

Анализ вещества

УДК 543.621;54.062

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОБОПОДГОТОВКИ ВОЗВРАТНОГО МЕТАЛЛОСодЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ (обзор)¹

© М. С. Доронина, Ю. А. Карпов, В. Б. Барановская²

Статья поступила 11 декабря 2015 г.

В статье приведен обзор методов подготовки проб различных видов вторичного металлосодержащего сырья (катализаторов, электронного лома, шламов и пр.) к последующему анализу в виде растворов: растворение в смесях минеральных кислот, сплавление с различными плавнями, выщелачивание и др. Для интенсификации пробоподготовки используют повышение температуры и давления, воздействие ультразвука, микроволнового излучения. Описаны способы пробоподготовки с применением сорбционного концентрирования для последующего определения не только благородных, но и цветных и редких металлов, а также токсичных элементов. Проведенный обзор показал, что стадия подготовки проб крайне важна для достижения потенциальных возможностей применяемых аналитических методов.

Ключевые слова: возвратное металлосодержащее сырье; пробоподготовка; благородные металлы; токсичные элементы; сорбционное концентрирование.

Возвратное металлосодержащее сырье (ВМС) — один из самых сложных объектов аналитического контроля. Большое число компонентов, включающих благородные, цветные, редкие металлы, органические соединения (влагозащитные, диэлектрические связующие, лаки и пр.), и нестереотипность их сочетаний создают комплекс проблем при переработке и анализе ВМС.

Аналитический контроль ВМС включает процедуры отбора, подготовки проб и анализа. Каждая из этих стадий является значимой для точности конечного результата и требует особого методического подхода.

Данная работа посвящена обзору методов подготовки проб различных видов ВМС (катализаторов, «электронного лома», шламов и пр.) к последующему анализу.

В данной работе отбор представительной пробы не будет рассмотрен — это важный аспект проблемы и тема отдельного исследования. Отметим только, что если пробоподготовкой и анализом занимаются аналитические лаборатории, то пробоотбор — это задача технологических подразделений.

Аналитический процесс в лаборатории начинается с подготовки пробы к анализу (пробоподготовки). Для анализа жидких проб в литературе описаны различные методы предварительной химической подготовки проб ВМС: растворение в смесях минеральных кислот (HCl, HNO₃, HClO₄, HF, H₂SO₄), сплавление с различными плавнями (K₂S₂O₇, Li₂B₄O₇, Na₂O₂, NaOH), выщелачивание и др. Для интенсификации пробоподготовки используют повышение температуры и давления, воздействие ультразвука, микроволнового излучения.

Для разложения ВМС в открытых системах используют методы кислотного растворения и щелочного сплавления. В табл. 1 эта информация обобщена для вторичных благородных металлов («электронный лом», отработанные катализаторы и т.д.).

Кислотное разложение является наиболее простым и часто применяемым способом перевода в раствор проб различного состава. Растворение проб в кислотах обеспечивает меньшую концентрацию солей в растворе по сравнению со сплавлением [2].

Процесс разложения с пиросульфатами щелочных металлов протекает аналогично растворению в серной кислоте. Основным действующим агентом плавня является выделяющийся серный ангидрид, который на стадии разложения обладает значительной реакционной способностью. При высоких температурах (750 – 850 °C) гетерогенные процессы протекают намного быстрее, чем при растворении в кислотах. Это позволяет не только ускорить разложение проб, но и

¹ Работа выполнена при софинансировании Министерства образования и науки РФ по программе повышения конкурентоспособности НИТУ «МИСиС» среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013 – 2020 гг. (№ К1-2014-026) и при поддержке Российского научного фонда по проекту № 14-13-00897 (в части обзора методов химической диагностики исследуемых объектов).

² Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия; e-mail: baranovskaya@list.ru

решить задачу полного вскрытия труднорастворимых объектов анализа [1].

Состав анализируемого раствора при всех способах разложения — смесь хлоридов и нитратов или хлоридов и сульфатов определяемых элементов и элементов основы пробы ($2 - 5 \text{ мг/см}^3$) [13]. При определении платиновых металлов способ сплавления с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ предпочтительнее, так как при растворении плава происходит частичное отделение компонентов основы пробы в виде оксидов и других нерастворимых соединений.

Интенсификация пробоподготовки достигается за счет применения высокоагрессивных агентов и сред, работы при повышенных температуре и давлении, воздействия ультразвука, магнитных, электромагнитных и электрических полей (в том числе СВЧ, электронов, УФ и вакуумного УФ-излучения, рентгеновских лучей, искрового или дугового разрядов и др.).

