

ПЕРМСКАЯ ШКОЛА ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ: СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ



С.А. Заболотных,
Институт технической химии
УрО РАН



С.А. Денисова,
Пермский государственный
национальный исследовательский
университет



А.Е. Леснов,
Институт технической химии
УрО РАН

Статья посвящена становлению и развитию метода жидкостной экстракции в научных школах г. Перми, представлены данные об исследовании новых экстракционных реагентов, их свойств и применении в практике аналитической химии, о разработке новых нетрадиционных экстракционных систем на основе химического взаимодействия компонентов или высаливания поверхностно-активных веществ неорганическими соединениями.

Ключевые слова: пермская школа жидкостной экстракции, экстракционные реагенты; нетрадиционные экстракционные системы.

Проблема разделения смесей и выделения в чистом виде индивидуальных химических соединений имеет огромное практическое значение. Интерес к этой проблеме особенно усилился в связи с развитием металлургии цветных и редких металлов, полупроводниковой техники и атомной энергетики. Усовершенствование методов разделения и очистки веществ стимулируется также развитием других областей производства: нефтяной, химической, фармацевтической.

Одним из наиболее перспективных и эффективных методов разделения и очистки жидких смесей является жидкостная

экстракция. Основные преимущества этого метода – высокая избирательность и степень разделения, возможность работы как с большими, так и с малыми концентрациями веществ, легкость технологического и аппаратурного оформления. Имеется возможность осуществления непрерывного процесса и его автоматизации. Экстракция также может использоваться в качестве составной части комбинированных и гибридных методов определения элементов. Эти особенности делают экстракционный метод весьма перспективным для применения в различных отраслях промышленности.

Развитие экстракционных методов достигло такой степени, что в настоящее время можно экстрагировать любой элемент или разделить любую пару элемен-

тов путем применения тех или иных экстракционных систем или выбора соответствующих условий экстракции.

ЭКСТРАКЦИОННЫЕ РЕАГЕНТЫ

Эффективность жидкостной экстракции в первую очередь зависит от используемого экстрагента. В связи с этим одним из главных направлений исследований является поиск доступных, безопасных и селективных экстракционных реагентов.

Производные пиразолона как экстракционные реагенты

В Пермском крае начало широких исследований в области экстракции в первую очередь связано с именами С.И. Гусева и В.П. Живописцева. В 1950 г. профессором Пермского медицинского института С.И. Гусевым в качестве реагентов для неорганического анализа были предложены производные пиразолона (антипирин, пирамидон, пикролоновая кислота) [1]. Широкие возможности этих соединений, их способность к многочисленным реакциям комплексообразования и солеобразования с большинством элементов периодической таблицы привлекли внимание химиков-аналитиков. Значительная растворимость антипирина (Ант)

и его комплексных соединений затрудняла его использование в экстракционном анализе. В связи с этим начались поиски, направленные на улучшение экстракционных свойств соединений этого класса.

Профессором С.И. Гусевым было предложено применение азопроизводных ряда гетероциклических соединений, включая антипирин, в качестве реагентов для экстракционно-фотометрического анализа. Это направление интенсивно развивалось под его руководством на кафедре химии Пермского медицинского института в течение нескольких десятилетий. Кандидатские диссертации, в которых затрагивались вопросы экстракции, защитили Л.М. Щурова (1966), Э.М. Николаева (1966), Г.Г. Шаламова (1968), Л.В. Поплевина (1968), Г.А. Курепа (1969), И.Н. Глушкова (1970), И.В. Колосова (1970), М.В. Жвакина (1972), Н.Ф. Гаврилова (1978) и др.

