

УДК 661.879:541.183

СОРБЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ВОДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ**Т.Н.Агаев, З.А.Мансимов***Институт радиационных проблем Национальной АН Азербайджана
AZ 1143 Баку, ул.Ф.Агаева, 9. E-mail:nukl@box.az*

В настоящем обзоре обобщены данные, опубликованные за последние 10-15 лет по использованию различных типов традиционных сорбционных материалов для извлечения радионуклидов из водных систем, а также по разработке новых сорбционных материалов на основе природных цеолитов.

Ключевые слова : *γ-излучение, радионуклиды, силикаты(уранил, радий), сорбенты.*

Разработка эффективных сорбционных материалов для извлечения радионуклидов из водных растворов актуальна в связи с важностью радиоэкологических проблем, вызванных накоплением и распространением радиоактивных загрязнений в окружающей среде [1-4]. В результате проводившихся экспериментальных ядерных взрывов в атмосфере, многолетней работы атомных станций и переработки радиоактивных материалов, а также вследствие техногенных катастроф содержание радионуклидов в окружающей среде, в том числе в водных бассейнах, увеличилось. Особо токсичными являются долгоживущие актиниды (плутоний, америций, нептуний, технеций), а также стронций-90 и цезий-137, образующиеся в радиохимических процессах. Распространению радионуклидов в природных водных средах способствует их высокая миграционная способность (стронций, цезий, уран, радий, нептуний, технеций) [5-6].

Для извлечения радионуклидов из водных растворов широко применяются различные сорбционные материалы: природные и синтетические ионообменники, комплексообразующие, модифицированные, композиционные и другие сорбенты [7-9]. Эффективность извлечения радионуклидов зависит от селективности сорбентов в присутствии неорганических и органических компонентов, содержащихся в водных системах. В работе [10] изучены закономерности селективной сорбции урана из водных растворов, сорбентами с

новыми функциональными группами, синтезированными на основе целлюлозы. Целлюлоза подверглась воздействию PCl_3 в присутствии молекулярного кислорода в среде CCl_4 . Полученные образцы модификата далее были обработаны трибутилфосфатом, арсеназо III, триоктилфосфин-оксидом, ортофосфорной кислотой, ЭДТА и 4-аминоантипирином в среде $CHCl_3$. Помимо этого, изучена закономерность сорбции уранил-ионов в модельных и реальных пластовых водах фосфорсодержащими сорбентами.

В последнее время для переработки жидких радиоактивных отходов и для очистки различных типов загрязненных вод все большее применение находят неорганические сорбенты, имеющие определенные преимущества перед синтетическими органическими ионообменниками [11]. Неорганические сорбционные материалы обладают высокой химической и радиационной устойчивостью и проявляют селективность к некоторым радионуклидам при их сорбции из водных сред. Например, высокой селективностью по отношению к цезию обладают природные сорбционные материалы на основе цеолитов [12] и ферроцианиды тяжелых металлов [13]. Для избирательного концентрирования радионуклидов из нейтральных природных вод применяются также комплексообразующие сорбенты с фосфорнокислыми, амидоксимными, гидроксамовыми, иминодиацетатными и другими группами, способные связывать

радионуклиды в соответствующие комплексные соединения и эффективно выделять их из природных вод с высоким содержанием солей и в присутствии природных лигандов [9]. Повышенную селективность по отношению к урану и радию проявляют сорбенты на основе различных природных материалов, в частности хитина и хитозина, содержащие ацетамидные, карбоксильные, фенольные и аминогруппы [14-16] и фосфорилированные фитосорбенты [17-18].

Селективные свойства сорбционных материалов в значительной мере определяются природой матрицы сорбента и его функциональных групп. Большое значение для сорбционного извлечения имеет также состояние радионуклидов в водной среде, а также природа и концентрация солей других элементов. Известно, что радионуклиды урана, радия, плутония и нептуния в природных водных средах находятся в гидратированных ионных и коллоидных формах, а также в виде комплексных соединений с неорганическими ионами и гуминовыми кислотами [19]. Поэтому для извлечения радионуклидов предпочтительно использовать сорбционные материалы, способные избирательно сорбировать радионуклиды из водных сред сложного состава.