На сегодняшний день наиболее надежными и эффективными являются автоклавные методы пробоподготовки, предусматривающие использование герметично замкнутых реакционных объемов с микроволновым или резистивным нагревом [14].

Сочетание автоклавов и современных аналитических приборов позволяет автоматизировать процесс

анализа и тем самым полнее реализовать потенциальные возможности аналитических методов [15].

Метод автоклавной пробоподготовки использовали для вскрытия проб отработанных автомобильных катализаторов, минерального сырья и ВМС с целью последующего определения МПГ [16 – 19].

Один из наиболее современных методов переведения пробы в раствор — подготовка пробы в условиях микроволнового нагрева. Микроволновое излучение в последние годы нашло широкое применение в различных областях химии и технологии. Микроволновое излучение — один из видов неионизирующего электромагнитного излучения, частоты которого расположены между инфракрасной областью и радиочастотами в диапазоне $300 - 30\,000 \text{ МГц}$ [20].

Основными причинами интенсификации разложения проб в условиях микроволнового нагрева являются: быстрота и равномерность нагрева реакционной смеси; превышение температуры кипения, соответствующей давлению в системе; локальные эффекты (нагрев растворителя в порах образца (например, почвы), приводящий к его разрушению; селективный нагрев компонентов гетерогенных систем; отражение излучения в приповерхностный слой раствора при разложении металлических образцов. Повышение температу-

Таблица 1. Способы разложения возвратного металлсодержащего сырья

Объект	Реактивы	Определяемые элементы	Описание способа пробоподготовки	Литературный источник
Отработанные катализаторы	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$, $\text{HCl} - \text{HNO}_3$	Металлы платиновой группы (МПГ)	Высокотемпературное ($750 - 850 \text{ }^\circ\text{C}$) сплавление навески пробы массой $0,10 - 0,25 \text{ г}$ с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ и последующее растворение полученного плава в смеси HCl и HNO_3 (3:1)	[1 – 6]
	HF , H_2SO_4 , $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$, $\text{HCl} - \text{HNO}_3$	МПГ	Растворение навески пробы массой $0,10 - 0,25 \text{ г}$ последовательно в HF и H_2SO_4 , высокотемпературное сплавление нерастворимого остатка с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ с последующим растворением плава в смеси HCl и HNO_3 (3:1)	[2, 3]
	$\text{HCl} - \text{HNO}_3$	МПГ	Растворение навески пробы массой $0,5 \text{ г}$ в смеси HCl и HNO_3 (3:1)	[2, 3]
	H_2SO_4 , $\text{HCl} - \text{HNO}_3$	МПГ	Растворение навески пробы массой $0,5 \text{ г}$ последовательно в H_2SO_4 (1:1), а затем в смеси HCl и HNO_3 (3:1)	[2]
	HF , H_2SO_4 , $\text{HCl} - \text{HNO}_3$	МПГ	Растворение навески пробы массой $0,5 \text{ г}$ последовательно в HF и H_2SO_4 , а затем в смеси HCl и HNO_3 (3:1)	[2]
	H_2SO_4 , $\text{HCl} - \text{H}_2\text{O}_2$	МПГ	Растворение навески пробы массой $0,5 \text{ г}$ последовательно в H_2SO_4 (1:1), а затем в смеси HCl и H_2O_2 (1:1)	[2, 7]
Катализатор палладиевый отработанный	Угольная основа	Pd	Сжигание навески пробы $0,25 \text{ г}$ в муфеле при $950 \text{ }^\circ\text{C}$ и последующее растворение в смеси HCl (1:1) и HNO_3 , затем дважды в концентрированной HCl	[8]
	Меловая основа	Pd	Растворение навески пробы $0,5 \text{ г}$ в смеси HCl и HNO_3 (1:1), затем в 2 M HCl	
Вторичное сырье драгоценных (благородных) металлов (ВДМ)	HNO_3 , HCl , HF , NH_3	Pt , Pd , Au , Ag	Последовательное растворение навески пробы массой $0,5 - 5 \text{ г}$ в HNO_3 (1:1), HCl и HF с последующим добавлением аммиака	[9]
	$\text{HCl} - \text{HNO}_3$	Pt , Pd , Au , Rh	Растворение навески пробы массой $0,5 - 5 \text{ г}$ в смеси HCl и HNO_3 (3:1)	[10]
	HNO_3 , NH_3	Ag	Растворение навески пробы массой $0,5 - 5 \text{ г}$ в HNO_3 (1:1) с добавлением аммиака	[11]
Шламы производства азотной кислоты	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$, $\text{HCl} - \text{HNO}_3$	Pt , Pd , Rh	Высокотемпературное ($800 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$) сплавление навески пробы массой $0,10 - 0,25 \text{ г}$ с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ и последующее растворение полученного плава в смеси HCl и HNO_3 (3:1)	[12]

ры реакционной смеси при использовании закрытых систем позволяет исключить применение высококипящих кислот. Заметно улучшаются и метрологические характеристики определения. Микроволновое разложение характеризуется высокой производительностью и экономичностью, гибкостью сочетания с концентрированием и инструментальным определением.