Ассистентом кафедры аналитической химии ПГУ В.П. Живописцевым был предложен диантипирилметан (ДАМ), который является как бы двойным антипи-



Гусев Сергей Иванович



Живописцев Виктор Петрович

рином (содержит в составе две молекулы антипирина), поэтому, с одной стороны, сохраняет и даже усиливает (благодаря взаимному влиянию групп) способность к комплексообразованию. С другой стороны, благодаря эффекту «удвоения молекулярной массы», значительно снижается растворимость соединений с неорганическими ионами в водных растворах и повышается их способность к экстракции в органические растворители. В 1951 г. В.П. Живописцев защитил кандидатскую диссертацию на тему «Высокомолекулярные комплексные соединения диантипирилметана с кадмием и кобальтом и их применение в неорганическом анализе». В 1959 г. А.А. Минин защитил кандидатскую диссертацию на тему «Комплексное соединение титана с некоторыми производными антипирина и возможность их использования в аналитической химии». Позднее в круг исследований были введены гомологи и производные ДАМ [2]. Все эти соединения в кислых растворах способны образовывать органические катионы. В виде этих катионов они образуют экстрагируемые ионные ассоциаты со многими анионами, особенно комплексными, в состав которых входит металл: $(RH)_n[MX_m]$, где М – металл, Х – электроотрицательный лиганд, R – органический реагент.

В средах, близких к нейтральным, антипирин и его производные способны образовывать комплексы внедрения $[MR_n]X_m$. Соединения этого типа получены для многих металлов с Ант, пирамидом и ДАМ.

Образующиеся комплексы как первого, так и второго типа в ряде случаев обладают ценными свойствами: малой растворимостью, характерной окраской, способностью извлекаться несмешивающимися с водой органическими растворителями и т.д. Это позволило разработать экстракционно-титриметрические, экстракционно-фотометрические и другие методы определения, а также методы разделения и выделения более 50 элементов периодической системы [3, 4].

С 1967 г. В.П. Живописцев, будучи уже доктором химических наук, возглавил кафедру аналитической химии в Пермском государственном университете. С приходом нового заведующего на кафедре стало развиваться в полную силу направление «Производные пиразолона и их применение в аналитической химии». В.П. Живописцев с самого начала выделил в этом направлении две основные темы:

- 1) антипириновые красители в практике неорганического анализа;
- 2) экстракционные методы выделения и разделения ионов металлов с применением ДАМ и его гомологов.

Антипириновые (пиразолоновые) красители являются аналогами широко распространенных трифенилметановых красителей, у которых один ароматический радикал заменен антипириновым или пиразолоновым фрагментом. Благодаря легкости синтеза и наличию дополнительных центров комплексообразования в пиразолоновом фрагменте эти реагенты нашли применение в анализе широкого спектра неорганических ионов. Развитие этого этапа обеспечивали высококвалифицированные специалисты, защитившие в последствии кандидатские диссертации: М.Н. Челнокова (1963), А.П. Липчина (1969), Е.А. Селезнева (1973), Т.Б. Черепанова, З.И. Брагина, В.А. Истомина (1973), Э.Г. Бондарева (1975), Н.М. Тарасов (1983), Г.Е. Шестакова, Л.В. Задорожная и др.

Экстракцией ионов производными ДАМ занимались А.А. Минин, Л.П. Пятосин, В.Х. Аитова (Зальцберг) (1964), Б.И. Петров (1966), Г.Е. Шестакова (1984), М.И. Дегтев (1974), Т.Б. Москвитина (1980), И.А. Кислицын (1996), Е.М. Нечаева (2009) и др. Исследования большинства из перечисленных сотрудников были обобщены в кандидатских диссертациях. По этим темам докторские диссертации защитили: в 1989 г. Б.И. Петров [5], в 1994 г. М.И. Дегтев [6], а в 2004 г. А.Е. Леснов [7].

В 1974 году кафедра приступила к изданию самостоятельного сборника «Ученые записки ПГУ» серии «Органические

реагенты в аналитической химии». Выпуск первого сборника «Диантипирилметан и его гомологи как аналитические реагенты» был приурочен к первой Всесоюзной конференции по пиразолонам. Главными редакторами сборника в разные годы были С.И. Гусев, Ф.Р. Вержбицкий, Б.И. Петров, М.И. Дегтев.

Применение производных Ант, особенно группы ДАМ, в качестве экстракционных реагентов по-прежнему остается ведущим направлением на кафедре аналитической химии Пермского государственного университета.

