

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрены и проанализированы закономерности сорбции ионов тяжелых металлов на различных типах полимерных и минеральных сорбентов. Показаны основные факторы, влияющие на сорбционные процессы. Приведены сопоставительные данные по сорбции ионов тяжелых металлов в зависимости от различных факторов. Основной акцент делается на практическую направленность исследований в этой области.

Введение

Каждое открывающееся новое предприятие нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической и др. отраслей промышленности мы воспринимаем как большое событие, полагая, что тем самым создаем новые рабочие места, улучшаем экономическую ситуацию в регионе или в целом по стране. Но при этом не пытаемся задумываться о том, что этим самым по принципу «бумеранга» мы продолжаем наносить непоправимый вред окружающей среде и своему здоровью. Объясняется это тем, что никакие существующие в мире новшества и инновационные технологии сегодня не в состоянии полностью решить вопросы, связанные с токсичными отходами этих производств и, тем более, с их утилизацией. Сегодня человечество не владеет совершенными безотходными технологиями и поэтому не готово предпринять какие-либо «сверхестественные» меры, чтобы свести до уровня реального ПДК результаты своей деятельности. С другой стороны, правительства всех стран заинтересованы в создании и расширении

Н.Т. Кахраманов*, доктор химических наук, профессор, заведующий отделом модификации и переработки полимеров, Международный научно-технический комплекс «Интергео-Тетис»
Р.Ш. Гаджиева, научный сотрудник химико-технологического факультета, Азербайджанская государственная нефтяная академия

А.М. Гулиев, чл.-корреспондент Национальной Академии Наук Азербайджана, доктор химических наук, профессор, директор, Институт полимерных материалов

М.М. Агагусейнова, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей и неорганической химии, Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия

производств, независимо от того, к какому последствию это приведет. Объясняется это тем, что их интересуют сегодня другие глобальные проблемы, связанные со снижением напряженности с рабочими местами и в социальной сфере. Поэтому, несмотря на официальные обращения экологов и ученых всех стран в правительственные органы, это, как и следовало ожидать, не оказало какого-либо вразумительного действия на экологотехническую политику всех стран.

Поэтому в данной работе мы попытались дать научное обозрение проблемам, связанным с загрязнением водной среды тяжелыми металлами (ТМ), с рассмотрением способов их локализации и очистки минеральными и полимерными сорбентами. Понятно, что по мере развития и расширения различных производств происходит постоянное и нарастающее загрязнение окружающей среды углеводородами и ТМ [1, 2]. При этом загрязняется не только почва и водные объекты, но и воздух, который, как известно, отрицательно влияет на окружающую среду и здоровье людей и животных. Учитывая вышеизложенное, необходимо осуществлять комплексный подход к решению этой проблемы. Но для этого, в первую очередь, следует уяснить для себя, какой смысл мы вкладываем в понятие «ТМ». Если это связывать только с величиной удельного веса металла, то этого недостаточно для того, чтобы вести столь обширные и дорогостоящие разработки по их извлечению из воды. Поэтому довольно весомым аргументом в пользу необходимости очистки природной водной среды является степень влияния металлов на здоровье человека. Есть металлы, которые даже при незначительном попадании в организм наносят непоправимый вред его здоровью с возможным летальным исходом. В то же время, есть металлы, которые являются составной частью организма, выполняющие при определенных микродозах полезную и нужную миссию по укреплению иммуни-

*Адрес для корреспонденции: najaf1946@rambler.ru

тета человека. Так, например, если ртуть, сурьма, кадмий, свинец и их соединения являются опасными для жизни, то такие ТМ как цинк, хром, медь, железо и др. в микродозах считаются необходимыми компонентами питания. Если в организме человека содержание ионов меди, кобальта или хрома не превышает необходимой дозы, то их можно рассматривать как микроэлементы. При их значительном превышении в организме в полную силу вступает термин «ТМ». Поэтому можно будет согласиться с мнением о том, что нет вредных веществ, а есть опасные их концентрации для здоровья человека.

Согласно одной классификации к ТМ причисляют 40 элементов с высокой атомной массой и плотностью свыше $6,0 \text{ г/см}^3$, по другой в эту группу входят цветные металлы с плотностью больше, чем у железа (свинец, медь, цинк, никель, кадмий, кобальт, олово, сурьма, висмут, ртуть). По другим источникам к ТМ относят 43 из 84 металлов, т.е. те, у которых плотность больше $5,0 \text{ г/см}^3$ [3, 4].

Принимая во внимание, что в литературе приводятся неоднозначные оценки понятия «ТМ», мы в данном обзоре попытаемся рассмотреть, в основном, вещества, сбрасываемые в водные объекты в результате производственной деятельности человека, накопление которых в природной среде представляет серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсичности.

Сточные воды большинства предприятий загрязнены ионами ТМ, которые в отличие от углеводов не подвергаются разложению, а перераспределяются между компонентами водной среды. Далее они попадают в живые организмы, способствуя, тем самым, развитию опасных и не всегда обычных заболеваний. Совершенствование технологий производств лишь в незначительной степени влияет на сохранение водных объектов. Становится очевидным, что необходимо расширять исследования в направлении создания высокоэффективных сорбентов, способных свести до минимума загрязнение водных объектов и почвы.

В результате исследований, проводимых многими учеными в этом направлении, можно выделить несколько основных методов очистки сточных вод: механические, физико-химические, химические, биологические и смешанные. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки

Ключевые слова: сорбенты, сорбция, очистка, тяжелые металлы, токсичность

и в значительной мере зависит от масштаба загрязненного водного объекта и типа загрязняющего вещества. Систематизация исследований в этой области показала преимущество сорбционных методов очистки с использованием различных минеральных и полимерных сорбентов [5].

Результаты и их обсуждение

Полимерные сорбенты ионов ТМ
Среди полимерных сорбентов наиболее часто для сорбции ТМ и углеводов упоминается пенополиуретан (ППУ) [6]. В зависимости от химической природы и соотношения исходных компонентов в макромолекулах ППУ содержатся помимо значительного количества уретановых групп и другие функциональные группы: простые эфирные $-\text{O}-$, сложные эфирные $-\text{C}(\text{O})-\text{O}-$, амидные $-\text{C}(\text{O})-\text{NH}-$, мочевиные $\text{NH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{NH}_2$, а также ароматические $-\text{C}_6\text{H}_6$ и алифатические $-\text{CH}_2$ -радикалы [7, 8].