Для микроволнового автоклавного разложения важен выбор кислоты или смеси кислот, который осуществляют в соответствии со способностью каждой кислоты эффективно разлагать индивидуальные компоненты определенной пробы.

Разложение проб с микроволновым нагревом широко используют для определения МПП [11, 21 – 25].

Наличие влияния основы пробы обуславливает необходимость разработки способов химической пробоподготовки, таких как сорбция, экстракция и пробирная плавка, т.е. применения различных вариантов отделения основы пробы и концентрирования микро-содержаний определяемых элементов.

Наибольшей эффективностью обладают сорбционные методы, обеспечивающие высокую степень и избирательность извлечения. Так, при определении благородных металлов предлагается использовать предварительное сорбционное концентрирование [23, 26, 27], различные варианты которого описаны в табл. 2.

Приведенная в таблице информация по химической пробоподготовке возвратного металлосодержащего сырья показывает, что большинство работ посвящено определению благородных металлов. Однако существует необходимость разработки методов пробоподготовки, обеспечивающих перевод в раствор наряду с благородными цветных и редких металлов (табл. 3).

Особое внимание также необходимо уделить определению токсичных элементов, так как технология переработки ВМС и оценка ее рентабельности зависят не только от содержания ценных компонентов, но и от

Таблица 2. Способы сорбционного концентрирования благородных металлов

Объект	Определяемые элементы	Реагент	Метод анализа	Литературный источник
Алюмоплатинорениевые катализаторы	Pt, Re	Кремнезем, химически модифицированный N-аллил-N'-пропилтио- мочевиной	Люминесцентный (Pt), фотометрический (Re)	[28]
Алюмоплатиновые катализаторы, золотосодержащие концентраты и продукты их технологического передела	Pt, Au, Ag	Силикагель, химически модифицированный N-(1,3,4-тиодиазол-2-тиол)-N-пропилмочевиной	Люминесцентный	[29]
Электронный лом	МПП	S, N-содержащие полимерные гетероцепные сорбенты	Масс-спектральный с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП)	[30]
Отработанные катализаторы	Pt, Pd, Rh	S, N-содержащие полимерные гетероцепные сорбенты	Атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС)	[31]
Вторичное и техногенное сырье (ВТС)	Pt, Pd, Rh, Ru, Ir	S, N-содержащие полимерные гетероцепные сорбенты	ААС	[32]
			Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой АЭС-ИСП), атомно-эмиссионная спектрометрия с дугой постоянного тока (АЭС-ДПТ)	[33]
ВТС, технологические растворы	Ir	S, N-содержащий полимерный гетероцепный сорбент «МИТХАТ»	ААС	[34]
Отработанные автомобильные катализаторы, осадочные породы	Pd	Гетероцепные сорбенты: S-содержащий полиметилсульфид и S, N-содержащий олигомер «МИТХАТ»	ААС	[35]
Отработанные автомобильные катализаторы, бессиликатные оптические галлиево-кальциевые стекла	Rh	Гетероцепные сорбенты: S-содержащий полиметилсульфид и S, N-содержащий олигомер «МИТХАТ»	Различные спектральные методы	[36]
Облученное ядерное топливо, облученные на ускорителях мишени из тяжелых металлов	Ru	S, N-содержащие полимерные гетероцепные сорбенты	МС-ИСП	[37]
Вторичное сырье, содержащее благородные металлы	Ru, Pd	S, N-содержащие сорбенты поликонденсационного типа	МС-ИСП	[38]
			S, N-содержащие комплексообразующие полимерные сорбенты	Электротермическая атомно-абсорбционная спектрометрия (ЭТААС)
Горные породы, руды	Pd, Pt, Au, Au, Pd, Pt, Rh, Ir	Комплексообразующий сорбент ПОЛИОРГС 4, ПСТМ-3Т	ЭТААС, АЭС-ИСП	[40, 41]