Трехфазные системы

В 1963 г., изучая экстракцию тиоцианатных комплексов металлов диантипирилалканами в смесь органических растворителей, ученые столкнулись с очень интересным фактом образования в процессе экстракции систем с тремя жидкими фазами. На целесообразность использования трехфазных систем впервые указали В.П. Живописцев с сотрудниками, установившие возможность аналитического концентрирования элементов в меньшей по объему органической фазе [8, 9]. Суть идеи – концентрирование микропримесей из водного раствора 100–1000 мл в объем третьей фазы 0,8–1,0 мл для их последующего определения. Объем третьей фазы целиком определяется количеством введенного реагента. При подборе смеси растворителей приходится руководствоваться и еще одним соображением. Хотя третья фаза и содержит высокие концентрации анионов и ДАМ, она обычно невелика по объему и, если бы экстракция проходила только вследствие поглощения элементов третьей фазой, время извлечения было бы весьма значительным. В случае наличия в системе второй фазы, во много раз превосходящей по объему третью, при встряхивании происходит соприкосновение водного раствора не только с третьей, но и со второй фазой, роль которой в процессе экстракции весьма существенна.

Здесь одновременно протекает несколько процессов. Прежде всего, благодаря наличию небольших количеств ДАМ и анионов, в нее экстрагируется небольшое количество элементов в виде соответствующих комплексных соединений. Последние, как правило, не растворяются в органическом растворителе в отсутствие избытка реагента и выделяются в виде сольватов. Таким образом, вторая фаза пересылает образующиеся комплексы элементов в третью фазу и одновременно получает из последней новые порции простой соли реагента (состояние равновесия). Водная фаза, как правило, является исключительно поставщиком необходимых для комплексобразования компонентов и на состояние равновесия двух органических фаз (в области расслаивания и в близких к ней точках) почти не влияет. Комплексы элементов на 95–98 % сосредотачиваются в третьей фазе. Сконцентрированные в третьей фазе элементы можно определять любыми известными методами, но особенно удобно их спектральное определение. В дальнейшем это направление получило развитие в работах Б.И. Петрова, Ю.А. Махнева, К.Г. Галиновой, Э.Т. Бобовской и др.

Пермской школе химиков принадлежат оригинальные работы по физико-химическому анализу трехфазных экстракционных систем с применением производных пиразолона. На основе анализа изотерм растворимости были найдены оптимальные условия образования третьей фазы. В этих работах активное участие принимали Т.П. Яковлева, Ю.А. Щуров, К.И. Мочалов, Н.К. Мочалова и др.

1,3-Замещенные пиразол-5-она как экстракционные реагенты

Помимо производных антипирина в круг интересов Пермских исследователей попали 1,3-замещенные пиразол-5-она. По аналогии с диантипирилалканами были получены производные ди-(1-фенил-3-метилпиразол-5-он-4-ил)метана и изучены их экстракционные свойства. Отличием этих соединений от производных Ант

является амфотерность, т.е. возможность проявлять в зависимости от состава среды кислотные или основные свойства. Эти исследования, проводимые под руководством М.И. Дегтева с середины 70-х, были обобщены в кандидатских диссертациях М.А. Волковой (Хорьковой) (1984) и М.А. Соловьевой (2009).

Помимо новых положительных качеств, например, возможности извлекать ряд элементов из щелочных растворов, у реагентов этой группы обнаружились и некоторые недостатки – относительно низкая растворимость в малополярных растворителях и склонность к окислению. В начале 80-х годов для улучшения экстракционных свойств дипиразолонилметанов Б.И. Петров предложил заместить в первом положении пиразольного цикла фенильный радикал на алифатический с длинной углеводородной цепью. Эта гипотеза была подтверждена на примере производных ди-(1-гексил-3-метил-5-гидрокси-пиразол-4-ил)метана в кандидатской диссертации А.Е. Леснова (1990). Наличие алифатического заместителя в первом положении пиразольного кольца позволило использовать в качестве экстракционных реагентов и незамещенные 1-алкил-3-метилпиразол-5-оны (АМП), что было показано в кандидатской диссертации сотрудника Института технической химии Е.А. Сазоновой (2003).

В дальнейшем изменение экстракционных свойств реагентов при замене ароматического заместителя на алифатический изучалось на примере производных пиразолона, образующих внутримолекулярные соединения. Сравнивались свойства распространенных в экстракции ацилпиразолонов с впервые синтезированными 4-ароил-1-алкил-3-метилпиразол-5-онами и с 4-оксимино-1-алкил-3-метилпиразол-5-онами. В этих случаях существенных преимуществ реагенты с алкильными заместителями не показали. Полученные результаты послужили основой кандидатской диссертации Л.В. Пустовик (2002), выполненной под руководством А.Е. Леснова и П.Т. Павлова.