Таким образом, в макромолекулах ППУ, кроме гидрофобных (углеводородных, ароматических) и гидрофильных (уретановых, амидных, мочевиных, эфирных или сложноэфирных) групп, содержатся концевые толидиновые группы, обладающие высокой реакционной способностью. Растущий интерес к ППУ связан не только с особенностями состава макромолекулы и наличием полярных групп, но и ее макроструктурой. Пенополимерный сорбент на основе ППУ состоит из пор и ячеек с мембранной структурой, что позволяет использовать его для эффективной сорбции полярных и неполярных соединений [9-12]. Наличие системы пор и ячеек обеспечивает возможность диффузии сорбата в более глубоко расположенные его участки. При этом извлечение соединений происходит не только за счет адсорбции (поверхностным поглощением), но и в результате абсорбции (поглощением всем объемом полимера). По существу ППУ сорбируют молекулы, растворяя их на поверхности своих мембран. Большое разнообразие адсорбционных центров на поверхности и в объеме ППУ обуславливает целый комплекс взаимодействий сорбент – сорбат, среди которых основными являются ван-дер-ваальсовы, электростатические, водородные связи. Роль каждого из этих типов связей во многом зависит от строения звена полимера и химической природы сорбируемых молекул [13].

Среди сорбентов, применяемых для сорбционного концентрирования разных веществ, а также в сорбционно-спектроскопических и тест-методах анализа, важное место занимают ППУ с ячеистой мембраноподобной макроструктурой. В работах [13, 14] было показано, что концевые толуидиновые группы ППУ способны вступать в некоторые типичные для мономерных ароматических аминов реакции с образованием интенсивно окрашенных продуктов (диазотирование, азосочетание, окисление активным хлором и конденсация с формальдегидом). Хемосорбционные процессы с участием ППУ протекают быстро и в относительно мягких условиях. На основании проведенных исследований авторы рекомендовали ППУ в качестве полимерных хромогенных реагентов для определения свободного активного хлора и нитрит-ионов.

Сорбционные процессы на ППУ можно интерпретировать с позиции экстракционного и катион-хелатного механизмов. Согласно экстракционному механизму ППУ можно представить как твердый полимерный экстрагент, который обладает способностью растворять сорбируемые органические реагенты в полимерных мембранах своей ячеистой макроструктуры [11, 12]. Эффективность извлечения органических соединений ППУ по экстракционному механизму можно повысить путем введения неорганических солей в систему водные растворы – ППУ [14]. В присутствии солей эффективность сорбции возрастает в ряду $K < Na < Li$. Характерно, что двухзарядные катионы на эффективность извлечения оказывают гораздо большее влияние, чем одно-

зарядные, т.е. наблюдается характерный для экстракции эффект высаливания.

По катион-хелатному механизму ППУ способен извлекать отрицательно заряженные формы органических соединений, такие как анионные ПАВ, сульффталеиновые и азокрасители. Сорбция перечисленных выше соединений увеличивается в следующем ряду: $Li < Na < Cs < Rb < K < NH_4$. Наличие различных типов реакционноспособных групп в составе ППУ располагает к протеканию хемосорбционных процессов. Так, например, концевые толуидиновые группы ППУ при определенных условиях могут вступать в некоторые типичные для мономерных ароматических аминов реакции с образованием интенсивно окрашенных продуктов (диазотирование, азосочетание, окисление активным хлором и т.д.) [15, 16].

В работе [14] было показано, что хемосорбционные процессы с участием ППУ протекают быстро и в относительно мягких условиях (при комнатной температуре, в водных растворах и при низкой концентрации вступающих в реакцию модификаторов). Контроль за протеканием этих реакций осуществлялся с помощью метода ИК-спектроскопии. Из сопоставительного анализа ИК-спектров модифицированных ППУ было установлено, что они отличаются от спектров исходного образца. Показано изменение и смещение полос поглощения, появление новых полос, однозначно доказывающих протекание химической реакции с участием функциональных групп ППУ.

В настоящее время актуальной задачей является исследование сорбционных свойств полимерных целлюлозосодержащих материалов и установление закономер-



ностей протекания сорбционных процессов с их участием. Это особенно необходимо в производстве сорбционных материалов, используемых для очистки водных растворов, пищевых систем и биологически активных добавок. Для реализации этих задач особое внимание стали привлекать исследования, направленные на использование различных дешевых растительных продуктов — древесины, льна, хлопка и т.д. [16]. Были получены изотермы сорбции ионов ТМ хлопковой целлюлозой из водных растворов их сульфатов. Обработка изотерм в линейных координатах уравнения Лэнгмюра позволила авторам рассчитать величины предельной сорбционной емкости хлопковой целлюлозы для ионов Cd^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} и Zn^{2+} , которые составили, соответственно, 0,51; 0,23; 0,20; 0,16 и 0,12 моль/кг. В ходе исследования удалось установить, что модифицированный азотсодержащим полимером (Полидоном-А) сорбент на основе целлюлозы обладает достаточно высокой сорбционной емкостью и может быть предложен для очистки водных растворов от ионов ТМ.

Исследование термодинамических закономерностей процессов адсорбции является одной из самых сложных задач классической феноменологической термодинамики. Как показывает анализ литературных источников [17-20] в настоящее время отсутствует обобщающая модель процессов адсорбции из растворов на твердых поверхностях. В качестве возможных механизмов сорбции ионов металлов целлюлозосодержащими материалами рассматриваются процессы ионного обмена на группах $-\text{COOH}$, комплексообразования за счет взаимодействия с OH -группами, а также с участием всех атомов кислорода элементарного звена целлюлозы. При этом для описания экспериментальных изотерм используются модели сорбции Лэнгмюра, Фрейндлиха, теория мембранного равновесия Доннана, закон действующих масс (уравнение Никольского), а также теория объемного заполнения микропор.

В работе [21] рассмотрены и обобщены закономерности сорбции ионов ТМ целлюлозой и ее производными из водных растворов различной природы. Среди возможных механизмов связывания ионов металлов целлюлозосодержащими материалами указываются как ионный обмен, так и комплексообразование с участием карбоксильных и гидроксильных групп, а также физическая адсорбция. В ряде работ [22-25] предпо-

лагают, что во взаимодействии ионов металлов с целлюлозой принимают участие карбонильные и гидроксильные группы полимера. При помощи ИК-, УФ- и ЯМР-спектроскопии для модельных образцов метил- β -глюкопиранозоида косвенно подтверждено образование комплексных соединений ZnCl_2 с целлюлозой.

Результаты обобщения проведенных в мировой практике исследований позволяют сделать вывод о том, что в качестве активных групп полимеров могут выступать $-\text{COOH}$, $-\text{H}$, $-\text{CO}$, $-\text{OPO}_3\text{H}_2$, $-\text{P}_2\text{O}_7\text{H}_3$, а также все атомы кислорода элементарного звена целлюлозы. Среди возможных механизмов связывания ионов металла целлюлозосодержащими материалами указываются ионный обмен с участием карбоксильных и гидроксильных групп, комплексообразование с участием групп $-\text{OH}$, ионный обмен плюс комплексообразование для групп $-\text{COOH}$ и $-\text{OPO}_3\text{H}_2$, а также физическая сорбция. При этом взаимодействие целлюлозы с металлом может осуществляться с участием негидратированных и гидратированных катионов, а также гидроксилкомплексов с образованием водородных связей [21]. На основании вышеизложенного можно полагать, что по мере накопления экспериментальных данных по сорбции ионов металлов целлюлозосодержащими полимерными сорбентами мы приближаемся к изучению природы сорбционных центров и окончательному выяснению механизма процессов сорбции с ионами металлов.