Помимо селективности сорбционные материалы должны обеспечивать высокую скорость извлечения веществ. Кинетические характеристики определяются природой сорбционного материала и формой его использования (гранулированная, мелкодисперсная, волокнистая и т. п.). В последнее время все больше используются сорбенты волокнистой структуры, обладающие лучшими кинетическими свойствами по сравнению с традиционными гранульными сорбентами. Волокнистые сорбенты удобны, например, в качестве фильтров [20-21].

При выборе сорбционного материала необходимо учитывать устойчивость сорбента в водных средах (химическую, механическую, возможно и радиохимическую), а также такие факторы, как простота получения сорбента, доступность и стоимость используемых для синтеза

материалов. Кроме того, необходимо учитывать возможность дальнейшей переработки или длительного хранения сорбционного материала.

В последнее время для повышения эффективности и селективности извлечения радионуклидов все больше используются различные способы модифицирования природных и синтетических материалов, а также доступных и дешевых природных и технологических продуктов [22-26].

Вместе с тем в последнее время наблюдается большой интерес к возможности сорбционного извлечения технеция из водных растворов органическими ионообменниками. Технеций – высокотоксичный долгоживущий радионуклид, содержащийся в различных радиоактивных растворах [5]. В нейтральных водных средах он существует преимущественно в виде пертехнетат-иона TcO_4^- , который может извлекаться анионитами. В ряде работ показана высокая эффективность извлечения технеция органическими анионитами различной основности из растворов в присутствии других анионов при высоком содержании солей.

Органические ионообменники используются в качестве носителей для получения селективных сорбентов путем их модифицирования различными комплексообразующими реагентами. Разработаны сорбционные материалы на основе других носителей, например силикагеля, модифицированного аминами и амидами, селективные по отношению к радионуклидам [27].

Многие комплексообразующие сорбенты с различными функциональными группами могут быть использованы для извлечения радионуклидов из нейтральных природных вод. Это сорбенты с фосфорнокислотными, амидоксимными, гидроксамовыми, иминодиацетатными и другими функциональными группами, которые в нейтральных растворах способны сорбировать радионуклиды за счет их комплексообразования в присутствии солей щелочных и щелочноземельных элементов [28-29]. Такие сорбенты обеспечивают возможность избирательного

извлечения радионуклидов из природных водных сред, в том числе с высоким содержанием солей [30].

Существуют различные способы синтеза комплексообразующих сорбентов: химическое и нековалентное закрепление комплексообразующих групп на синтетических и природных полимерных матрицах и получение композитов на основе различных носителей. Создано много таких материалов и изучена возможность их использования для концентрирования радия, урана и тория, в частности, для их выделения из различных природных вод (речных, грунтовых, морских) и последующего определения [9]. Сорбенты с амидоксимными группами на различных носителях, в том числе на полимерных и минеральных матрицах, а также на основе волокнистых материалов, показали высокую эффективность при извлечении радионуклидов в присутствии солей, а также хорошие кинетические свойства [19, 20, 23, 26, 31-35].

Для выделения радионуклидов из сложных по составу технологических растворов, образующихся при переработке ядерных материалов, наиболее эффективными являются сорбенты с дифосфорильными, аминодифосфинатными, карбамоилметилдифосфинатными и другими функциональными группами, которые способны давать стабильные комплексы с радионуклидами в сильноокислых средах [9, 36-40]. Синтезировано довольно много таких комплексообразующих сорбентов указанными выше способами, изучена их сорбционная способность по отношению к радионуклидам и разработаны способы избирательного концентрирования [41-50]. Однако сложность синтеза и высокая стоимость этих сорбентов ограничивают их широкое применение. Наиболее перспективными сорбентами с карбамоилметилдифосфинатными и другими группами представляются сорбенты с закрепленными комплексообразующими соединениями на готовых полимерных матрицах. Этот простой способ позволяет использовать для синтеза готовые экстрагенты в сравнительно небольших количествах. Получаемые таким способом комплексо-

образующие сорбенты - "твердофазные экстрагенты"- характеризуются хорошими сорбционными и кинетическими свойствами [44,46,50]. С помощью твердофазных экстрагентов достигаются высокие коэффициенты распределения при извлечении радионуклидов из азотнокислых растворов, что позволяет применять их для концентрирования из сильноокислых растворов [9, 45, 50-51].