Гидразиды карбоновых кислот как экстракционные реагенты

Идея улучшения экстракционных свойств реагентов при замене ароматических заместителей алифатическими нашла свое подтверждение на примере гидразидов карбоновых кислот в работах А.В. Радужева, переехавшего в 1985 г. в Пермь из г. Жданова (ныне Мариуполь, Украина), где он руководил кафедрой аналитической химии металлургического института. В Перми А.В. Радушев возглавил лабораторию органических комплексообразующих реагентов института органической (ныне технической) химии УрО РАН.

Несмотря на наличие в Перми известной школы химиков-органиков под руководством И.С. Бердинского, занимавшейся синтезом и изучением гидразидов, систематических работ по изучению их экстракционных свойств практически не проводилось. Следует упомянуть кандидатскую диссертацию Н.Е. Воробьевой (Завьяловой) по исследованию экстракции осмия (VIII) ацилсульфонилгидразидами, защищенную в 1989 г. Реагенты были впервые получены доцентом ПГУ П.Т. Павловым.

Гидразиды алициклических и *n*-алифатических карбоновых кислот, предложенные А.В. Радушевым, оказались эффективными собирателями сильвина, сульфидных руд, экстрагентами цветных металлов, ингибиторами коррозии. По экстракционным свойствам некоторые гидразиды нафтеновых кислот и *N',N'*-диалкилгидразиды могут быть альтернативой промышленно применяемым β-дикетонам и оксиоксимами при экстракции меди. Интересные экстракционные свойства проявили и близкие по строению 1,2-диацилгидразины. Эти работы были обобщены в кандидатских диссертациях В.Ю. Гусева (1998) и Л.Г. Чекановой (2002) и докторской диссертации А.В. Радужева (1998) [10].

Дальнейшим развитием этой тематики явилось изучение предложенных в 1995 г. гидразидов кислот Versatic как экстрагентов никеля из кислых сред и *N',N'*-диал-

килгидразидов – для экстракции цветных металлов из аммиачных растворов. По сравнению с гидразидами алициклических и *n*-алифатических карбоновых кислот эти реагенты обладают повышенной химической устойчивостью и растворимостью в органических растворителях. Кандидатские диссертации защитили

Т.Д. Багуева (2007), Ю.Б. Ельчищева (2008), В.Н. Ваулина (2008), Д.А. Пашкина (2013). В.Ю. Гусев в 2012 г. защитил докторскую диссертацию [11]. В настоящее время по этим темам работают аспиранты О.А. Воронкова, К.О. Манылова и А.В. Катаев.

СИСТЕМЫ БЕЗ ОРГАНИЧЕСКОГО РАСТВОРИТЕЛЯ

С начала 80-х годов и по настоящее время разрабатывается научное направление по изучению водных экстракционных систем с расслаиванием без органического растворителя, т.е. системы с одним жидким компонентом – водой. Направление отличается перспективностью и отвечает требованиям, предъявляемым к охране окружающей среды, повышает безопасность работы. Одной из причин расслаивания систем может быть химическое взаимодействие компонентов водного раствора, которое приводит к образованию нового соединения с ограниченной растворимостью в воде. В других случаях расслаивание водного раствора на две жидкие фазы обеспечивается за счет введения высаливателя [12].

Системы с химическим взаимодействием

В 50-е годы пермскими специалистами физико-химического анализа Е.Ф. Журавлевым и И.Л. Крупаткиным изучен ряд тройных водных систем, содержащих производные пиразолона, которые в результате химического взаимодействия с различными кислотными компонентами расслаивались на две жидкие фазы. Практического применения это явление в те годы не нашло.

В начале 80-х годов сотрудниками кафедры аналитической химии Пермского университета, под руководством Б.И. Петрова, начато использование водных расслаивающихся систем, содержащих Ант и органическую кислоту, для экстракционного выделения, разделения и концентрирования ионов металлов.