Таблица 3. Примеры способов комплексного концентрирования металлов

Определяемые элементы	Способ концентрирования	Реагент	Метод анализа	Ссылка
Co, Cd, Fe, Au, In, Cu, Ni, Ag, Zn	Сорбция	Полимерный тиоэфир	Рентгенофлуоресцентный (РФА)	[48]
Bi, In, Tl, Cd, Cu, Co, Ni, Zn, Ti, Be, Zr	Соосаждение на гидроксиде железа	Fe(OH) ₃	МС-ИСП	[54]
Ge	Генерация гидридов	KI, аскорбиновая кислота	МС-ИСП	[50]
Co, Ni, Fe, Mn	Сорбция	Пенополиуретановые сорбенты	РФА	[53]

Таблица 4. Методы концентрирования токсичных элементов

Определяемые элементы	Способ концентрирования	Реагент	Метод анализа	Ссылка
As	Сорбция с использованием химически модифицированных графитовых кювет	S, N-содержащие сорбенты, модификаторы — соли Pd, Pt, Rh, Ir, Au	ЭТААС	[42]
	Экстракция или соосаждение на гидроксиде железа	Fe(OH) ₃	ЭТААС	[43]
	Соосаждение на гидроксиде лантана	La(OH) ₃	ЭТААС	[44]
	Соосаждение на гидроксиде железа	Fe(OH) ₃	ААС	[45]
	Генерация гидридов	NaBH ₄ , HCl	АЭС-ИСП	[46]
	Генерация гидридов	ЭДТА, тиомочевина, KCN и KI	АЭС-ИСП	[47]
	Сорбция	Полимерный тиоэфир	РФА	[48]
	Использование в графитовой печи пиролитической платформы	—	ААС	[49]
	Генерация гидридов	KI, аскорбиновая кислота	МС-ИСП	[50]
Анионный обмен и гидридная генерация	Аскорбиновая кислота, тиомочевина	МС-ИСП	[51]	
Se	Сорбция с использованием химически модифицированных графитовых кювет	S, N-содержащие сорбенты, модификаторы — соли Pd, Pt, Rh, Ir, Au	ЭТААС	[42]
	Генерация гидридов	NaBH ₄ , HCl	АЭС-ИСП	[46]
	Генерация гидридов	ЭДТА, тиомочевина, KCN и KI	АЭС-ИСП	[47]
	Сорбция	Полимерный тиоэфир	РФА	[48]
	Использование в графитовой печи пиролитической платформы	—	ААС	[49]
	Генерация гидридов	KI, аскорбиновая кислота	МС-ИСП	[50]
	Анионный обмен и гидридная генерация	Аскорбиновая кислота, тиомочевина	МС-ИСП	[51]
Te	Сорбция	Полимерный тиоэфир	РФА	[48]
	Использование в графитовой печи пиролитической платформы	—	ААС	[49]
Hg	Сорбция с использованием химически модифицированных графитовых кювет	S, N-содержащие сорбенты, модификаторы — соли Pd, Pt, Rh, Ir, Au	ЭТААС	[42]
	Генерация гидридов	NaBH ₄ , HCl	АЭС-ИСП	[46]
	Анионный обмен и гидридная генерация	Аскорбиновая кислота, тиомочевина	ИСП-МС	[51]
	Сорбция	Полимерный тиоэфир	ААС	[52]
	Сорбция	Пенополиуретановые сорбенты	РФА	[53]
Sb, Bi	Экстракция или соосаждение на гидроксиде железа	Fe(OH) ₃	ЭТААС	[43]
	Генерация гидридов	ЭДТА, тиомочевина, KCN и KI	АЭС-ИСП	[47]
	Сорбция	Полимерный тиоэфир	РФА	[48]
	Использование в графитовой печи пиролитической платформы	—	ААС	[49]
	Генерация гидридов	KI, аскорбиновая кислота	МС-ИСП	[50]
Sn	Генерация гидридов	ЭДТА, тиомочевина, KCN и KI	АЭС-ИСП	[47]
	Сорбция	Полимерный тиоэфир	РФА	[48]
	Соосаждение на гидроксиде железа	Fe(OH) ₃	МС-ИСП	[54]
	Использование в графитовой печи пиролитической платформы	—	ААС	[49]
	Генерация гидридов	KI, аскорбиновая кислота	МС-ИСП	[50]
Pb	Сорбция	Полимерный тиоэфир	РФА	[48]
	Использование в графитовой печи пиролитической платформы	—	ААС	[49]
	Сорбция	Пенополиуретановые сорбенты	РФА	[53]
	Соосаждение на гидроксиде железа	Fe(OH) ₃	МС-ИСП	[54]

наличия токсичных элементов, от которых необходимо избавляться.

