ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОУ ВПО «Кемеровский Государственный Университет»

Химический факультет

Кафедра химии твёрдого тела

Реферат

ИММОБИЛИЗОВАННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Выполнил: студентка 4 курса

группы Х-051(3)

Тарасова К. В.

Проверил: к.х.н., доцент

Якубик Д. Г.

Кемерово 2008

Иммобилизация – это закрепление вещества на поверхности носителя (матрицы).

Методы иммобилизации:

- Физическая мобилизация представляет собой включение вещества в такую среду, в которой для него доступной является лишь ограниченная часть общего объёма. При физической иммобилизации вещество не связано с носителем ковалентными связями. Существует 4 типа связывания:

1. Адсорбция на нерастворимых носителях

2. Включение в поры геля

3. Пространственное отделение вещества от остального объёма реакционной системы с помощью полупроницаемой перегородки (мембраны)

4. Включение в двухфазную среду, где вещество растворимо и может находиться только в одной из фаз

Адсорбционная иммобилизация является наиболее старым из существующих способов иммобилизации. Этот способ достаточно прост и достигается при контакте водного раствора фермента с носителем. После отмывки неадсорбированного вещества иммобилизованное соединение готово к использованию. Удерживание адсорбированной молекулы на поверхности носителя может обеспечиваться за счет неспецифических Ван-дер-ваальсовых взаимодействий, водородных связей, электростатических и гидрофобных взаимодействий между носителем и поверхностными группами вещества. Вклад каждого из типов связывания зависит от природы носителя и функциональных групп на поверхности. Взаимодействия с носителем могут быть настолько сильными, что адсорбция может сопровождаться разрушением структуры. Преимуществом метода адсорбционной иммобилизации является доступность и дешевизна сорбентов, выступающих в качестве носителей.

Суть метода гелевой иммобилизации состоит в том, что молекулы включаются в трёхмерную сетку из тесно переплетённых полимерных цепей, образующих гель. Среднее расстояние между соседними цепями в геле меньше размера молекулы включенного соединения, поэтому оно не может покинуть полимерную матрицу и выйти в окружающий раствор, т. е. находится в иммобилизованном состоянии. Дополнительный вклад в удерживание соединения в сетке геля могут вносить также ионные и водородные связи между молекулами вещества и полимерными цепями. Пространство между полимерными цепями в геле заполнено водой, на долю которой приходится значительная часть всего объёма геля. Для иммобилизации соединений в геле существует два основных способа. При одном из них вещество помещают в водный раствор мономера, затем проводят полимеризацию, в результате чего образуется полимерный гель с включенными в него молекулами соединения. В реакционную смесь также добавляют сшивающие агенты, которые придают полимеру структуру трёхмерной сетки. В другом случае вещество вносят в раствор готового полимера, который переводят в гелевое состояние. Способ иммобилизации путем включения в полимерный гель обеспечивает равномерное распределение вещества в объёме носителя.

Общий принцип иммобилизации с использованием мембран заключается в том, что водный раствор соединения отделяется от водного раствора субстрата полупроницаемой перегородкой. Такая мембрана легко пропускает небольшие молекулы субстрата, но непреодолима для больших молекул вещества. Модификации этого метода различаются лишь способами получения полупроницаемой мембраны и её природой.

При иммобилизации соединений с использованием систем двухфазного типа ограничение свободы перемещения вещества в объёме системы достигается благодаря его способности растворяться только в одной из фаз.

- Отличительным признаком химических методов иммобилизации является то, что путем химического взаимодействия на структуру вещества в его молекуле создаются новые ковалентные связи между веществом и носителем. Это обеспечивает высокую прочность образующегося конгъюгата. Хотя этот процесс оказывается на практике достаточно сложным. Поэтому чаще всего применяются методы физической иммобилизации.

Хорошо известно, что в целом ряде производственных процессов -- в электронной и полупроводниковой технике, металлургии, при изготовлении ион-селективных электродов, легировании полупроводников и др., весьма важную роль играют ионообменные процессы с участием ионов различных металлов, протекающие при контакте между твердой фазой и жидким раствором. Характерны они и для ряда природных процессов, в частности при изоморфном замещении ионов в кристаллической структуре минералов, метаморфических их превращениях, миграции радиоактивных и токсичных химических элементов в земной коре. Будучи частным случаем сорбции, ионный обмен, в сущности, является решающим в процессах извлечения тех же ионов металлов из сточных вод и отработанных технологических растворов с использованием самых разнообразных сорбционных систем -- как неорганических, так и органических.