Оказалось, что многие ионы металлов концентрируются в тяжелой жидкой фазе [13]. Проведенные исследования позволили разработать ряд гибридных методик определения ионов металлов. Помимо антипирина [14], расслаивающиеся системы образуют другие производные пиразолона, например, ДАМ и его гомологи [15], амидопирин, тиопирин, 1-алкил-3-метилпиразол-5-оны и др. В качестве кислотных компонентов применялись пирокатехин, трихлоруксусная, нафталин-2-сульфо, бензойная, салициловая, сульфосалициловая, антралиловая, хлорная или азотная кислоты [16].

По результатам исследований расслаивающихся систем на основе производных пиразолона защитили кандидатские диссертации С.И. Рогожников (1985), С.А. Денисова (2000), Н.В. Порошина (2006), Е.Н. Аликина (2009), О.Н. Попова (2013). В разные годы исследования подобных систем проводили Г.Ю. Афендикова, Т.Б. Москвитина, В.М. Чукин, Г.Е. Шестакова, М.И. Дегтев. Значимый вклад в изучение процессов расслаивания методами физико-химического анализа внесла доцент кафедры неорганической химии ПГУ Т.П. Яковлева [17].

В настоящее время на кафедре аналитической химии ПГУ продолжают исследования данной темы под руководством М.И. Дегтева и Е.Н. Аликиной. После перехода профессора Б.И. Петрова в Алтайский университет (г. Барнаул) эта тематика вошла в докторскую диссертацию С.В. Темерева (2008), ныне заведующего кафедрой аналитической химии [18].

Сравнение извлечения ионов металлов производными Ант в традиционных системах и в системах без органического растворителя позволяет сделать вывод о наличии их сходства. Привлекая большой массив опубликованных экспериментальных данных по экстракции реагентами группы ДАМ, можно прогнозировать поведение ионов металлов в предложенных расслаивающихся системах. Это создает благоприятные условия для разработки безопасных методик выделения и разделения ионов металлов с последующим аналитическим определением.

Системы с высаливанием

Введение неорганических солей в водные растворы многих органических веществ приводит к расслаиванию. Особый интерес в этом плане вызвал полиэтиленгликоль. Расслаивающиеся системы на его основе в начале 80-х гг. были предложены для экстракции ряда ионов металлов [19]. Многие промышленно выпускаемые ПАВ также содержат полиэтиленгликолевые фрагменты и обладают хорошей растворимостью в воде. Кроме этого, некоторые из них содержат функциональные группы, потенциально способные образовывать комплексы с ионами металлов. В связи с этим следовало ожидать, что расслаивающиеся системы на основе ПАВ и неорганического высаливателя также будут обладать хорошими экстракционными свойствами. Это предположение, выдвинутое сотрудником Института технической химии А.Е. Лесновым, было подтверждено коллективом

исследователей: д.х.н. О.С. Кудряшовой, к.х.н. С.А. Денисовой, магистрами и аспирантами. Оказалось, что способностью к расслаиванию обладают ПАВ различной природы: неионогенные – синтанолы, синтамыды; анионогенные – оксифос, алкилсульфаты и сульфонаты; катионогенные – катамин АБ [20–22]. В качестве высаливателей можно использовать неорганические соли щелочных металлов и аммония [23]. Помимо обеспечения расслаивания неорганическая соль может являться комплексообразователем (например, хлориды, тиоцианаты). А сам ПАВ в ряде случаев может служить реагентом (например, оксифос-Б, катамин АБ).

Рассмотренные системы обладают рядом достоинств: изученные ПАВ являются многотоннажными продуктами и имеют относительно низкую стоимость; все компоненты системы нетоксичны и биоразлагаемы; экстракт способен растворяться в воде, что позволяет исключить из процесса стадию реэкстракции. Расширить экстракционные возможности систем можно путем дополнительного введения водорастворимых комплексообразующих реагентов.

К исследованиям по этой теме привлекались студенты кафедры аналитической химии ПГУ и аспиранты ИТХ УрО РАН. Под руководством А.Е. Леснова кандидатские диссертации защитили А.В. Головкина (2011) и Н.Н. Останина (2013). В настоящее время подготовлена работа Е.Ю. Чухланцевой, проходят обучение в аспирантуре С.А. Заболотных и А.М. Елохов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольшее количество исследований по экстракции проведено на кафедре аналитической химии ПГНИУ и лаборатории органических реагентов ЕНИ, образованной при кафедре в 1973 г. Подавляющее большинство исследователей Перми, занимающихся проблемами экстракции, являются выпускниками этой кафедры.