Для очистки воды в ряде случаев применяют волокнистые материалы на основе синтетических полимеров. В частности, имеются разработки [26] по технологии получения волокнистых материалов из отходов термопластичных полимеров нетрадиционным безфильтрным способом. По этой технологии представляется возможным комплексно решать задачи по очистке воды. Волокнистые сорбенты являются дешевыми и доступными, в то же время обладают хорошими фильтрующими свойствами, высокой химической стойкостью, прочностью, устойчивостью к истиранию. Ранее была исследована сорбционная способность полипропиленового волокна по отношению к ряду металлов [27, 28]. Показано, что наиболее эффективно из воды извлекаются элементы, образующие в средах близких к нейтральным, прочные гидроксокомплексы. Исследование степени извлечения ионов металлов из водных сред сорбентами

на основе полипропилена (ПП) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ) показало, что оба волокнистых материала обладают примерно одинаковой сорбционной способностью, которая не зависит от природы полимера, а определяется индивидуальными свойствами элементов. Из раствора наиболее интенсивно извлекаются Al, Cr, Fe, Pb, т.е. те элементы, которые способны к образованию прочных гидроксокомплексов или малорастворимых гидроксидов. Они, как правило, многозарядны и обладают большей поляризуемостью. Степень извлечения ионов металлов зависит от констант устойчивости гидроксокомплексов [27, 28].

В зависимости от типа взаимодействия сорбента с сорбатом различают физическую адсорбцию, хемосорбцию и ионный обмен. В случае использования полимерных волокон не исключен ионообменный механизм сорбции ионов металлов. Последнее обстоятельство возможно благодаря наличию карбонилсодержащих групп разного типа, в том числе карбоксильных, образующихся в процессе термоокислительной деструкции при переработке полимеров. Определение полной обменной емкости сорбентов показало, что они обладают незначительной емкостью как катионообменники (для ПП 0,010 ммоль-экв/г, для ПЭТФ 0,025 ммоль-экв/г), которая явно недостаточна, чтобы приводить к такой высокой сорбционной способности полимеров. Для придания полимерам гидрофильных свойств последние подвергали термохимическому окислению перманганатом калия в кислой среде. Результаты ИК-спектрального анализа не показали каких-либо существенных изменений в структуре полипропиленового волокна. Наблюдалось лишь незначительное возрастание кислородсодержащих групп в области валентных колебаний (1707 см^{-1}). Однако это привело к некоторому снижению сорбционной способности гидрофильных сорбентов. По всей вероятности, вследствие отрицательной адсорбции концентрация гидратированных ионов уменьшается вблизи поверхности раздела фаз «раствор — гидрофобный полимер» и «раствор — газ» [27, 28].

В работах [29, 31] проведено комплексное исследование по повышению чувствительности и степени извлечения Pb (II), Cd (II), Ni (II) полимерными комплексообразующими сорбентами на основе полистирола, содержащего в своей структуре гидрокси-азо-функционально-аналитиче-

ские группы (ФАГ) и п-заместители различной электронной природы (NH_2 , NO_2 , SO_3H , CH_3 , Br, COOH, AsO_3H_2). Для систем «сорбент — элемент — третий компонент» экспериментально установлены параметры оптимального значения pH среды, при котором происходит образование тройной системы; выявлены факты смещения pH сорбции в кислую область благодаря влиянию структуры и свойств третьего компонента. Разработаны методики предварительного концентрирования, выделения и спектрофотометрического определения микроколичеств ионов металлов сорбентами на основе полистирол-(4-азо-1')-2'-гидрокси-5'-сульфобензола, которые позволяют количественно ($R^3\ 98\%$) с высоким коэффициентом концентрирования извлекать рассматриваемые катионы из больших объемов водных растворов в фазу сорбента массой 0,05 г. Разработанные и апробированные на конкретных объектах сорбционно-спектрофотометрические методики характеризуются экспрессностью, избирательностью, низкими пределами обнаружения и высокой воспроизводимостью результатов исследования.

Изучено конкурентное связывание ионов Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} на ионообменных смолах (карбоксильной Д113, имнодиацетатных Д463 и ТР207) и на хелатном волокнистом ионообменном материале «Аквален-2». Получены ряды селективности для исследуемых материалов. Рассчитаны конкурентные константы связывания и константы скорости адсорбции, установлено, что «Аквален-2» имеет наилучшую кинетику сорбции и сродство к ионам Pb^{2+} и Cd^{2+} по сравнению с традиционными ионообменными материалами. Материал ТР207 показал сродство к ионам Cu^{2+} [32].

В работе [33] основной целью исследования являлась разработка и внедрение в аналитическую практику новых эффективных комбинированных методик индивидуального выделения, концентрирования и определения микроколичеств хромат-, нитрат- и селенит-ионов в анализе природных и сточных вод с использованием полимерного сорбента, обладающего высокой избирательностью, сорбционной емкостью, полной извлечения и хорошими кинетическими свойствами. Автором проведен систематический анализ физико-химических и аналитических свойств новой группы полимерных сорбентов с функционально-аналитической

аминогруппой и заместителями различной электронной природы и процессов концентрирования хромат-нитрат- и селенит-ионов. Эти сорбенты сорбируют хромат-ионы при кислотности среды больше 2 М НСl в течение 15-60 мин; нитрат-ионы — в интервале рН 0,5-2,1 в течение 20-35 мин; селенит-ионы — в интервале от 0,01 М до 2 М в течение 20-40 мин при комнатной температуре и постоянном перемешивании; рассмотрен химизм процесса сорбции. Способность сорбентов к образованию ионных ассоциатов обусловлена наличием в полимерной матрице сорбента протонированных химически активных аминогрупп. Впервые получены данные ИК-спектроскопии для соединений сорбентов с исследуемыми анионами, в результате которых подтверждено участие функционально-аналитической аминогруппы в хемосорбции.