Неорганические сорбенты в значительной степени удовлетворяют требованиям селективности по отношению к отдельным радионуклидам, обладают механической, химической и радиационной устойчивостью, многие имеют невысокую стоимость. Интерес к неорганическим сорбентам с каждым годом возрастает, расширяется их ассортимент. Из природных сорбентов наибольшее значение имеют алюмосиликаты (вермикулиты, биотиты, глаукониты, цеолиты и др.), известняк, фосфориты, апатиты, оксиды (пирролюзит) и т.д. Синтезировано также много новых неорганических сорбентов разных типов. Но несмотря на разнообразие неорганических сорбентов, как природных, так и синтетических, проявляющих достаточно высокую селективность к радионуклидам в определенных условиях, их применение ограничивается рядом недостатков. В некоторых случаях это недостаточно высокая химическая устойчивость и селективность, сложность их использования в динамических условиях и др. В связи с этим в последние 10-15 лет активизировались работы в области неорганических сорбентов: созданы новые сорбенты с улучшенными свойствами, в том числе композиционные, гибридные и другие формы сорбционных материалов, усовершенствованы свойства существующих природных и синтетических сорбентов путем модифицирования их органическими и неорганическими веществами.

Рассмотрим природные и синтетические неорганические сорбенты в соответствии с классификацией, основанной на их химическом составе [52]:

- алюмосиликаты (природные и синтетические);

- гидроксиды поливалентных металлов (оксигидратные сорбенты);
- труднорастворимые соли поливалентных металлов (гексацианоферраты, фосфаты, арсенаты, антимонаты и др.);
- соли гетерополикислот состава $M_3XY_{12}O_{40} \cdot nH_2O$, где $X=P, As, Sb, Si$; $Y=Mo, W$; M - ион щелочного металла или NH_4^+ .

В работе [53] исследован природный клиноптилолит (месторождение Турции) в качестве сорбента для удаления урана и радия из водных растворов. Как известно, уранил-ион и растворимые комплексы уранил-иона высокоподвижны и поэтому являются потенциально опасными загрязнителями окружающей среды. Показано, что клиноптилолитом при оптимальных условиях сорбируется до 83-85 % урана. В развитие этой работы авторами [54] синтезированы на основе природного и синтетического цеолитов композитные сорбенты с полиакрилонитрилом в качестве связующего и определены катионообменная и адсорбционная емкость по урану, радия и тория как цеолитов, так и их композитов и показана возможность использования этих сорбентов для удаления урана, радия и тория из водных сред. Для повышения механической устойчивости природных цеолитов, что необходимо при использовании их в качестве сорбентов в динамических условиях, разработан способ гранулирования природных алюмосиликатов, позволяющий сохранить сорбционные свойства минерала и получить прочные гранулы, выдерживающие большие гидравлические нагрузки [55].

В работах [58-59] предложен способ повышения селективности природных алюмосиликатов (бентонита и клиноптилолита) к цезию и стронцию модифицированием их поверхности ферроцианидами тяжелых металлов. Установлена природа ионообменного комплекса, определена емкость и селективность по отношению к цезию ($K_d > 10^4$ мл/г) и гидролитическая стабильность сорбента. Показано, что повышение солевого фона до 0.17 г/л не снижает существенно степень очистки раствора, однако при увеличении

концентрации солей в растворе до 1.2 г/л коэффициент очистки по цезию уменьшается на 30-40 %. Наименее чувствительным к солевому фону оказался сорбент на основе клиноптилолита, модифицированного ферроцианидом никеля.

Для повышения селективности по отношению к цезию и стронцию гранулированных алюмосиликатов глауконита и клиноптилолита на их поверхности осаждали в виде пленок труднорастворимые химические соединения: гидроксид железа, ферроцианид железа, взаимодействующие избирательно с Cs и Sr [60].