В настоящее время интенсивные ис-

следования в области химии экстракции ведутся в лаборатории органических комплексообразующих реагентов (заведующий – к.х.н. Л.Г. Чеканова).

В истории исследований по химии экстракции, проводимой Пермскими химиками, обращает на себя внимание логика развития направлений работ (рисунок). Исследования аналитических свойств ан-

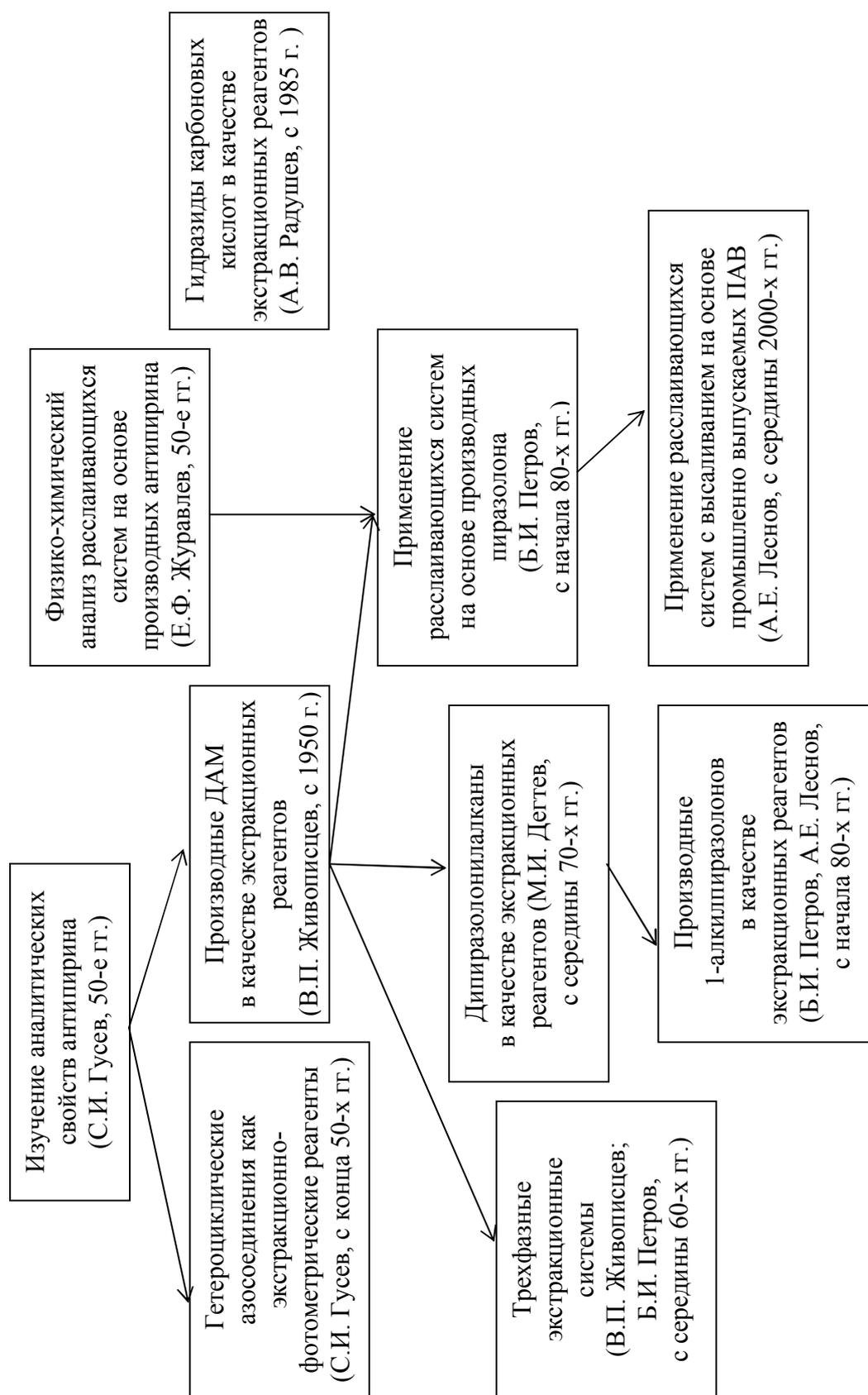


Рис. Развитие направлений исследований по экстракции, проводимых пермскими химиками