В большинстве случаев ионообменная сорбционная система олицетворяет собой как бы симбиоз двух начал - вещества, непосредственно участвующего в процессе ионного обмена (сорбента), и вещества, выполняющего либо функцию среды, в которой с той или иной степенью равномерности распределен сорбент (наполнитель), либо поверхности, на которой нанесен слой этого сорбента (подложка). (Нередко, впрочем, термин "сорбент" применяют для обозначения сорбционной системы в целом, а не только вещества, непосредственно участвующего в ионном обмене.) Системы второй из указанных разновидностей в химии весьма часто называют имплантатами.

К числу подобных объектов, представляющих значительный теоретический и практический интерес, принадлежат сорбционные системы с иммобилизацией сорбента, где он с той или иной степенью жесткости зафиксирован в каком-либо полимерном массиве. Изучение физико-химических процессов в этих системах относится к числу сравнительно молодых разделов химической науки, и хотя становление и развитие данного научного направления произошло лишь в последние два -три десятилетия XX в., тем не менее уже сейчас как развитые в его рамках методы, так и сами иммобилизованные химические соединения наряду с чисто химическими аспектами их использования уже получили весьма значительное и успешное приложение в решении ряда задач в самых разнообразных отраслях науки и техники - электронике, энергетике, экологии, медицине, регистрации информации и др. Весьма перспективными среди таких сорбционных систем представляются полимер-иммобилизованные имплантаты на базе сульфидов металлов, проявляющие высокую селективность по отношению к ионам токсичных и благородных металлов; это обстоятельство делает их весьма удобными коллекторами при удалении токсичных металлов и концентрировании в химической технологии, а также для аналогичных целей и в аналитической химии. Кроме того, они позволяют концентрировать ионы металлов из растворов с очень малой их концентрацией и в присутствии различных органических соединений, образующих весьма прочные комплексы с этими ионами металлов. Их можно подразделить на две категории - собственно полимер-иммобилизованные и полимер-иммобилизованные, зафиксированные в виде тонких пленок на какой-либо подложке. В научной литературе XX и первого десятилетия XXI вв. можно найти достаточно большое количество весьма разнообразных сведений о подобных сорбционных системах, но данные эти весьма разрозненны, подчас противоречивы и, главное, практически не систематизированы.

Физико-химические процессы с участием иммобилизованных в неорганических или органических полимерных носителях химических соединений p-, d- и f-элементов вообще и металлосульфидов в частности - явление не менее распространенное и значимое, нежели физико-химические процессы в жидкофазных системах. Как методы иммобилизации, так и сами иммобилизованные химические соединения уже нашли применение для решения целого ряда проблем в области микроэлектроники, медицине и фармакологии; очень широко применяются полимер-иммобилизованные соединения в каталитических процессах, поскольку сочетают в себе полезные свойства как гомогенных, так и гетерогенных катализаторов. Весьма многообещающим видится будущее использования полимер-иммобилизованных систем и в качестве неподвижных фаз в самых разнообразных вариантах хроматографии, в частности ионообменной, эксклюзионной и аффинной.

Перечислять все достоинства и возможности полимер-иммобилизованных систем можно было бы еще достаточно долго. Нельзя не отметить, что процессы сорбции ионов металлов неорганическими природными сорбентами, оказывающие весьма существенное влияние на процессы перераспределения металлов в минералах и почвах, также напрямую связаны с явлением иммобилизации. Иммобилизованные сорбенты оказались весьма полезным подспорьем в процессах извлечения, концентрирования и разделения ионов металлов, в частности для извлечения следовых количеств редких и благородных металлов из морской воды, из сточных вод и отработанных технологических растворов. И хотя в настоящее время с помощью таких сорбентов еще не представляется возможным селективно адсорбировать конкретно выбранный ион металла из смеси с другими ионами металлов, однако прогресс на пути решения указанной задачи уже налицо. В этой связи следует отметить, что полимер-иммобилизованные металлосульфиды представляются одними из наиболее перспективных средств для обезвреживания сточных вод различных химических производств, и, следовательно, для решения такой важной в наше время социальной проблемы, как охрана окружающей среды.