На основе природных цеолитсодержащих туфов и водорастворимого полимера полигексаметиленгуанидина и эпихлоргидрина как сшивающего агента синтезирован и орнаноцеолит – новый сорбент, проявляющий одновременно катионообменные, анионообменные и бактерицидные свойства [57]. Катионообменная емкость сорбента составляет 1.0 мг-экв/г, анионообменная – 0.23 мг-экв/г. Сорбент проявляет высокую селективность к кислородсодержащим анионам и карбонатным комплексам уранил-иона и радия. Определенные по результатам измерения сорбции урана, радия из карбонатсодержащих поверхностных питьевых вод и сточных вод спецпрачечных Новосибирского завода химических концентратов равновесные и кинетические характеристики этих процессов составляют: коэффициенты распределения урана, радия из поверхностных и сточных вод 10^4 и $5 \cdot 10^4$ мл/г, соответственно; кинетика сорбции в обоих случаях внешнедиффузионная. Осуществлено математическое моделирование процессов очистки, в частности очистки природной воды от уранил-иона и радия, рассчитано время защитного действия слоя сорбента высотой в 1 м, оно составляет от 40 до 50 сут. в зависимости от скорости фильтрования раствора [56].

Гидроксиды поливалентных металлов известны как эффективные сорбенты для извлечения радионуклидов. В течение ряда лет достаточно детально исследовался гидратированный диоксид титана как сорбент для извлечения урана, радия из морской воды [61], а также для извлечения

стронция и цезия из жидких радиоактивных отходов, содержащих Cs, Sr, Pu [62]. Диоксид титана отличается радиационной и химической устойчивостью в кислых и щелочных растворах и как ионообменник - удовлетворительной скоростью обмена, что важно при работе в колоночном варианте. Показано, что его сорбционная емкость зависит от pH и в нейтральных средах составляет 2 мг-экв/г. В растворах, содержащих хлориды, и в кислых средах сорбент проявляет большую селективность к цезию, чем к стронцию [63].

На основании тестирования синтетических адсорбентов, в том числе слоистых силикатов, установлено, что слоистый силикат Na-Ti ($\text{Na}_2\text{TiSi}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), сшитые силикаты ниобия ($\text{Na}_2\text{Nb}_4\text{Si}_2\text{O}_{15} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) и титана ($\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) характеризуются высокой селективностью к цезию и стронцию. В работе [64] приведены обменная емкость по цезию и стронцию в зависимости от pH и данные о влиянии ионов Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} на сорбцию радионуклидов в широком интервале концентраций (0.005-1.0 М).

С целью изучения эффективности удаления стронция из жидких радиоактивных отходов и подземной воды с высокой жесткостью было проведено сравнительное испытание следующих сорбционных материалов: природного цеолита - клиноптилолита, модифицированного природного клиноптилолита, синтетического цеолита, силикотитаната, ионообменной смолы и модифицированного волокнистого материала [65]. Растворы для тестирования сорбентов моделировали состав радиоактивных растворов. Результаты измерения сорбции в статических условиях при различной концентрации стронция и конкурирующих элементов (прежде всего Ca^{2+}) показали, что ионообменные смолы амберлит и дуолит и новые синтетические кристаллические материалы - силикотитанат и титанат натрия - наиболее селективны по отношению к стронцию, коэффициенты распределения по стронцию $K_d = 2 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^5$ мл/г. Для всех материалов K_d снижается значительно с увеличением концентрации кальция. Синтетические

цеолиты IE-96, TIE-96 характеризуются сравнительно меньшей селективностью к стронцию. Отмечено, что волокнистый сорбент обладает лучшими кинетическими характеристиками.

Эффективными полифункциональными ионообменниками являются окисленные древесные угли. Разработан способ получения сорбционного материала путем пиролитической обработки древесных опилок при 350-400°C с последующим окислением карбонизата воздухом при 200-250°C. Статическая обменная емкость сорбента по КОН составляет 5.4-5.9 мг-экв/г. Селективность сорбционного материала по отношению к Cs, Sr, U (VI), Pu(IV), Am (III), оцененная по результатам их извлечения в статических условиях, характеризуется следующими показателями: коэффициент распределения цезия, америция, плутония составляет 4800-5400, 5800 и 1600-1800 мл/г, соответственно; селективность к U(VI) меньше - $K_d = 350-400$ мл/г; стронций практически не извлекается.