Решение проблемы предварительного концентрирования ионов металлов в больших водоемах или других объектах является актуальной задачей современной аналитической химии. Высокая потенциальная токсичность, канцерогенность и биохимическая активность хрома предполагают необходимость его оперативного контроля [34]. При решении данной задачи особое место занимают полимерные комплексообразующие сорбенты (ПКС) [35]. Интерес к этому классу соединений обусловлен, в первую очередь, уникальным спектром их свойств, позволяющим использовать ПКС в химическом анализе как средство повышения чувствительности определения следовых количеств элементов, их избирательного концентрирования из растворов сложного состава, разделения и более эффективного извлечения для последующего определения инструментальными методами [36]. В результате проведенных исследований установлено, что количественная сорбция ($R = 96-100\%$) наблюдается при постоянном перемешивании в интервале рН 2,6–5,1, причем с введением заместителей в паре-положении к ОН'-группе ФАГ сорбента величина pH_{50} сорбента изменяется, что связано с электронным влиянием заместителей. Таким образом, был выявлен интервал кислотности среды, в котором наблюдается максимальная степень извлечения ионов хрома полимерными комплексообразующими сорбентами и установлена продолжительность сорбции и влияние на нее температурного фактора [37].

Извлечение ионов металлов из сточных вод и технологических растворов является одним из важных и проблематичных направлений исследования. Для решения этой проблемы авторами работы [38] был предложен метод совместного осаждения ионов металлов с карбаминоформальдегидными полимерами (КФП). В результате совместного осаждения карбамида с формальдегидом в водных растворах с солями металлов образуются КФП, которые конденсируются с образованием нерастворимого осадка, а соли металлов гидролизуются до малорастворимых соединений и также выпадают в осадок. Следует отметить, что процесс совместного осаждения ионов металлов с КФП сложен и включает в себя, как процессы химического взаимодействия ионов металлов с полимерами, так и физическую сорбцию их полимерами. Последние в отвержденном виде имеют достаточно высоко развитую внутреннюю поверхность и обладают сорбционными свойствами, характеризующими структуру полимера [39]. Для уточнения роли физической сорбции в данном процессе и оценки влияния соосажденных ионов металлов на структуру полимеров были проведены исследования сорбции ионов металлов на чистом и на модифицированном КФП. Под модифицированными КФП подразумеваются сорбенты, соосажденные с ионами сорбируемого металла. В качестве объекта исследования использовали молибден, извлечение которого из промышленных стоков с помощью КФП позволит получить молибденсодержащие микродобавки для удобрения, используемого в сельском хозяйстве [40]. Авторы полагают, что физическая сорбция в изучаемом процессе не является определяющей. Основной стадией процесса, ответственной за поглощение ионов металлов при совместном осаждении их с КФП, являются химические процессы. Функциональные группы полимера вступают в химическое взаимодействие с ионами металлов, формируя при отверждении полимеры, структурно связанные с неорганическими соединениями металлов. Наличие функциональных групп, ответственных за образование химических связей металлов с карбаминоформальдегидными полимерами, установлено на основании ИК-спектроскопии и элементного анализа [41].

Таким образом, анализируя состояние проблемы по полимерным сорбентам, предназначенным для извлечения ионов метал-



лов из водной среды, можно констатировать, что исследования в этом направлении в большинстве своем носят отрывочный и несистемный характер. Объясняется это тем, что для изучения этих вопросов мы должны иметь четкую классификацию полимерных сорбентов не только по типу и назначению, но и по их структурным особенностям и составу. Необходимо предопределить, какие именно функциональные группы в полимерах ответственны за сорбцию той или иной группы ионов металлов и как влияет молекулярный дизайн и сочетание различных функциональных групп в полимерах на их сорбционные процессы. Отсутствуют систематические исследования по изучению влияния диаметра пор и ячеек, объемной массы (кажущейся плотности) пенополимерных сорбентов на кинетические закономерности сорбции ионов ТМ, хотя именно это направление, на наш взгляд, определяет перспективные возможности улучшения сорбционных характеристик [42, 43]. Совершенно очевидно, что будущее полимерных сорбентов будет связано с использованием пенополимерных материалов, т.к. в этих сорбентах процесс сорбции протекает не только на поверхности, но и по всему объему образца (на мембранной поверхности ячеек). Следует также отметить, что в литературе практически отсутствуют сведения о влиянии смесей полимеров с различными по-

лярными группами на характер протекания сорбционных процессов. Создавая сорбенты на основе смесей полимеров, мы смогли бы практически вплотную подойти к реализации проблемы избирательной сорбции и получению полимерных сорбентов с заранее заданными сорбционными характеристиками. Причина столь дезориентированного подхода к использованию полимеров в качестве сорбентов, по-видимому, заключается в том, что для решения этих вопросов необходимо осуществлять правильный подход к проблеме модификации структуры полимеров. Такими подходами для формирования эффективного сорбента являются механо-химический синтез в процессе реакционного перемешивания и вспенивания полимерных смесей, получение композиционных материалов с полимерными и минеральными наполнителями, а также методы химической или физической модификации полимеров с прививкой различных типов функциональных групп на их макромолекулы.

Минеральные сорбенты ионов ТМ

За последние годы значительно возрос интерес к низкомолекулярным активированным углеродным волокнистым материалам (АУВМ), которые могут быть использованы в различных областях промышленности, в бытовой сфере, медицине и т.д. Однако расширение объемов потребления АУВМ сдерживается из-за их высокой стоимости. В связи с этим, проведение комплекса исследований в направлении совершенствования технологии производства АУВМ, снижения энергозатрат, повышения выхода готового продукта является весьма актуальной проблемой.

В работах [44-46] авторы основной акцент делали на создание научно обоснованных и экономически целесообразных ресурсосберегающих технологий получения АУВМ на основе гидратцеллюлозных волокон. Главным моментом является применение в качестве пиролитических добавок бicomпонентных систем — $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4/\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{NH}_4\text{Cl}/(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, обеспечивающих создание высокоэффективных процессов производства углеродных волокон. Разработаны технологические схемы, позволяющие регулировать пористую структуру и электропроводность активированных материалов — параметры получения высокоэффективных микропористых сорбентов и

режимы получения токопроводящих АУВМ в процессах десорбции и каталитического окисления органических летучих веществ за счет прямого нагрева сорбентов электрическим током, а также возможность их использования в высокоемких источниках электроэнергии. Показана эффективность использования АУВМ в процессах адсорбции ионов платиновых металлов, золота, хрома. Получены металлсодержащие АУВМ с высокой сорбционной активностью по отношению к некоторым видам белков, вирусов и бактерий. Основные результаты работ внедрены на Светлогорском производственном объединении «Химволокно», Беларусь (РУП СПО «Химволокно»), где освоено выпуск УВМ и АУВМ в опытно-промышленном и промышленном масштабах.