Определение экзотических примесей также проводят после сорбционного концентрирования. Существует ряд работ, посвященных определению этих элементов (As, Se, Te, Sn, Sb, Hg, Bi) с различными способами концентрирования (табл. 4).

Как видно из проведенного обзора, стадия подготовки проб крайне важна для достижения потенциальных возможностей применяемых аналитических методов. Аналитический контроль ВМС существенно затруднен влиянием химического состава пробы, сопутствующих компонентов и примесей на результат анализа. И, по-прежнему, радикальным способом выделения «чистого» аналитического сигнала и нивелирования посторонних влияний является концентрирование определяемых компонентов и их отделение от примесей. Методы химического разложения, разделения и концентрирования, удаление основы пробы и выделение микроэлементов являются важной частью аналитических методик контроля ВМС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малютин Т. М., Алексеева Т. Ю., Дьячкова А. В. и др. Определение платины и палладия в отработанных катализаторах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой после вскрытия пробы высокотемпературным сплавлением / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. Т. 75. № 1. С. 4–7.
2. Дьячкова А. В., Малютин Т. М., Алексеева Т. Ю., Карпов Ю. А. Химическая подготовка проб отработанных автомобильных катализаторов для последующего определения платины, палладия и родия методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2011. Т. 77. № 6. С. 3–9.
3. Дальнова О. А., Ширяева О. А., Карпов Ю. А. и др. Прямое атомно-абсорбционное определение платины, палладия и родия в отработанных автокатализаторах на керамической основе / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. Т. 75. № 7. С. 3–7.
4. Барановская В. Б., Марьина Г. Е., Орлов В. В., Карпов Ю. А. Особенности аналитического контроля отработанных автомобильных нейтрализаторов, содержащих драгоценные металлы / Материалы в автомобилестроении. Сб. докладов III Международной научно-практической конференции. Тольятти, 2008. Ч. 1 (металлические материалы). С. 39.
5. Методика атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой определения палладия в отработанных палладийсодержащих катализаторах и продуктах их переработки. — М.: ОАО «Гиредмет», 2011. — 10 с.
6. Методика атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой определения платины в отработанных платиносодержащих катализаторах и продуктах их переработки. — М.: ОАО «Гиредмет», 2011. — 10 с.
7. ГОСТ 153-39.2-032-2003. Отработанные катализаторы алюмоплатиновые монометаллические и полиметаллические и отходы производства катализаторов. — М.: Министерство энергетики Российской Федерации, 2003. — 12 с.
8. ТУ 64-5-103-89. Катализатор палладиевый отработанный. — М.: Министерство медицинской промышленности СССР, 1989. — 19 с.
9. Методика атомно-абсорбционного определения серебра, золота, палладия, и платины во вторичном сырье драгоценных (благородных) металлов № 1-05. — М.: ОАО «Гиредмет», 2005. — 9 с.
10. Методика атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой определения золота, палладия, платины и родия во вторичном сырье драгоценных (благородных) металлов. — М.: ОАО «Гиредмет», 2011. — 15 с.
11. Методика атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой определения серебра во вторичном сырье драгоценных (благородных) металлов. — М.: ОАО «Гиредмет», 2011. — 14 с.
12. Методика атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой определения палладия, платины и родия в шламах производства азотной кислоты № 11-06. — М.: ОАО «Гиредмет», 2006. — 10 с.
13. Puig A. I., Alvarado J. I. Evaluation of four sample treatments for determination of platinum in automotive catalytic converters by graphite furnace atomic absorption spectrometry / Spectrochim. Acta. Part B. 2006. Vol. 61. P. 1050–1053.