Исследована сорбция радия, трансурановых элементов, радиоактивных Cs и Sr из водных растворов применяемыми в практике очистки водных сред хитином и хитозаном. Установлено, что полупродукт производства хитина - хизит-03 по сорбционным свойствам не уступает хитозану и значительно превосходит хитин. На основе хизита-03 и различных органических связующих изготовлены композиционные сорбенты. Лучшие характеристики имеют материалы на основе хизита-03 и перхлорвинила: коэффициент распределения радия из водных сред составляет $(4-5) \cdot 10^3$ мл/г, емкость сорбента 0.8-4.5 мг-экв/г при pH = 3-5. Коэффициенты распределения при сорбции Pu (IV), Cm (III), Am (III) изменяются в ряду $\text{Pu} < \text{Cm} < \text{Am}$ и составляют от 3000 до 15000 мл/г при pH = 4-6. Для одновременного извлечения указанных выше радионуклидов и цезия разработаны хитинсодержащие материалы, модифицированные ферроцианидом меди.

Исследования в области разработки сорбционных методов извлечения радионуклидов из водных сред направлены

на создание сорбционных материалов с улучшенными селективными и кинетическими характеристиками. Используются различные подходы к получению сорбентов: синтез принципиально новых типов сорбционных материалов, модифицирование существующих природных и синтетических неорганических и органических ионообменников путем введения в различные матрицы комплексообразующих

групп, получение селективных по отношению к радионуклидам тонкослойных, композиционных и гибридных сорбентов на основе доступных и дешевых природных и технологических продуктов. Полученные результаты по синтезу и исследованию новых сорбционных материалов показывают перспективность их использования для решения актуальных экологических и технологических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Myasoedov V.F. Environ. // Geosciense. 1998 v.1. p.3-13.
2. Мясоедов Б.Ф. // Вопросы радиационной безопасности. 197. №1. С.3-17.
3. Новиков А.П., Павлоцкая Ф.И., Горященкова Т.А. и др. //Радиохимия. 1998. т.40. №5. С.468-473.
4. Мясоедов Б.Ф. //Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. Об-ва им. Д.И. Менделеева). 2005. т.49. №2. С. 64-67.
5. Попова Н.Н., Тананаев И.Г., Ровный С.И., Мясоедов Б.Ф. //Успехи химии. 2003. т.72. №72. С. 115-136.
6. Новиков А.П., Калмыков С.Н., Ткачев В.В. //Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. Об-ва им. Д.И. Менделеева). 2005. т. 49. №2. С. 119-126.
7. Гелис В.М., Чувелева Э.А., Маслова Г.Б. и др. В сб.: Современные проблемы физической химии. М.: Граница. 2005. С. 633-650.
8. Тарковская И.А., Антонова Л.С., Гоба В.Е. и др. //Ж. прикл. химии. 1995. т.68. №4. С. 624-629.
9. Мясоедова Г.В. //Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. Об-ва им. Д.И. Менделеева). 2005. т.49. №2. С. 72-75.
10. Дж.А.Нагиев, А.А.Гарибов, Р.М. Алосманов и др. Изучение влияния посторонних ионов на сорбцию урана сорбентами с новыми функциональными группами. // Азерб. химический журнал. 2010. №4. С.147-153.
11. Егоров Ю.В., Макарова С.Б. Ионный обмен в радиохимии. М.: Атомиздат. 1971. 406 с.
12. Robinson S.M., Kent T.E., Arnold W.D. In: Natural Zeolites '93, Occurance, Properties, Use. Eds. D.W. Ming, F.A. Mumpton. Brockport. New York. 1993. p. 579-586.
13. Вольхин В.В., Егоров Ю.В., Ф.А. Белинская и др. Неорганические сорбенты. Ионный обмен. М.: Наука. 1981. С. 25-44.
14. Ершов Б.Г., Быков Г.А. //Радио-химия. 1992. т. 34. № 6. С. 64-69.
15. Селиверстов А.Ф., Емельянова А.Ю., Ершов Б.Г. //Ж. прикл. химии. 1993. т. 66. №10. С. 2331-2336.
16. Медведев В.П., Величко Б.А., Лихачева О.В. //Радиохимия. 2003. т.45. № 6. С. 549-552.
17. Медведева И.Б., Ровный С.И., Величко Б.А. //Экология и промышленность России. 1998. № 7. С. 7-19.
18. Choppin G.R. // Marine Chemistry. 2006. v. 99. № 1-4. p. 83-92.
19. Медведева И.Б., Ровный С.И., Мясоедова Г.В., Молочникова Н.П. //Радиохимия. 2001. т. 43. № 4. с. 359-362.
20. Badawy S.M., Sokker H., Othman S.H., Hashem A. // Radiat. Phys. And Chem., 2005. v. 73. p. 125-130.
21. Seko N., Tamada M., Yoshii T. // Nucl. Instrum. Meth. in Phys. Research. Sec. B. 2005. v. 236. № 1-4. p. 21-25.
22. Beauvais R.A., Alexandratos S.D. // React. Funct. Polym., 1998. v. 36. p. 113-123.
23. Koulouris G., Slavikowski B., Pilvio R. // Appl. Radiat. Isot., 2000. v. 53. p. 279-287.