Не секрет, что от того, каким будет состояние металлосульфида в сорбенте -- в виде мелкодисперсной твердой фазы, тонкой поликристаллической пленки или же совокупности изолированных нанокристаллов в полимер-иммобилизованной матрице, будут сильно зависеть и физико-химические характеристики в ионообменном процессе, в котором этот металлосульфид участвует. Например, число стадий процесса ионного обмена в последнем из перечисленных выше случаев меньше, нежели в двух остальных, и, кроме того, время процесса диффузии на каждой из этих стадий значительно сокращается. Указанные различия в решающей степени обуславливаются различиями в характере диффузионных процессов в изолированных кристаллах, в той или иной степени "открытых" для контакта с водными растворами, и в тонких поликристаллических пленках, имеющих малую поверхность контакта. Свойства же полимер-иммобилизованных металлосульфидных матричных систем, получаемых различным способом, в зависимости от природы полимерного носителя и иона металла также в значительной мере отличаются друг от друга. В этой связи возникает потребность в нахождении оптимальных условий синтеза металлосульфидных дисперсных систем, которые бы позволили получить сорбент с заранее заданными характеристиками (химическая, механическая устойчивость матрицы, концентрация целевых компонентов и др.). Однако диффузионные процессы, протекающие при использовании полимер-иммобилизованных металлосульфидных систем в качестве сорбентов, изучены сравнительно мало и явно требуют более детального рассмотрения - как на границе раздела фаз раствор / твердое тело, так и в самом твердом теле. Ситуация осложняется еще и тем, что существующий на сегодняшний день математический аппарат для описания диффузионных процессов на поверхности границ "зерен" микрокристаллов сульфидов металлов и вдоль их границ имеет эмпирический или в лучшем случае полуэмпирический характер, тогда как для принципиального решения проблемы переноса ионов металлов в твердом теле необходим неэмпирический подход.

Одно из новейших направлений современной координационной химии — комплексообразование в массиве природного полимера желатина, в котором предварительно иммобилизованы металлсодержащие соединения. В таких системах исходные вещества и продукты реакции с той или иной степенью жесткости удерживаются в полимерной матрице. В принципе допустимы два варианта подобного закрепления: посредством функциональных групп полимера либо за счет межмолекулярных сил. В первом — необходимо наличие у полимера структурных фрагментов, способных химически связывать ион металла; тип же образующихся связей металла с полимером зависит от природы реагирующих компонентов. Второй вариант наряду с формированием подобных химических связей предусматривает еще и закрепление вещества в полимере вследствие дисперсионного, ориентационного, индукционного и аналогичного им взаимодействий. Возможен и третий случай, когда закрепление достигается благодаря действию лишь упомянутых физических сил и не сопровождается образованием химических связей металла с полимером. Такой вариант можно реализовать посредством как сугубо физико-механических (напылением, адсорбцией, импрегнированием), так и физико-химических (осаждением вещества в полимере) операций.

Системы первого и второго типов, равно как и комплексообразование в них, в настоящее время уже весьма хорошо изучены, им посвящен целый ряд монографий и обзорных статей. Системы же третьего типа вплоть до недавнего времени выглядели этакими “пасынками” в мире иммобилизованных металлокомплексов и внимания исследователей не привлекали. Почему? Может, потому, что в свое время просто не удалось найти подходящих полимеров для комплексообразования? А может, и потому, что исследователи не видели принципиальной разницы между образованием комплексов в матрицах и в растворе (или твердой фазе)? Можно проиллюстрировать богатые синтетические возможности подобных иммобилизованных систем, каковыми являются, например Матрицы из желатина с иммобилизованными металлгексацианоферратами(II)

Почему именно желатин представляет особый интерес для создания иммобилизованных систем, в которых вещество закрепляется межмолекулярными силами и благодаря этому могут образовываться металлокомплексы? Ведь как природных, так и синтетических полимерных систем, в принципе пригодных для “физического закрепления” вещества, предостаточно — от декстрана до полиэтилентерефталата. Но в том-то и дело, что именно желатин обладает всеми необходимыми качествами (изотропностью физико-механических свойств, гидрофильностью, прозрачностью, стойкостью к действию кислых и щелочных растворов, пластичностью), необходимыми для образования гетероядерных комплексов или хелатов при контакте матрицы, в которой уже иммобилизован металлокомлекс, с водным раствором лиганда (неорганического или органического вещества, образующего координационное соединение с ионом другого металла). Наконец, этот полимер дешев, легкодоступен и удобен в обращении. Но системы с желатином как объект исследования в координационной химии вообще не использовались. Причина? Сейчас трудно сказать, но, видимо, не в последнюю очередь та, что традиционные методы иммобилизации просто не позволяли получать матричные системы с молекулярным уровнем дисперсности металлокомплексов. (Подобное достижение на первый взгляд сравнимо с ювелирной работой легендарного тульского левши, подковавшего блоху, или — в современном варианте — изготовившего электромотор размером с маковое зернышко.)