14. Карпов Ю. А., Орлова В. А. Современные методы автоклавной пробоподготовки в химическом анализе веществ и материалов / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. № 1. С. 4–11.
15. Карпов Ю. А., Савостин А. П. Методы пробоотбора и пробоподготовки. — М.: МИСиС, 2003. — 243 с.
16. Методика «Отработанные автомобильные катализаторы. Определение платины, палладия и родия атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой с использованием аналитических автоклавов». — М.: ОАО «Гиредмет», 2010. — 12 с.
17. Филичкина В. А., Алексеева Т. Ю., Чемлева Т. А. и др. Разработка методики атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой определения платиновых металлов в шамотных отходах с автоклавной пробоподготовкой и планированием эксперимента / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2011. Т. 77. № 2. С. 11–15.
18. Бухбиндер Г. Л., Корда Т. М., Демидова М. Г. и др. Определение платиновых металлов и золота в групповом экстракте методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой после автоклавного разложения геологических проб / Журн. аналит. химии. 2009. Т. 64. № 6. С. 611–619.
19. Дьячкова А. В., Кириллов А. Д., Алексеева Т. Ю., Карпов Ю. А. Разложение проб отработанных автомобильных катализаторов на керамической основе в аналитических автоклавах с резистивным нагревом / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 2. С. 24–27.
20. Корндорф Б. А. Техника высоких давлений в химии. — Л.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1952. — 443 с.
21. Simpson L. A., Hearn R., Catterick T. The development of a high accuracy method for the analysis of Pd, Pt and Rh in auto catalysts using a multi-collector ICP-MS / J. Anal. Atom. Spectrom. 2004. Vol. 19. N 12. P. 1244–1251.
22. Palacios M. A., Gómez M. M., Moldovan M. et al. Platinum-group elements: quantification in collected exhaust fumes and studies of catalyst surfaces / Sci. Total Environ. 2000. Vol. 257. N 1. P. 1–15.
23. Rao C. R. M., Reddy G. S. Platinum-group metals (PGM); occurrence, use and recent trends in their determination / Trends Anal. Chem. 2000. Vol. 19. N 9. P. 565–586.
24. Kylander M. E., Rauch S., Morrison G. M., Andam K. J. Impact of automobile emissions on the levels of platinum and lead in Accra, Ghana / Env. Monit. 2003. N 5. P. 91–95.
25. Djingova R., Heidenreich H., Kovacheva P., Markert B. On the determination of platinum group elements in environmental materials by inductively coupled plasma mass spectrometry and microwave digestion / Anal. Chim. Acta. 2003. Vol. 489. N 2. P. 245–251.
26. Моходоева О. Б., Мясоедова Г. В., Кубракова И. В. Сорбционное концентрирование в комбинированных методах определения благородных металлов / Журн. аналит. химии. 2007. Т. 62. № 7. С. 679–695.
27. Juvonen R. Analysis of gold and the platinum group elements in geological samples. — Helsinki: Geological Survey of Finland, 1999. — 229 p.
28. Лосев В. Н., Буйко Е. В., Елсуфьев Е. В. и др. Определения платины и родия в катализаторе на основе оксида алюминия с использованием кремнезема, химически модифицированного N-аллил-N'-пропилтиомочевинной / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2005. Т. 71. № 2. С. 16–18.
29. Лосев В. Н., Метелица С. И., Елсуфьев Е. В., Трофимчук А. К. Сорбционно-люминесцентное определение золота, серебра и платины с использованием силикагеля, химически модифицированного N-(1,3,4-тиодиазол-2-тиол)-N-пропилтиомочевинными группами / Журн. аналит. химии. 2009. Т. 64. № 9. С. 926–932.
30. Барановская В. Б., Ширяева О. А., Филатова Д. Г. и др. Исследование возможностей применения сорбентов для определения платиновых металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / Материалы XVIII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, 2007. С. 19.