С точки зрения сорбции большой интерес представляют также углеродоминеральные сорбенты (УМС). Объясняется это тем, что они сочетают в себе свойства активированных углей, признанных одним из самых эффективных сорбционных материалов, и минеральных сорбентов (силикагели, алюмосиликаты). Благодаря действию ван-дерваальсовских сил, неполярная углеродная часть таких материалов эффективно адсорбирует органические соединения (красители, нефтепродукты, ПАВ), а полярная (минеральная часть) извлекает из водной фазы ионы металлов по механизму ионного обмена [47-49]. В ходе исследования автором работы [50] установлено, что наибольшей сорбционной емкостью среди УМС, полученных из сапропелей, обладают сорбенты, карбонизированные при температуре 700-800 °С. При этом поверхность мезо-макропористой структуры сорбента представлена углеродными и минеральными фрагментами. Показано, что адсорбция органических веществ на УМС из сапропеля описывается уравнением Лэнгмюровского типа и уравнением Фрейндлиха. В процессе сорбции органических веществ из водных растворов увеличение размера молекул сопровождается повышением коэффициента их распределения. Найдено, что сорбция ионов металлов по механизму ионного обмена описывается уравнением Лэнгмюра (для ионов хрома (III) $a_{\infty} = 0,66$ ммоль/г, $b = 0,59$; меди (II) $a_{\infty} = 0,39$ ммоль/г, $b = 0,46$; никеля (II) $a_{\infty} = 0,36$ ммоль/г, $b = 0,44$). При переходе в ряду активности от ионов хрома (III) к ионам бария коэффициенты распределения уменьшаются более чем в 20 раз. Разработанные сорбенты позволяют осуществить единовре-

менную сорбцию на УМС ионов меди (II) и нефтепродуктов, АПАВ, метиленового голубого, фенола.

В процессе изучения сорбционных методов очистки водной среды немаловажное значение приобретает разработка и использование наиболее дешевых и доступных минеральных сорбентов как искусственного, так и естественного происхождения. Такие сорбенты характеризуются развитой удельной поверхностью, высокой поглотительной способностью по парам, жидкостям и растворенным веществам [51]. Рассматриваемый в этой работе кремнийсодержащий материал (кремнегель) является крупнотоннажным отходом производства фторида алюминия, который содержит в своем составе около 80% диоксида кремния. Основными сопутствующими компонентами кремнегеля являются AlF_3 , $Al(OH)_3$, H_2SiF_6 в количествах, не превышающих 6%. Исследование сорбции проводилось в статических условиях на модельных растворах ТМ (Cd^{2+} , Cu^{2+}) с концентрацией 100 мг/л при соотношении Т:Ж = 3:100 и температурах 25, 35 и 45 °С. Концентрацию металла определяли с использованием ионоселективного электрода. В процессе исследования было установлено, что с увеличением температуры значения адсорбционной емкости по ионам кадмия уменьшаются, что, по мнению авторов, свидетельствовало о физической природе процесса сорбции на немодифицированном адсорбенте. С целью повышения активности сорбента его поверхность модифицировали одноосновными предельными карбоновыми кислотами (пальмитиновой и стеариновой). Содержание модификатора не превышало 15% от общей массы сорбента. В результате модифицирование поверхности кремнийорганического соединения привело к повышению его сорбционной емкости по ионам кадмия в 2,4-2,7 раза. При этом модифицирование поверхности стимулировало появление сорбционной способности по ионам меди.

В работах [52-54] оценена степень очистки водных растворов от ионов меди модифицированной формой диоксида кремния. Так, например, при изучении адсорбции ионов меди модифицированным кремнегелем установлено, что с ростом температуры адсорбционная емкость сорбента возрастает. Следовательно, вследствие протекания на поверхности модифицированного алюмосиликата химических реакций имеет место хемосорбция. Образование химических со-

единений происходит благодаря наличию на поверхности адсорбента активных центров и функциональных групп, которые, взаимодействуя с частицами адсорбата, одновременно способствуют повышению его сорбционной емкости по ионам меди. Проведенные исследования показали, что модифицированные кремнийорганические отходы обладают достаточно высокой адсорбционной способностью по отношению к ионам ТМ и способны конкурировать с уже используемыми для этой цели пористыми материалами.

Окисленные бурые угли Гусиноозерского месторождения Республики Бурятия содержат значительное количество гуминовых кислот (до 90% от органической массы угля). Гуминовые кислоты представляют собой высокомолекулярные, склонные к ассоциации полифункциональные природные лиганды. По мнению авторов [55] наличие карбоксильных и фенольных групп в структуре гуминовых кислот обеспечивает образование прочных комплексов этих кислот с ионами металлов, в том числе с ионами ТМ. Поэтому представляется возможным их использование в качестве сорбентов для очистки сточных вод от ионов ТМ и детоксикации почв. Для исследования взаимодействия ионов Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} и Zn^{2+} с гуминовыми кислотами использовали исходные растворы FeCl_3 , CuSO_4 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ с концентрацией 100-1000 мг/л (в пересчете на металл) и водные растворы гуматов калия, натрия и аммония с концентрацией 20 г/л. Следует отметить, что при взаимодействии катионов железа с гуматами достигается высокая степень очистки воды (до 99%), тогда как катионы меди, никеля и цинка связываются с гуматами слабее (до 80%). Ионы Cu^{2+} , Ni^{2+} и Zn^{2+} относятся к ярко выраженным комплексообразователям и помимо замещения Na^+ , K^+ и NH_4^+ в карбоксильных группах образуют координационные связи с другими группами (амино- и метоксигруппы, эфирный кислород и т.д.) — донорами электронов, присутствующими в структуре гуминовых кислот. Такие комплексные соединения — хелаты обладают более высокой растворимостью по сравнению с обычными солями, чем можно объяснить довольно высокую концентрацию меди и никеля в маточном растворе. На основании вышеизложенного авторы этой работы пришли к выводу, что гуматы щелочных металлов и аммония являются высокоэффективными реагентами

для осаждения из раствора ионов железа, меди, никеля и цинка.

Безусловно, одним из перспективных методов концентрирования ТМ является их хемосорбция в виде устойчивых хелатов на пористых носителях. При этом существует два основных варианта введения комплексобразующих групп на поверхность сорбента — модифицирование сорбента ковалентно связанными функциональными группами и иммобилизация молекул органических реагентов за счет межмолекулярного взаимодействия [56]. Следует при этом отметить, что сорбенты, полученные первым путем, обладают некоторым преимуществом. Однако их получение сопряжено с довольно сложной подготовкой, синтезом и очисткой вещества. В то же время, технологическое оформление второго варианта отличается простотой, хотя имеется ряд требований к иммобилизуемым реагентам. При этом в качестве основы применяют такие неуглеродистые пористые носители, как силикагели. В данной работе предложена методика получения сорбентов для концентрирования ионов меди на основе природного цеолита с иммобилизованным на нем висмутолом I. Показано влияние способа приготовления сорбента, величины pH и времени контакта фаз на степень извлечения ионов меди (II) в динамическом и статическом режиме. Найдены оптимальные условия сорбции ионов меди. В статических условиях показано влияние природы растворителя и способа импрегнирования цеолита раствором висмутола I при иммобилизации, а также концентрации ионов меди на сорбцию. Установлено, что при десорбции меди путем термической обработки сорбента при 500 °C ее потери составляют менее 10%.