Найдены комплексы, довольно легко иммобилизуемые в желатиновом массиве. Ими оказались гексацианоферраты(II) p-, d- и f-элементов, у которых с жесткостью фиксации в желатине удачно сочетаются оптимальная кинетическая лабильность, стабильность и весьма низкая растворимость в воде. Внешне схема их иммобилизации весьма проста, хотя сам синтез всей системы — специфический и довольно трудоемкий процесс. Удобный исходный объект для ее осуществления — желатиновая матрица с иммобилизованным галогенидом серебра, а это не что иное, как светочувствительные слои современных фотоматериалов. Степень дисперсности галогенида в них отнюдь не молекулярная, но галогенид можно легко превратить в Ag (для этого используются давно и хорошо известные в фотографической практике процессы экспонирования — “засветки”, — проявления и фиксирования), и тогда размеры частиц иммобилизованного вещества уже сопоставимы с размерами крупных кластеров. А уж дальше посредством серии специфических химических реакций иммобилизованное в желатиновой матрице серебро можно заместить очень широким ассортиментом металлокомплексов вообще и гексацианоферратов(II), в частности, сохранив при этом — что очень важно — уже достигнутый молекулярный уровень дисперсности частиц. В результате в желатине окажутся иммобилизованными металлгексацианоферраты (МГФ). Проще всего такую систему получить в три стадии. На первой — содержащееся в матрице серебро окисляется гексацианоферратом(III) калия в Ag4[Fe(CN)6]:

{4Ag} + 4K3[Fe(CN)6] ® {Ag4[Fe(CN)6]} + 3K4[Fe(CN)6]

(в фигурных скобках— формулы иммобилизованных соединений). На второй — образовавшийся гексацианоферрат(II) серебра взаимодействует с галогенидом того или иного металла, например кобальта:

{Ag4[Fe(CN)6]} + 2CoCl2 ® {Co2[Fe(CN)6]+4AgCl}.

И наконец, на третьей — галогенид серебра удаляется из системы под действием раствора тиосульфата натрия:

{Co2[Fe(CN)6]+4AgCl} + 8Na2S2O3 ® {Co2[Fe(CN)6]} + 4Na3[Ag(S2O3)2] + 4NaCl.

В ряде случаев можно получить подобные системы с иммобилизованным металлгексацианоферратом(II) и более коротким путем — в две стадии. На первой — иммобилизуемый комплекс осаждается вкупе с гексацианоферратом(II) или галогенидом серебра, на второй — соединения серебра удаляются из желатинового массива опять-таки тиосульфатом [2].

Как известно, молекулы желатина состоят из трех полипептидных цепей — двух a1 и одной a2 — с почти одинаковой молекулярной массой. Цепи эти соединены меж собой ограниченным числом поперечных связей, и неудивительно, что желатиновые массивы по своей эластичности напоминают резину. Такая структура не допускает формирования жестких кристаллических блоков и удобна для создания матричных систем, так как имеет множество ячеек, куда при подходящих условиях могут “забраться” молекулы самых разных соединений. Даже будучи заполненными ими, такие ячейки сохраняют определенную свободу перемещения в пространстве. Вот почему на основе этого полимера можно получить матричные системы с практически однородным распределением иммобилизованного вещества. Перечень ценных свойств желатина этим не ограничивается, но сейчас важно другое. “Просвечивание” матриц с иммобилизованным веществом потоком электронов показало, что все они прозрачны по отношению к нему. А это значит, что содержащиеся гексацианоферраты(II) металлов и в самом деле имеют молекулярный уровень дисперсности. В соответствии со своими структурами в твердой фазе они являют собой координационные полимеры с относительно небольшой молекулярной массой и занимают пустоты между молекулами желатина. У атомов железа и другого металла, например кобальта, находящихся близко к граничной поверхности этих структур, всегда имеются вакантные координационные места.