31. Дальнова О. А., Ширяева О. А., Карпов Ю. А. и др. Сорбционно-атомно-абсорбционное определение платины, палладия и родия в отработанных автокатализаторах / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. Т. 75. № 8. С. 18 – 22.
32. Дальнова О. А. Сорбционно-атомно-абсорбционный анализ вторичного и техногенного сырья на содержание платиновых металлов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2009. — 26 с.
33. Дальнова О. А., Жерноклеева К. В., Петров А. М. и др. Сорбционно-атомно-эмиссионное определение платины, палладия, родия, иридия и рутения во вторичном и техногенном сырье / Материалы II Международного симпозиума по сорбции и экстракции (с заочным участием) ISSE-2009, Владивосток, 2009. С. 142.
34. Афонин М. В., Симанова С. А., Бурмистрова Н. М. и др. Сорбционное извлечение хлорокомплексов иридия (III) и иридия (IV) новым серозотосодержащим сорбентом / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т. 74. № 9. С. 3 – 7.
35. Афонин М. В., Симанова С. А., Швецова О. В. и др. Особенности сорбционного концентрирования хлорокомплексов палладия (II) гетероцепными сорбентами поликонденсационного типа / Материалы III Всероссийской конференции с международным участием «Аналитика России». Краснодар, 2009. С. 184.
36. Афонин М. В., Симанова С. А., Карпов Ю. А. и др. Особенности сорбционного концентрирования хлорокомплексов родия (III) серо- и серозотосодержащими гетероцепными сорбентами поликонденсационного типа / Материалы III Всероссийской конференции с международным участием «Аналитика России». Краснодар, 2009. С. 185.
37. Филатова Д. Г., Дальнова О. А., Ширяев А. А. и др. Сорбционное извлечение рутения S-N-содержащими полимерными сорбентами / Материалы III Всероссийской конференции с международным участием «Аналитика России». Краснодар, 2009. С. 217.
38. Филатова Д. Г., Дальнова О. А., Карпов Ю. А., Ширяева О. А. Определение палладия и рутения методом ICP-MS после сорбционного выделения S,N-содержащими сорбентами поликонденсационного типа / Материалы II Всероссийской конференции с международным участием «Аналитика России». Краснодар, 2007. С. 218.
39. Методика сорбционно-атомно-абсорбционного определения палладия, платины, родия, иридия и золота во вторичном сырье драгоценных (благородных) металлов. — М.: ОАО «Гиредмет», 2005. — 10 с.
40. Васильева И. Е., Пожидаев Ю. Н., Власова Н. Н. и др. Сорбционно-атомно-эмиссионное определение золота, платины и палладия в горных породах и рудах с использованием сорбента ПСТМ-3Т / Аналитика и контроль. 2010. Т. 14. № 1. С. 16 – 24.
41. Моходоева О. Б., Мясоедова Г. В., Кубракова И. В. и др. Концентрирование благородных металлов комплексообразующим сорбентом ПОЛИОРГС 4 под воздействием микроволнового излучения / Журн. аналит. химии. 2007. Т. 62. № 5. С. 454 – 458.
42. Дальнова О. А., Дмитриева А. В., Иванникова Н. В. и др. Определение токсичных элементов (Hg, As, Se) методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией / Тезисы докладов Съезда аналитиков России и Школы молодых ученых «Аналитическая химия — новые методы и возможности». Москва, 2010. С. 94.
43. Castillo J. R., Lopez-Molinero A., Sucunza T. Determination of As, Sb and Bi in high-purity copper by electrothermal atomic absorption spectrometry / Microchim. Acta. 1986. Vol. 35. N 4. P. 330 – 332.
44. Савельева А. Н., Агапова Т. Е. Определение мышьяка в медных сернокислых электролитах и электролитной меди методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии / Заводская лаборатория. 1990. Т. 56. № 4. С. 40 – 42.
45. Mullen J. D. Determination of arsenic in high-purity copper by flameless atomic-absorption spectrophotometry / Talanta. 1977. Vol. 24. N 10. P. 657 – 658.
46. Лакота В. Н., Макаревич В. И., Архутик С. С. и др. Определение мышьяка, ртути и селена методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой / Журн. аналит. химии. 1999. Т. 54. № 3. С. 285 – 287.
47. Pohl P., Zyrnicki W. Study of chemical and spectral interferences in the simultaneous determination of As, Bi, Sb, Se and Sn by hydride generation inductively coupled plasma atomic emission spectrometry / Anal. Chim. Acta. 2002. Vol. 468. P. 71 – 79.
48. Шестаков В. А., Малофеева Г. И., Петрухин О. М. и др. Сорбционно-рентгенофлуоресцентное определение тяжелых металлов с использованием полимерного тиоэфира / Журн. аналит. химии. 1983. Т. 38. Вып. 12. С. 2131 – 2136.
49. Field B. Determination of Trace Metals in High-Purity Copper Using the GTA-95 Graphite Tube Atomizer / Agilent Technologies, Inc., USA, 2010. AA027. — 6 p.
50. Abranko L., Stefanka Z., Fodor P. Possibilities and limits of the simultaneous determination of As, Bi, Ge, Sb, Se and Sn by flow injection-hydride generation-inductively coupled plasma-time-of-flight mass spectrometry (FI-HG-ICP-TOFMS) / Anal. Chim. Acta. 2003. Vol. 493. N 5. P. 13 – 21.
51. Zhang Zh., Chen Sh., Yu H., et al. Simultaneous determination of arsenic, selenium, and mercury by Ion exchange-vapor generation-inductively coupled plasma-mass spectrometry / Anal. Chim. Acta. 2004. Vol. 513. P. 417 – 423.
52. Назаренко И. И., Кислова И. В., Кашина Л. И. и др. Атомно-абсорбционное определение ртути в водах после сорбционного концентрирования на полимерном тиоэфира / Журн. аналит. химии. 1986. Т. 29. Вып. 8. С. 1385 – 1389.
53. Осолок К. В., Моногарова О. В. Предельные аналитические возможности гибридных сорбционно-рентгенофлуоресцентных методов определения тяжелых металлов в водах / Сб. тезисов докладов VII Всероссийской конференции по рентгеноспектральному анализу. Новосибирск, 2011. С. 171.
54. Duan T., Kang J., Chen H., Zeng X. Determination of ultra-trace concentrations of elements in high purity tellurium by inductively coupled plasma mass spectrometry after Fe(OH)₃ coprecipitation / Spectrochim. Acta. Part B. 2003. Vol. 58. P. 1679.