типирина (С.И. Гусев) послужили основой для работ по применению гетероциклических азосоединений (С.И. Гусев) и производных диантипирилметана в экстракции (В.П. Живописцев). Последняя тема получила свое дальнейшее развитие в исследованиях трехфазных экстракционных систем (В.П. Живописцев, Б.И. Петров) и изучении производных дипиразолонилметана в качестве экстракционных реагентов (М.И. Дегтев) и впоследствии в исследовании экстракционной способности производных 1-алкил-3-метилпиразолонов (Б.И. Петров, А.Е. Леснов). Работы по физико-химическому анализу расслаивающихся систем на основе производных пиразолона, проведенные пермскими специалистами по физико-химическому анализу Е.Ф. Журавлевым и И.Л. Крупаткиным, послужили отправной точкой начала работ по экстракционным системам без органического растворителя, расслаивающихся в результате химического взаимодействия компонентов (Б.И. Петров).

Опыт работ с системами без органического растворителя позволил предложить для экстракции системы с ПАВ, расслаивающиеся в результате высаливания (А.Е. Леснов). И только работы по экстракционным свойствам гидразидов кар-

боновых кислот (А.В. Радушев), были «импортированы» из другого региона.

Отличительная черта пермской школы экстракции состоит в тесной связи со специалистами, занимающимися физико-химическим анализом. В настоящее время эту традицию поддерживает профессор ЕНИ при ПГНИУ О.С. Кудряшова, под руководством которой изучаются фазовые равновесия в расслаивающихся системах вода – ПАВ – неорганический высаливатель.

На сегодняшний день можно сказать, что в Перми сформировалась квалифицированная школа жидкостной экстракции. Активно осуществляются поиск и получение новых эффективных экстрагентов, изучение их физических и химических свойств. Также продолжают развиваться разработки новых удобных, безопасных и простых экстракционных систем на основе доступных соединений (производные пиразолона, поверхностно-активные вещества, гидразиды карбоновых кислот). Конечно, хочется верить, что потенциал всех исследований в области жидкостной экстракции еще далеко не исчерпан.

Авторы статьи выражают благодарность Михаилу Ивановичу Дегтеву, Сергею Ивановичу Рогожникову и Вадиму Юрьевичу Гусеву за помощь в поиске материала.

Библиографический список

1. *Гусев С.И.* Применение антипирина, пирамидона и пикролоновой кислоты в аналитической химии: дис. ... д-ра хим. наук. – Молотов, 1950.
2. *Живописцев В.П.* Производные антипирина как аналитические реагенты: дис. ... д-ра хим. наук. – Пермь: Пермск. ун-т, 1965. – 523 с.
3. Диантипирилметан и его гомологи как аналитические реагенты // Уч. записки Пермск. ун-та № 324. – Пермь, 1974. – 280 с.
4. *Петров Б.И.* // Журнал аналитической химии. – 1983. – Т. 38. – № 11. – С. 2051.
5. *Петров Б.И.* Экстракционные системы различных типов с антипирином, диантипирилалканами и их использование в аналитической химии: дис. ... д-ра хим. наук. – Пермь: Пермск. ун-т, 1989.
6. *Дегтев М.И.* Химия экстракции металлов производными пиразолона: дис. ... д-ра хим. наук. – Пермь: Пермск. ун-т, 1996. – 288 с.
7. *Леснов А.Е.* Экстракционные равновесия в системах различных типов, содержащих производные пиразолона: дис. ... д-ра хим. наук. – Пермь: ИТХ УрО РАН, 2004. – 338 с.
8. *Живописцев В.П., Поносов И.Н., Селунева Е.А.* // Журнал аналитической химии. – 1963. – Т. 18. – № 12. – С. 1432.
9. *Живописцев В.П., Мочалов К.И., Петров Б.И., Яковлева Т.П.* // Сб. «Химия процессов экстракции». – М.: Наука. 1972.
10. *Радушев А.В.* Теоретические основы и технологии извлечения меди и сопутствующих металлов из растворов с гидразидами: дис. ... д-ра хим. наук. – Пермь: ИТХ УрО РАН, 1998. – 242 с.
11. *Гусев В.Ю.* Физико-химические свойства гидразидов и их взаимодействие с ионами некоторых d-элементов: дис. ... д-ра хим. наук. – Пермь: ИТХ УрО РАН, 2012. – 237 с.