Совокупность данных о желатине как полимерном массиве позволяет выделить следующие специфические особенности комплексообразования в системе желатин—металлгексацианоферрат(II):

- затрудненный, по сравнению с раствором, контакт между реагентами;

- наличие заряда у молекул полимерного массива (поскольку желатин — амфолит);

- крайне малый объем, где образуется комплекс;

- ограниченная подвижность комплексообразователя (в данном случае — иммобилизованного МГФ) при достаточно высокой подвижности молекул взаимодействующего с ним лиганда;

- малая скорость “доставки” лиганда в реакционный объем.

В этой связи желатиновую матрицу с МГФ, с одной стороны, можно рассматривать как твердофазный реакционный микрообъем, с другой — как некое промежуточное состояние между раствором и твердой фазой. “Лобовая атака” МГФ лигандом, пока последний не находится в водно-щелочном растворе, не приводит к успеху — гексацианоферрат(II) металла надежно защищен от него желатиновой “броней”. Другое дело при контакте того же металлокомплекса со щелочными растворами хелатирующих лигандов. Их депротонированные формы образуют более устойчивые по сравнению с МГФ координационные соединения, и лиганды, диффундируя в желатиновый слой, “атакуют” находящийся в нем МГФ изнутри. А уж далее лиганд, добравшись до металла М, связывает его в соответствующее хелатное соединение. Входящее же в состав МГФ двухвалентное железо трансформируется в кинетически инертный анион [Fe(CN)6]4–, который потом удаляется из полимерной фазы в раствор. Возможен, впрочем, и другой вариант. Вначале МГФ разрушается под действием ионов ОН–, которые содержатся в контактирующем с матрицей растворе, а уж потом возникший на его “развалинах” другой координационный полимер — оксогидроксид соответствующего металла — вступает в комплексообразование с наличным лигандом.

“Классическое” комплексообразование в МГФ-матрице

Самое резкое отличие этого процесса от образования координационных соединений в растворе (или твердой фазе) наблюдается в системе ион металла—лиганд, где металл — это, скажем, двухвалентный никель, а лиганд L — дитиооксамид H2N-C(=S)-C(=S)-NH2. Результаты анализа кинетических кривых комплексообразования, химического анализа и традиционных физических методов исследования свидетельствуют, что если этот процесс протекает в желатиновой матрице с иммобилизованным МГФ, то синтезируются минимум пять (!) координационных соединений, причем разного цвета. В стилизованной форме их можно записать как (Ni2L)2[Fe(CN)6] (зеленовато-серый), NiL(OH2)2 (розово-фиолетовый), [NiL(OH2)2]n (фиолетовый), [Ni(HL)2]n (темно-синий) и [NiLHL]– (бесцветный), где HL– и L2– — одно- и двукратно депротонированная форма лиганда дитиооксамида. Примечательно, что NiL((OH2)2 при pH<5 быстро и необратимо переходит в [Ni(HL)2]n. Если эту же реакцию комплексообразования проводить в растворе или твердой фазе, образуется лишь одно координационное соединение — [Ni(HL)2]n.

Откуда это резкое различие? А дело в том, что теоретически возможны два варианта атаки дитиооксамидом имеющихся у иммобилизованного в желатине Ni2[Fe(CN)6] вакантных координационных мест — либо сразу двух, принадлежащих разным атомам никеля, либо только одного. Первый из них, который как раз и должен привести к образованию комплекса с дефицитом лиганда, может воплотиться только в жестко ограниченном реакционном объеме и недостатке лиганда в нем. В принципе для комплексообразования в растворе и твердой фазе можно создать или то, или другое условие, а вот одновременно оба — лишь в желатиновой системе. Если же в этой системе реализуется второй вариант, из-за ее крайне малого реакционного объема создаются очень высокие концентрации ионов OH–. Это способствует “атаке” ими вакантных “аксиальных” координационных мест образующегося в первый момент интермедиата Ni(HL)2 с последующим присоединением одной молекулы лиганда и формированием протонодефицитного хелата NiL(OH2)2. При достаточно большой концентрации последнего в желатиновой системе он агрегирует и образуется полимер [NiL(OH2)2]n — опять-таки благодаря крайне малому реакционному объему.

Образование комплексных соединений при взаимодействии иона никеля с дитиоксамидом в желатиновой матрице.

