ещё более устойчивого в кислых и щелочных средах;
- определением условий перевода SIV-(Cs,Sr) в устойчивую титанатную керамику (рутил, таусонит, титанаты со структурой пирохлора, лейцита и голландита) с сокращением объёма РАО на 2-3 порядка в зависимости от активности ЖРО.

Достоверность результатов работы

Достоверность основных научных результатов подтверждена сходимостью результатов параллельных опытов по синтезу, сорбции и отжигу, сопоставимостью полученных результатов для природных и синтетических аналогов, а также с данными других авторов по аналогичным сорбентам; использованием современных подходов к изучению кристаллических соединений и общепризнанно высокой квалификацией специалистов в области минералогии, химической технологии, материаловедения, кристаллохимии и радиохимии, участвовавших в получении и интерпретации результатов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. В ходе катионного обмена между тригональным иванюкитом-Na-T и водным раствором CsCl сначала происходит удаление части натрия из каналов титаносиликатного каркаса с перемещением катионов калия в центральную позицию, частичным протонированием титаноокислородных кластеров и переходом соединения в кубическую модификацию, а затем обмен катионов калия на катионы цезия, – уже без изменения позиции катиона щелочного металла и симметрии титаносиликатного каркаса.

2. Гидротермальный синтез монофазных SIV из композиций на основе титаносодержащих продуктов хлорной переработки ловозёрского лопарита и кремнеземных техногенных отходов комбината «Печенганикель» осуществим при T≥160°C в течение 11 и более часов, с возможным использованием остаточного Na-K-Si-раствора в обороте. Замена в исходной композиции натрия на калий, обоих этих катионов на цезий или части титана на ниобий позволяет получить соответственно калиевый, цезиевый, и Nb-Ti аналоги SIV.

3. Сорбция Cs⁺ и Sr²⁺ на SIV из растворов различного катионного состава происходит в широком диапазоне pH за 2–10 минут, что позволяет использовать данный сорбент в технологии селективного извлечения ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr из ЖРО и кубовых остатков ВВЭР и РБМК-типов. Замена части титана в структуре SIV ниобием повышает устойчивость сорбента в кислых и сильнощелочных средах. Другие обменные формы SIV включают H-, K-, Ca-, Mg-, Ba-, Co-, Ni-, Cu-, Zn-, La-, Ce-, Eu-содержащие модификации.

4. Переход SIV-(Cs,Sr) в устойчивую титанатную керамику, состоящую из рутила, таусонита и сложных титанатов со структурой пирохлора, голландита и лейцита, происходит в температурном интервале 600–900 °C, что позволяет использовать SIV в технологии прямой переработки ЖРО в титанатную керамику Синрок-типа с сокращением объёма отходов в 250 раз.

Личный вклад автора состоял в подготовке аналитического обзора литературных данных, определении условий синтеза SIV и его модификаций, самом синтезе,

планировании и проведении ионообменных экспериментов, интерпретации и обобщении полученных данных, специализированной подготовке образцов для всех проведённых исследований и участия в самих этих исследованиях, написании статей и заявок на патенты, подготовке докладов конференций.

Апробация работы

Результаты исследований были представлены на Всероссийской конференции «Полифункциональные химические материалы и технологии» (Томск, 2013), ежегодных научно-технических конференциях «Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий» (Апатиты, 2014, 2015, 2016, 2017), XII Всероссийской Ферсмановской научной сессии Кольского отделения РАО (Апатиты, 2015), IX Российском семинаре «Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений» (Магнитогорск, 2014), международной научной конференции «Полифункциональные химические материалы и технологии» (Томск, 2015), 7-ой Всероссийской цеолитной конференции имени К. И. Замараева «Цеолиты и мезопористые материалы: достижения и перспективы» (Звенигород, 2015), Международном симпозиуме «Химия для биологии, медицины, экологии и сельского хозяйства» ISCHEM (Санкт-Петербург, 2015), выставке «II Дни инноваций Мурманской области» (Мурманск, 2015), 8-ой интернациональной выставке-конференции «АтомЭко-2015» (Москва, 2015), Всероссийской научной конференции «Неорганическая химия – фундаментальная основа в материаловедении керамических, стеклообразных и композиционных материалов» (Санкт-Петербург, 2016), XV Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Современные исследования в геологии» (Санкт-Петербург, 2016), Стартап туре «StartUp Tour» (Калининград, 2016), VI Международной конференции «Ядерные технологии XXI века» (Минск, 2016), XX Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (Екатеринбург, 2016) и Первом Российском кристаллографическом конгрессе (Москва, 2016).

Публикации

Результаты проведённых исследований представлены в 3 статьях в отечественных журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных положений кандидатских и докторских диссертаций, 1 статье в международном журнале, индексируемом WoS, 1 патенте РФ и 14 статьях в прочих отечественных журналах, сборниках трудов и материалах совещаний.