Актуальной задачей является синтез новых модифицированных неорганических сорбентов со слоистым типом структуры на основе гидроксидов алюминия и магния, отличающихся высокой селективностью по отношению к ионам ТМ. Их отличает сорбционная емкость, практически идентичная гранулированным аналогам, лучшие кинетические свойства, минимальное сопротивление потоку раствора при сорбции в динамических условиях, а главное — большие возможности модификации с целью придания им селективности. Авторами работы [57] разработана методика синтеза новых сорбентов на основе гидроксидов магния и алюминия. Установлен их качественный и

количественный состав, приведены основные характеристики. Исследован механизм сорбции хрома (VI) и свинца (II) синтезированными сорбентами. Показана принципиальная возможность применения сорбентов на основе совместно осажденных гидроксидов (СОГ) магния и алюминия для очистки сточных вод, содержащих хром и свинец. Найдено, что лучшими сорбционными свойствами по отношению к хрому обладает СОГ с содержанием Mg (II) 80%, а для Pb (II) СОГ с содержанием Al (III) 80%, сорбционная емкость по отношению к которым составила, соответственно, для Cr (VI) 31,2 мг/г сорбента, для Pb (II) — 38,6 мг/г сорбента. При этом доказано, что, полученные на основе СОГ сорбенты способны поглощать протонированные и депротонированные формы хрома (VI). Процесс внедрения хрома в межслоевые пространства сорбентов происходит путем обмена с ОН-группами гидроксидов. Сорбция свинца (II) протекает в интервале pH 8-9 по смешанному механизму — ионный обмен и физическая сорбция за счет ван-дер-ваальсовских сил. На основании полученных результатов проведена опытно-промышленная проверка синтезированного сорбента СОГ Al (III) — 20% по извлечению Cr (VI) из сточных вод гальванических цехов ОАОТ «Краснодарский ЗИП». Полученные экспериментальные данные подтвердили высокую селективность сорбента к Cr (VI) и его устойчивость в многократном циклическом режиме.

Проведена работа по исследованию сорбентов на основе углей Азейского разреза Тулунского месторождения Иркутского угольного бассейна и углей монгольских месторождений Баганура и Шивэ-Ово [58]. Следует отметить, что бурые угли Азейского разреза добывают открытым способом и согласно генетической классификации являются бурыми гумусовыми, по величине естественной влажности относятся к технической группе Б-З. По сравнению с Иркутскими Монгольские угли являются окисленными. С целью получения углеродных сорбентов карбонизацию и активацию проводили по классической технологии. В ходе исследования авторами было установлено, что сорбент, полученный на основе Азейского месторождения, имеет более развитую мезо- и микропористую структуру. Сорбенты из углей монгольского месторождения (АБШ) имеют более развитую поверхность. На основании ИК-спектрального

и электронно-микроскопического анализов подтверждено наличие активных функциональных групп на поверхности полученных сорбентов. Результаты исследования сорбции ионов ТМ (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mo^{6+}) показали, что оптимальная область pH сорбции составляет для меди (II) 8,5, железа (III) 6-6,5, железа (II) 5-5,5, молибдена (VI) 7-8. Оптимальное время сорбции ионов Fe (II, III) и Cu (II) составляет 2 ч, ионов Mo (VI) — 4 ч. Максимальная сорбционная емкость активного угля АБШ по отношению к ионам металлов составляет, мг/г: Cu (II) — 7,6, Fe (II) — 7,55, Fe (III) — 8,97 и Mo (VI) — 4,04. Полученные результаты исследований сорбционных свойств сорбентов на основе бурых углей Иркутского бассейна и монгольских месторождений показали, что сорбенты могут быть использованы для доочистки сточных вод от ТМ.

Заключение

Таким образом, в представленном обзоре кратко освещены те проблемы водоочистки, которые на протяжении длительного периода волнуют мировое сообщество и в первую очередь ученых и экологов. Совершенно очевидно, что в одном обзоре невозможно охватить все те опубликованные труды, которые посвящены решению этих проблем. Мы попытались затронуть только те вопросы, которые в обобщенном виде характеризуют практическую направленность исследований в этой области. Результаты опубликованных работ еще раз показывают, что накоплен достаточно большой опыт работы исследователей по сорбции ТМ, которые уже сегодня могут найти свое практическое воплощение при очистке сточных вод различных производств. Давно уже назрела ситуация, когда исследования в этой области необходимо переориентировать из плоскости теоретических изысканий в практическую, применительно к конкретным производственным процессам. Сегодня с уверенностью можно сказать, что полимерные и минеральные сорбенты являются лидирующими материалами для эффективной очистки водной среды не только от ТМ, но и углеводов. Поэтому мы не исключаем, что разработка и использование полимерных и минеральных сорбентов будет предопределять перспективность направленных исследований по очистке водных объектов от различных токсичных веществ.

Литература:

1. Давыдова С.Л. Тяжелые металлы супертоксикантов XXI века. М.: Изд-во РУДН, 2002. 140 с.
2. Давыдова С.Л. Экологические проблемы нефтепереработки / С.Л. Давыдова, В.В. Тепляков. М.: Изд-во РУДН, 2010. 173 с.
3. Vaaramaa K. Removal of metals and anions from drinking water by ion exchange. / K. Vaaramaa, J. Lehto // Desalination. 2003. V. 155. P. 157–170.
4. Dabrowski A. Selective removal of the heavy metals ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method / A. Dabrowski, Z. Hubicki, E. Robens // Chemosphere. 2004. V. 56. P. 91–105.
5. Полянский Н.Г. Методы исследования ионитов / Н.Г. Полянский, Г.В. Горбунов, Н.Л. Полянская. М.: Химия. 1976. 208 с.
6. Дмитриенко С.Г. Пенополиуретан. Старый знакомый в новом качестве. // Соросовский образовательный журнал, 1998. № 8. С. 65–70.
7. Саундерс Д.Х. Химия полиуретанов / Д.Х. Саундерс, К.К. Фриш. М.: Химия, 1986. 470 с.
8. Липатов Ю.С. Структура и свойства полиуретанов / Ю.С. Липатов, Ю.Ю. Керча, Л.М. Сергеева. Киев: Наукова Думка, 1970. 277 с.
9. Кахраманлы Ю.Н. Макроструктура и физико-химические свойства пенополимеров / Ю.Н. Кахраманлы, А.Г. Азизов, Р.В. Алиева и др. // Процессы нефтехимии и нефтепереработки, 2012. № 1. С. 87–96.
10. Кахраманов Н.Т. Сорбция нефти и нефтепродуктов с водной поверхности пенополимерными сорбентами на основе полиэтилена / Н.Т. Кахраманов, Э.Ю. Гусейнов, Н.А. Салимова // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2010. № 2. С. 29–32.
11. Кахраманов Н.Т. Кинетика сорбции нефтепродуктов полимерными сорбентами при аварийных разливах на грунт / IV Международный симпозиум «Управление безопасностью при чрезвычайных ситуациях», Ваку: Фирма «ТИ-МЕДИА», 2007. P. 231–233.
12. Кахраманлы Ю.Н. Пенополиуретан- сорбент для сбора нефти и нефтепродуктов с водной поверхности / Ю.Н. Кахраманлы, Л.Н. Юзбашева, Г.М. Фараджева. // Азербайдж. химич. журн. 2011. № 2. С. 67–72.
13. Braun T. Polyurethane foam sorbent in separation science / T. Braun, J. D. Navratil, A. V. Farag. Boca Raton: CRC Press, 1985. 220 p.
14. Свиридова О.А. Исследование хемосорбционных процессов с участием пенополиуретанов методом ИК-спектроскопии / О.А. Свиридова, С.Г. Дмитриенко, В.М. Сенявин и др. // Вестник Московского Университета, Сер. 2. Химия. 2002. Т. 43. № 3. С. 150–154.
15. Кахраманов Н.Т. Исследование механизма реакции образования комплексов перекись бензоила –диариламин / Н.Т. Кахраманов, Р.В. Алиева // Азербайдж. химич. журн, 2005. № 4. С. 204–208.
16. Сионихина А.Н. Сорбция ионов тяжелых металлов из водных растворов целлюлозосодержащим сорбентом, модифицированным поливинилпирролидоном / А.Н. Сионихина, Т.Е. Никифорова // Фундаментальные исследования. 2011. № 12. Ч. 4. С. 773–776.
17. Кокотов Ю.А. Теоретические основы ионного обмена: сложные ионообменные системы / Ю.А. Кокотов, П.П. Золотарев, Г.Е. Елькин. Л. Химия, 1986. 280 с.
18. Онабэ Ф. Ионообменное равновесие между древесной целлюлозой, диспергированной в растворах электролитов, и электролитами / Ф. Онабэ, Д. Накано // J. Jap. Tech. Assoc. Pulp. Ind. 1970. V. 24. No. 9. P.461–466.
19. Королев В.В. Адсорбция поверхностно-активных веществ на высокодисперсном магнетите / В.В. Королев, А.В. Блинов, А.Г. Рамазанова // Коллоидн. журн. 2004. Т. 66. С. 784–787.
20. Кузьмин С.М. Сорбционные свойства плазменно-модифицированного хлопчатобумажного волокна / С.М. Кузьмин, О.В. Алексеева, Н.А. Багровская // Тез. докл. XI междунар. научн. – практич. семинара «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы. SMARTEX. Иваново: ИГХТУ, 2008, С.232.
21. Никифорова Т.Е. Сорбционные свойства и природа взаимодействия целлюлозосодержащих полимеров с ионами металлов / Т.Е. Никифорова, Н.А. Багровская, В.А. Козлов, С.А. Лилин // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 5–14.
22. Yamamoto J. Ion-exchanger cellulose reactions. Ion-exchanger ability carboxyl groups / J. Yamamoto, T. Miyata // J. Soc. Text. and Cellulose Inds. Japan. 1959. V. 15. No. 10. P.805–808.
23. Еременко И.Л. Взаимодействие 3-d-элемента с лиофильной поверхностью полимерных мембран / И.Л. Еременко, Н.Н. Кулов, В. М. Новоторцев // Теорет. основы химической технол. 1990. Т. 24. № 4. С. 462–465.
24. Капуцкий Е.Е. Сорбционные и комплексообразующие свойства целлюлозных и других природных материалов // Тез. докл. 17 Всесоюз. Чугаевское. совещание по химии комплексных соединений. Минск: Техника 1990. Ч. 4. С.689.
25. Багровская Н.А. Сорбционные свойства модифицированы древесных опилок / Н.А. Багровская, Т.Е. Никифорова, В.А. Козлов и др. // Химия в интересах устойчивого развития. 2006. № 14. С. 1–7.
26. Пат. 2117719 РФ. / Бордунов В.В., Волокитин Г.Г. Способ получения волокнистого