12. Леснов А.Е., Денисова С.А. // Вестник Пермского научного центра. – 2010. – № 1. – С. 26.
13. А.с. 1157391 СССР. Способ выделения элементов / Б.И. Петров, С.И. Рогожников, Т.П. Яковлева, Т.Б. Москвитина, Г.Е. Шестакова, Г.Ю. Афендикова, Н.Н. Тарасова, Л.П. Пятосин, А.Е. Леснов, С.И. Гусев // Б.И. 1985. № 19.
14. Петров Б.И., Леснов А.Е., Денисова С.А. // Изв. Алтайск. гос. ун-та. – 2003. – № 3. – С. 28.
15. Петров Б.И., Леснов А.Е., Денисова С.А. // Изв. Алтайск. гос. ун-та. – 2004. – № 3. – С. 30.
16. Петров Б.И., Леснов А.Е., Денисова С.А. // Журнал аналитической химии. – 2015. – Т. 70. – № 6. – С. 563.
17. Яковлева Т.П., Леснов А.Е., Петров Б.И., Денисова С.А. Жидкофазные и экстракционные равновесия в нетрадиционных экстракционных системах, содержащих производные пиразолона (обзор) / Избранные главы физико-химического анализа. – Пермь: Пермск. ун-т, 2003. – С. 135.
18. Темерев С.В. // Журнал аналитической химии. – 2008. – Т. 63. – № 3. – С. 322.
19. Зварова Т.И., Шкинев В.М., Спиваков Б.Я., Золотов Ю.А. // Докл. АН СССР. – 1983. – Т. 273. – № 1. – С. 107.
20. Кудряшова О.С., Бортник К.А., Чухланцева Е.Ю. и др. // Журнал неорганической химии. – 2013. – Т. 58. – № 2. – С. 290.
21. Заболотных С.А., Денисова С.А. // Вестник Пермского университета. Сер.: Химия. – 2014. – Вып. 1(13). – С. 50.
22. Головкина А.В., Кудряшова О.С., Леснов А.Е. // Журнал физической химии. – 2013. – Т. 87. – № 9. – С. 1518.
23. Леснов А.Е., Денисова С.А. // Вестник Пермского университета. Сер.: Химия. – 2014. – Вып. 1 (13). – С. 79.
24. Дегтев М.И. Об истории развития КАХ ПГУ // Методы аналитического контроля материалов и объектов окружающей среды: материалы региональной науч. конф. – Пермь, 2001. – 192 с.

PERM SCHOOL OF SOLVENT EXTRACTION: FORMATION AND DEVELOPMENT

S.A. Zabolotnykh¹, S.A. Denisova², A.E. Lesnov¹

¹ Institute of Technical Chemistry RAS UD

² Perm State National Research University

The paper is devoted to the formation and development of the solvent extraction method in higher educational institutions of Perm. Data on the study of new extraction reagents, their properties and application in practice of analytical chemistry are presented along with the information on the development of new and innovative extraction systems based on the chemical interaction between components or on the salting out-effect of surfactants by inorganic compounds.

Keywords: Perm School, liquid extraction, extraction reagents; unconventional extraction systems.

Сведения об авторах

Заболотных Светлана Александровна, аспирант, Институт технической химии УрО РАН (ИТХ УрО РАН), 614013. г. Пермь, ул. Академика Королева, 3; e-mail: zabolotsveta@mail.ru

Денисова Светлана Александровна, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), 614600, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: svetlden@rambler.ru

Леснов Андрей Евгеньевич, доктор химических наук, старший научный сотрудник, ИТХ УрО РАН; e-mail: lesnov_ae@mail.ru

Материал поступил в редакцию 13.07.2015 г.