24. Rao T.P., Metilda P., Gladis J.M. //Talanta. 2006. v. 68. p. 1047-1064.
25. Sebesta F., John J., Mots A. e. a. //J. Radioanal. Nucl. Chem., 1997. v. 220. № 1. p. 65-67.
26. Barton C.S., Stewart D.I., Morris K., Bryant D.E. //J. Hazard. Materials. 2004. v. 116. № 3. p. 191-204.
27. Venkatesan K.A., Sukumaran V., Antony M.P., Vasudera Rao P.R. //J. Radioanal. Nucl. Chem., 2004. v. 260. № 3. p. 443-450.
28. Мясоедова Г.В., Павин С.Б. Хелатообразующие сорбенты. М.: Наука. 1983. 171 с.
29. Myasoedova G.V., Savvin S.B., Crit. Rev. Anal. Chem., 1986. v.17. № 1. p. 1-63.
30. Nogami M., Kim S.-Y., Asanuma N., Ikeda Y.J. //Alloys Comp., 2004. v. 374. p. 269-271.
31. Мясоедова Г.В., Никашина В.А., Молочникова Н.П., Лилеева Л.В. //Ж. аналит. Химии. 2000. т. 55. № 6. С. 611-615.
32. Zhang A., Asakura T., Uchiyama G. //React. Funct. Polym., 2003. v. 57. № 1. p. 67-76.
33. Pekel N., Sahiner N., Akkas P., Guver O. //Polym. Bull., 2000. v. 44. p. 593-600.
34. Мясоедова Г.В., Молочникова Н.П., Лилеева Л.В., Мясоедов Б.Ф. //Радиохимия. 1999. т. 41. № 5. С. 456-458.
35. Choppin G.R. Metal Ion Separation and Preconcentration. Progress and Opportunities. American Chem. Section, Washington. 1998. p. 13-19.
36. Мастрюкова Т.А., Артюшин О.И., Одинец И.Л., Тананаев И.Г. //Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2005. т. 49. № 2. С. 86-96.
37. Paine R.T. Blaha S.M., Russel A.A., Conary G.S. // Solv. Extr. Ion Exch., 1989. v. 7. №5. p. 925-935.
38. Horwtz E.P., Chiarizia R., Alexantratos S.D., Gula M. Metal Ion Separation and Preconcentration. Progress and opportunities. American Chem. Section. Washington, p. 206-218.
39. Horwtz E.P., Schulz W. Ibid., p. 20-48.
40. Chiarizia R., Horwtz E.P., D'Areя K.A. //Solv.Extr.Ion.Exch., 1996. v.14. №6. p. 10-77.
41. Моргалюк В.П., Молочникова Г.В., Мясоедова Г.В. и др.//Радиохимия. Б. 2005.т. 47. №2. С. 167-170.
42. Maxwell III S.L. //J. Radional. Nucl. Chem. 2006. v. 267. №3. p. 537-543.
43. Horwtz E.P., Chiarizia R., Dietz M.L. e.a. //React. Funct. Polymers. 197. №3. p. 25-36.
44. Chiarizia R., Horwtz E.P. //Solv. Extr. Ion.Exch., 2000. v. 18. №1. p. 109-132.
45. Horwtz E.P., Chiarizia R., Dietz M.L., Diamont H. //Anal. Chim. Acta. 1993. v. 281. p. 361-372.
46. Horwtz E.P., Dietz M.L., Chiarizia R., e.a. Ibid., 1995. v.310. p. 63-78.
47. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Яркевич А.Н. и др. //Радиохимия. 2002.т. 44. №6. С. 506-511.
48. Prabhakaran D., Subramanian M.S. //Talanta. 2003. v. 61. p.423-430.
49. Broudic J-Ch, Conocar O., Moreau J.E. e.a. //Mater. Chen., 1999. v. 9. p. 2283-285.
50. Pietrelli L., Salluzzo A., Trotiani F.J. //Radioanalyt. Nucl. Chem.Art., 1990. v.141. №1. p. 107-115.
51. Mahewari M.A., Subramanian M.S. // Talanta. 2004. v. 64. p.202-209.
52. Vesely V., Pekarek V. //Talanta. 1972. v. 19. p. 219-262.
53. Akyil S., Eral M. //J. Radioanal. Nucl.Chem., 2005. v. 266. №1. p. 89-93.
54. Kilincarslan A., Akyil S. //Ibid., 2005. v. 264. №3. p. 541-548.
55. Кутергин А.С. Кутергина И.Н. //Вестн. УГТУ-УПИ. Современные технологии: проблемы и решения, ч. 1. 2004. № 5(35). С. 126-132.
56. Патент Р.Ф № 2050971, приор. от. 29.07.93.
57. Кац Э.М. Никашина В.А. Уланов А.В. Всерос. Конф. "Радиохимия-2003". Озерск. 2003. С. 202-203.
58. Панасюгин А.С. Трофименев Н.Е. Машерова Н.П. и др. //Радиохимия. 1993. т. 66. № 9. С. 2119-2122.