Данные по комплексообразованию в этой системе подтверждают справедливость прогноза о возможности формирования в ее специфических условиях комплексов с дефицитом лиганда (Ni2L)2[Fe(CN)6], координационных полимеров [NiL(OH2)2]n и хелатов с выраженным дефицитом протонов NiL(OH2)2, [NiLHL]–. Перечень систем ион металла—лиганд, для которых комплексообразование в желатиновой матрице с иммобилизованным МГФ открывает новые синтетические возможности, этим примером отнюдь не исчерпывается. Так, взаимодействием в ней ионов Cu(II) с хиноксалин-2,3-дитиолом могут быть получены два димерных хелата, Co(III) с 8-меркаптохинолином — три координационных соединения, два из которых — интермедиаты.

Характерно, что из этих же соединений, если реакция протекает не в матрице, а в растворе или твердой фазе, образуется лишь по одному хелатному комплексу. Но все это меркнет по сравнению с тем, что способен обеспечить

Темплатный синтез.

Комплексообразование в желатиновой системе, по сравнению с таковым в растворе или твердой фазе, имеет еще большие преимущества в темплатном синтезе (т.е. из фрагментов), во всяком случае в одном из его вариантов, сопровождающемся внутримолекулярной дегидратацией. Крайне малый реакционный объем, в котором происходит комплексообразование, и протонодонорная способность желатина обеспечивают как большее сближение молекул реагирующих веществ и их избирательную ориентацию по отношению друг к другу, так и повышение подвижности протонов в молекулах образующихся промежуточных комплексов. Первым примером такого синтеза было взаимодействие иона металла (Ni,Cu) с дитиооксамидом и формальдегидом, протекающее с образованием темно-коричневых макроциклических хелатов. Позднее выяснилось, что в качестве металла может быть использован и кобальт (причем в этом случае темплатный синтез сопровождается переходом Co(II) ® Co(III)), формальдегид заменен на глиоксаль, ацетальдегид или ацетон, а дитиооксамид — на тиосемикарбазид. Замечательно, что темплатный синтез с использованием указанных органических соединений в растворе или твердой фазе требует как минимум повышенной (60°С) температуры, тогда как в МГФ-системе для него хватает и комнатной.

Темплатный синтез макроциклических хелатов в МГФ-матрице.

В темплатном синтезе сделаны пока лишь первые шаги. Однако и полученных данных вполне достаточно для того, чтобы с уверенностью говорить о его богатейших потенциальных синтетических возможностях в подобных специфических условиях, в частности, для получения гетероядерных макрокомплексов.

Для чего пригодны МГФ-системы.

Прикладные аспекты комплексообразования в них вытекают непосредственно из свойств самих этих матриц. Во-первых, их можно использовать для измерения спектров поглощения иммобилизованных в них комплексов, поскольку все полученные нами металлокомплексные желатиновые системы оптически изотропны, а содержащиеся в них химические соединения имеют молекулярный уровень дисперсности. Во-вторых, МГФ-системы пригодны для фотографии. Вспомним, ведь их предшественники — галогенсеребряные светочувствительные материалы. Как обычно обрабатываются серебряные изображения? Отбеливанием, фиксированием и тонированием. Так вот, первые две стадии по составу используемых реагентов и химизму процессов соответствуют получению самой МГФ-системы, а третья — комплексообразованию в ней, но уже без серебра. Варьируя композиции отбеливающего и тонирующего растворов, а также время обработки ими, можно создать “металлокомплексные изображения” с очень разным составом и оптико-фотографическими характеристиками.

Потенциальные возможности металлохелатных желатиновых матриц этим, однако, отнюдь не исчерпываются. В принципе их можно применять в качестве иммобилизованных электродов, сенсоров, каталитических систем и многого другого.

Есть основания говорить о создании нового научного направления в химии — изучения реакционной способности иммобилизованных в полимере координационных соединений и комплексообразования за счет межмолекулярных сил.

Литература

1 Помогайло А.Д. Полимерные иммобилизованные катализаторы. М., 1988; Помогайло А.Д., Уфлянд И.Е. Макромолекулярные металлохелаты. М., 1991.

2 Михайлов О.В. // Успехи химии. 1995. Т.64. №7. C.704—720.

3 Mikhailov O.V. // Transition Metal Chemistry. 1996. V.21. №3. P.363—369.

4 Mikhailov O.V. // Reviews in Inorganic Chemistry. 1997. V.17. №4. P.287—332.

5 Михайлов О.В. // Успехи химии. 1997. Т.66. №8. C.735—749; Mikhailov O.V., Khamitova A.I., Kazymova M.A. // Нихон сясин гаккайси (Journal of Science of Photographic Science and Technology of Japan). 1998. V.61. №6. P.387—393.