Структура и объем работы

Диссертационная работа (163 стр.) состоит из введения, семи глав, заключения, списка цитируемой литературы и 3 приложений, содержит 45 таблиц, 62 рисунка и 167 источников. В *главе 1* приведен аналитический обзор, включающий краткую характеристику титаносиликатов фармакосидеритового типа (ТСФТ) и их синтетических аналогов, данные по составам, типам и методам переработки ЖРО и окончательной иммобилизации радионуклидов. В *главе 2* описаны объекты и методы исследования. В *главе 3* представлены результаты монокристалльного исследования кристаллической структуры минералов группы иванюкита (иванюкита-Na-T, иванюкита-K и его Cs-замещенной формы) и охарактеризованы особенности процесса ионного обмена в титаносиликатах группы иванюкита. В *главе 4* приведены результаты исследований по синтезу и модифицированию SIV. *Глава 5* посвящена разработке технологии синтеза SIV и его модификаций. В *главе 6* приведены результаты исследования ионообменных свойств SIV и его модификаций. В *главе 7* представлены результаты изучения процесса преобразования SIV и его Cs-, Sr-, и Cs-Sr-форм в минералоподобную титанатную керамику Синрок-типа, а также результаты эксперимента по переводу реальных ЖРО водо-водяных реакторов ядерных подводных лодок (ВВР ЯПЛ) в титанатную керамику при помощи SIV.

Публикации по теме диссертации:

Статьи в журналах из списка ВАК

1. Бритвин С.Н., Герасимова Л.Г., Иванюк Г.Ю., Калашникова Г.О., Кржижановская М.Г., Кривовичев С.В., Марарица В.Ф., Николаев А.И., Огинова О.А., Пантелеев В.Н., Хандобин В.А., Яковенчук В.Н., **Яничева Н.Ю.** Применение титаносодержащих сорбентов для очистки жидких радиоактивных отходов с последующей консервацией радионуклидов в титанатных керамиках типа SYNROC // Химическая технология. 2015. № 4. С. 229–238.
Britvin S.N., Gerasimova L.G., Ivanyuk G.Yu., Kalashnikova G.O., Krzhizhanovskaya M.G., Krivovivhev S.V., Mararitsa V.F., Nikolaev A.I., Oginova O.A., Panteleev V.N., Khandobin V.A., Yakovenchuk V.N., **Yanicheva N.Yu.** Application of titanium-containing sorbents for treating liquid radioactive waste with the subsequent conservation of radionuclides in Synroc titanate ceramics // Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2016. V. 50. № 4. P. 599–607.
2. Милютин В.В., Некрасова Н.А., **Яничева Н.Ю.**, Калашникова Г.О., Ганичева Я.Ю. Сорбция радионуклидов цезия и стронция на кристаллических титаносиликатах щелочных металлов // Радиохимия. 2017. Т. 59. №1. С. 59–62.
Milyutin V.V., Nekrasova N.A., **Yanicheva N.Yu.**, Kalashnikova G.O., Ganicheva Ya.Yu. Sorption of cesium and strontium radionuclides onto crystalline alkali metal titanosilicates // Radiochemistry, 2017. V. 59. №. 1. P. 65–69.

Патенты

1. Пат. 2568699 РФ, МПК В01J 20/02, С01В 33/20 (2006.01). Способ получения натрийсодержащего титаносиликата / Герасимова Л. Г., Николаев А. И., Щукина Е. С., Маслова М. В., **Яничева Н. Ю.**, Калашникова Г. О., Петров В. Б., Бычяня Ю. Г.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья Кол. науч. центра РАН. - № 2014126038/05; заявл. 26.06.14; опубл. 20.11.2015. Бюл. № 32.
2. 3-ка № 2016121043 РФ, МПК С01G 23/00, С01В 33/32, С30В 29/34, В01J 20/10, 20/02, 20/30 (2006.01). Способ получения модифицированного титаносиликата фармакоксидеритового типа / **Яничева Н.Ю.**, Ганичева Я.Ю., Касиков А.Г., Яковенчук В.Н., Николаев А.И., Калашникова Г.О., Иванюк Г.Ю.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья Кол. науч. центра РАН. - № 2016121043/05; заявл. 27.05.16. (5/16), реш. О выдаче 1.06.17.

Статьи в других журналах, сборниках трудов и материалах конференций

1. **Яничева Н.Ю.**, Калашникова Г.О. Синтетический иванюкит – перспективный ионообменный материал // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17. № 1. С. 106–111.
2. Бритвин С.Н., Иванюк Г.Ю., Калашникова Г.О., Марарица В.Ф., Николаев А.И., Огинова О.А., Пантелеев В.Н., Хандобин В.А., Яковенчук В.Н., **Яничева Н.Ю.** Очистка жидких радиоактивных отходов при помощи ЛНТ-9 и иванюкита с последующей консервацией радионуклидов в титанатных керамиках Синрок-типа // VI Международная конференция «Ядерные технологии XXI века»: доклады, г. Минск 25–27 октября 2016 г. Минск: Изд. «Право и экономика», 2016. С. 200–209.
3. Ганичева Я.Ю., Калашникова Г.О., **Яничева Н.Ю.** Перспективы использования титанового сырья Кольского полуострова для синтеза микропористых титаносиликатов // Матер. XIX Межрег. научно-техн. конф. «Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий», г. Апатиты, 15–17 апреля 2015 г. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2015. С. 21–24.
4. Калашникова Г.О., **Яничева Н.Ю.** Новые функциональные материалы на основе синтетических аналогов иванюкита и кукисвумита // Вестник КНЦ РАН. 2014. № 4. С. 66–75.