- материала из термопластов и установка его осуществления. Заявлено 26.06.1997. Опубликовано 20.08.1998. Бюл. № 23. Приоритет 20.09.1998.
27. Петрова Е. В. Исследование перспектив использования гидрофобных волокнистых сорбентов для очистки вод от ионов металлов / Е. В. Петрова, А. П. Асташкина, Д. А. Филоненко и др. // Изв. Томского политехнич. ун-та. 2007. Т. 310. № 2. С. 136–140.
28. Петрова Е. В. Изучение сорбционной способности волокнистого сорбента, полученного из отходов полипропилена с целью использования его для очистки воды / Е. В. Петрова, В. И. Отмахов, В. А. Ганеев и др. // Аналитич. контроль. 2004. Т. 8. № 2. С. 112–117.
29. Басаргин Н. Н. Предварительное концентрирование ПХС и спектрофотометрическое определение свинца в природных водах / Н. Н. Басаргин, Э. Р. Оскотская, С. В. Чепелев и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. Т. 75. № 12. С. 7–10.
30. Басаргин «Н. Н. Влияние третьего компонента на процесс сорбции катионов Ni^{2+} полистирол- (4-азо-1') -2'-окси-5'- нитробензолом / Н. Н. Басаргин, Э. Р. Оскотская, С. В. Чепелев и др. // Ученые записки Орловского гос. университета. Серия: естественные, технические и медицинские науки. 2010. Т. 4 (38). С. 50–54.
31. Чепелев С. В. Концентрирование ионов металлов полимерными комплексобразующими сорбентами в присутствии монодентантных лигандов: извлечение и определение Pb (II), Cd (II), Ni (II) в природных объектах. Дис... канд. хим. наук. М., 2011. 163 с.
32. Байгозин Д. В. Изучение сорбции тяжелых металлов в присутствии конкурирующих ионов на трех ионообменных смолах и волокнистом ионообменном материале в модельных условиях / Д. В. Байгозин, Ю. А. Ситникова, А. Г. Митилинеос // Вода: химия и экология. 2011. № 11. С. 64–70.
33. Юшкова Э. Ю. Исследование сорбции полимерными сорбентами хромат-, нитрат- и селенит-ионов и их определение в природных и сточных водах. Дис... канд. хим. наук. М., 2006. 154 с.
34. Лаврухина А. К. Аналитическая химия хрома. М.: Наука, 1979. 218 с.
35. Оскотская Э. Р. Оптимальные условия сорбции Cr (III) полимерными сорбентами с О, О'- диокси-азо-функциональной аналитической группой / Э. Р. Оскотская, Н. Н. Басаргин, Е. Н. Грибанов и др. // Альманах современной науки и образования. 2009. № 5 (24). С. 99–101.
36. Оскотская Э. Р. Хелатообразующие сорбенты на основе полистирола в анализе природных и технических объектов // Мат. I Всерос. науч. конф. «Химико-экологические проблемы центрального региона России». Орел: ОГУ, полиграфическая фирма «Картуш», 2003. С. 29–44.
37. Басаргин Н. Н. Теоретические и практические аспекты применения полимерных хелатообразующих сорбентов О, О'-диокси-азо-функциональной аналитической группировкой в анализе объектов окружающей среды на содержание Be, Cd, Sc, Y, Co, Ni. Орел: Изд-во «Картуш», 2006. Т. 1. 176 с.
38. Мельников Б. И. Изучение сорбции ионов молибдена карбамидформальдегидными полимерами / Б. И. Мельников, О. А. Перехрест, Р. В. Смотряев, В. А. Тарасенко // Труды Одесского политехнического университета. 2000. № 2. С. 16–20.
39. Евтушенко А. А. Извлечение тяжелых металлов из сточных вод гальванических производств с продуктами конденсации мочевины и формальдегида / А. А. Евтушенко, Б. И. Мельников, О. А. Перехрест // Вопросы химии и химич. технологии. 1998. № 2. С. 54–56.
40. Овчинникова К. Н. Состояние и перспективы производства минеральных удобрений с микроэлементами / К. Н. Овчинникова, В. Д. Архипкина, Б. Ф. Федюшкин // Химич. промышл. Украины. 1999. № 4. С. 15–19.
41. Мельников Б. И. Извлечение и утилизация тяжелых и цветных металлов из сточных вод промышленных производств // Химич. промышл. Украины. 1999. № 4. С. 15–19.
42. Кахраманов Н. Т. Использование пеноматериалов для очистки воды от тяжелых металлов. Проблемы и решения / Н. Т. Кахраманов, Р. Ш. Гаджиева // Мат. 12-й Междунар. науч. — практич. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности». СПб.: Изд-во: Политехнического университета 2011. Т. 1. С. 282–284.
43. Кахраманов Н. Т. Гидрофильные сорбенты для сорбции тяжелых металлов / Н. Т. Кахраманов, Р. Ш. Гаджиева // Мат. Всерос. конф. «Актуальные вопросы технологии и защиты окружающей среды». Новочебоксарск: Изд-во: Чувашского госуниверситета, 2012. С. 56.
44. Лысенко А. А. Основы ресурсосберегающих технологий получения активированных углеродных волокон, их свойства и применение. Автореф. дисс... докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 2007. 315 с.
45. Лысенко А. А. Особенности сорбционного извлечения палладия из раствора хлоро-сульфатоккомплексов новым углеродным волокном / А. А. Лысенко, С. А. Симанова, Н. М. Бурмистрова и др. // Журн. прикл. химии. 1998. Т. 71. Вып. 3. С. 44–47.
46. Лысенко А. А. Ассортимент вискозных текстильных тканей Светлогорского производственного объединения «Химволокно» / А. А. Лысенко,

А. А. Якобук, М. П. Полховский и др. // Химические волокна. 1999. № 6. С. 39–41.

47. Коваленко Т. А. Углеродминеральный сорбент из сапропеля для комплексной очистки сточных вод / Т. А. Коваленко, Л. Н. Адеева // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. Т. 18. № 2. С. 189–195.

48. Strunina N.N. Spectral analysis of rare-earth elements in ash of sapropel and its fractions /N.N. Strunina, T.A. Kovalenko, V.T. Vaisova b lh. //J. Appl. Spectroscopy. 2009. V.76. No. 2. P. 257–259.

49. Адеева Л. Н. Комплексная очистка сточных вод сорбционным методом / Л. Н. Адеева, Т. А. Коваленко, Ю. В. Шевченко и др. // Тр. Междунар. науч. – практич. конф. «Чистая вода-2009». Кемерово: КемГИИПП. 2009. С. 257–258.

50. Коваленко Т. А. Исследование физико-химических закономерностей сорбции органических веществ и ионов металлов на углеродминеральных сорбентах, полученных из сапропелей. Автореф. дисс... канд. химич. наук, Тюмень. 2010. 126 с.

51. Акаев О. П. Изучение кинетики процесса адсорбции ионов тяжелых металлов диоксидом кремния / О. П. Акаев, А. Д. Цветкова //Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2010. № 1. С. 12–15.

52. Цветкова А. Д. Исследование процесса адсорбции ионов меди на модифицированном диоксиде кремния / А. Д. Цветкова, О. П. Акаев //Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. 2011. № 2. С. 27–30.

53. Пат. 2425807 РФ /Акаев О.П., Цветкова А.Д. и др. Способ очистки сточных вод от ионов кадмия.

Заявлено 15.03.2010. Опубликовано 10.06.2011. Бюл.№ 3. Приоритет 10.07.2011.

54. Акаев О. П. Применение кремнийорганических отходов в качестве сорбентов ионов тяжелых металлов /О.П. Акаев, А. Д. Цветкова //Журнал научных публикаций аспирантов и докторов. 2009. № 12. С. 16–19.

55. Будаева А. Д. Сорбция ионов тяжелых металлов гуматами аммония, натрия и калия / А. Д. Будаева, Е. В. Золтоев, Н. В. Бодоев и др. // Фундаментальные исследования. 2005. № 9. С. 112–113.

56. Иванов В. М. Сорбция ионов меди (II) висмутатом I, иммобилизованным на природном цеолите / В. М. Иванов, Р. А. Полянсков, А. А. Седова // Вестник Московского Университета. Сер. 2. Химия. 2005. Т. 46. № 1. С. 61–65.

57. Марченко Л. А. Влияние совместно осажденных гидроксидов на сорбцию ионов тяжелых металлов / Л. А. Марченко, А. А. Марченко // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т. 9. Вып.6. С. 868–876.

58. Домрачева В. А. Исследование сорбции тяжелых металлов и нефтепродуктов углеродными сорбентами на основе бурых углей / В. А. Домрачева, В. В. Трусова, Г. Шийрав // Электронный ресурс: http://www.rusnauka.com/3_ANR_2012/Ecologia/2_99647.doc.htm



N. T. Kakhramanov, R. Sh. Gadzhieva, A. M. Guliev, M.M. Agaguseinova

CURRENT STATE OF PROBLEM OF SORPTION WATER TREATMENT FROM HEAVY METALS

Regularities of sorption of heavy metal ions on different polymeric and mineral sorbents were viewed and analyzed. Basic factors influencing on the sorption were shown and sorption data depending on different factors were presented. The emphasis is on practical direct of research in the scientific area.

Key words: sorbents, sorption, clearing, heavy metals, toxicity