59. Панасюгин А.С., Н.П.Ратько, Трофименев Н.Е. и др. Там же, 1995. т. 37. № 6. С. 537-541.
60. Бетенеков Н.Д., Воронин А.В, Кутергин А.С., Кутергина И.Н. /Тр. 2-ой Уральской конф. Екатеринбург. 2004.С. 60-64.
61. Jayavan D.V, Iyer N.S. Kopiker K.S. Proc Int. Symp. on Uranium Technology. Bombay, 13-15 dec., 1987.191. v. 2.p. 643.
62. Pius I.C., Charyulu M.M., Sivaramarrishan C.K., Patil S.K. //J. Radioanal. Nuc.Chem. 1995.v.199. P. 1.
63. Shabana E.I., El-Dessouky M.I. //J. Radioanal. Nuc. Chem. 2002. v. 253.№2. p. 281-284.
64. MarininD.V., Brown G.N. //Waste Management. 2000. v. 20. № 7. p. 545-553.
65. Marageh M.G., Husain S.W., Khanchi A.R. // Appl. Radiation and isotopes. 1995. v.50. № 3. p. 459-465.

SU SİSTEMLƏRİNDƏN RADİONUKLİDLƏRİN AYRILMASI ÜÇÜN TƏBİİ SEOLİTLƏR ƏSASINDA SORBSİYA MATERİALLARI

T.N.Ağayev, Z.Ə.Mənsimov

Xülasədə son 10-15 ildə çap olunan su sistemlərindən radionuklidlərin ayrılması üzrə istifadə olunan ənənəvi sorbsiya materialları barəsində məlumatlar toplanmış və təbii seolitlər əsasında yeni sorbsiya materiallarının hazırlanmasının yolları müəyyənləşdirilmişdir.

Açar sözlər: şüalanma, radionuklidlər, sorbentlər, seolitlər

SORPTION MATERIALS FOR EXTRACTION OF RADIONUCLIDES FROM WATER SYSTEMS BASED ON NATURAL ZEOLITES

T.N.Agayev, Z.A.Mansimov

This review summarizes the data published over the last 10-15 years on the use of various types of traditional sorption materials for extraction of radionuclides from water systems, as well as the development of new sorption materials based on natural zeolites.

Key words: γ -radiation, radionuclides, silicates (uranyl, radium), sorbent