REFERENCES

- Malyutina T. M., Alekseeva T. Yu., D'yachkova A. V., Kudryavceva G. S., Berliner L. D., Karpov Yu. A. Opredelenie platiny i palladiya v otrabotannykh katalizatorakh metodom atomno-émissionnoi spektrometrii s induktivno-svyazannoi plazmoi posle vskrytiya probe vysokotemperaturnym splavlenniem [Determination of platinum and palladium in waste catalysts using inductive coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) after opening the sample by high-temperature fusion] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2009. Vol. 75. N 1. P. 4 – 7 [in Russian].
- D'yachkova A. V., Malyutina T. M., Alekseeva T. Yu., Karpov Yu. A. Khimicheskaya podgotovka prob otrabotannykh avtomobil'nykh katalizatorov dlya posleduyushchego opredeleniya platiny, palladiya i rodiiya metodom atomno-émissionnoi spektrometrii s induktivno-svyazannoi plazmoi [Chemical preparation of the samples of spent automotive catalysts for subsequent determination of platinum, palladium, and rhodium by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2011. Vol. 77. N 6. P. 3 – 9 [in Russian].
- Dal'nova O. A., Shiryayeva O. A., Karpov Yu. A., Alekseeva T. Yu., Shiryayev A. A., Kulikauskas V. P., Filatova D. G. Pryamoe atomno-absorbtsionnoe opredelenie platiny, palladiya i rodiiya v otrabotannykh avtokatalizatorakh na keramicheskoi osnove [Direct atomic absorption determination of Pt, Pd, and Rh in dead auto-catalysts] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2009. Vol. 75. N 7. P. 3 – 7 [in Russian].
- Baranovskaya V. B., Mar'ina G. E., Orlov V. V., Karpov Yu. A. Oso-bennosti analiticheskogo kontrolya otrabotannykh avtomobil'nykh neitralizatorov, soderzhshchikh dragotsennyye metally [Features of the analytical control of spent automotive catalysts containing precious metals] / Materialy v avtomobilestroenii. Sb. dokladov III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [The materials in the automotive industry. Proc. of the III Int. sci.-pract. conf.]. Tol'yatti. Part 1 (metallicheskie materialy [metallic materials]), 2008. Tol'yatti. P. 39 [in Russian].
- Metodika atomno-émissionnogo s induktivno svyazannoi plazmoi opredeleniya palladiya v otrabotannykh palladiisoderzhshchikh katalizatorakh i produktakh ikh pererabotki [Methods of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry determination of palladium in the palladium-containing catalyst waste and by-products]. — Moscow: JSC "Giredmet," 2011. — 10 p. [in Russian].
- Metodika atomno-émissionnogo s induktivno svyazannoi plazmoi opredeleniya platiny v otrabotannykh platinosoderzhshchikh katalizatorakh i produktakh ikh pererabotki [Methods of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry determination of platinum in the platinum-containing catalyst waste and by-products]. — Moscow: JSC "Giredmet," JSC "Ansertehko," 2011. — 10 p. [in Russian].
- Industry Standard OST 153-39.2-032-2003. Otrabotannyye katalizatory alyumoplatinovyye monometallicheskie i polimetallicheskie i otkhody proizvodstva katalizatorov [Spent catalysts Al-Pt monometallic and polymetallic catalysts and production wastes]. — Moscow: Izd. Ministerstva énergetiki Rossiiskoi Federatsii, 2003. — 12 p. [in Russian].

8. TU 64-5-103–89. Katalizator palladiyevy otrabotannyy [Palladium catalyst waste. Technical conditions]. — Moscow: Izd. Ministerstvo meditsinskoj promyshlennosti SSSR, 1989. — 19 p. [in Russian].
9. Metodika atomno-absorbtsionnogo opredeleniya serebra, zolota, palladiya i platiny vo vtorichnom syr'e dragotsennykh (blagorodnykh) metallov N 1-05 [Methods of atomic absorption determination of Ag, Au, Pd, and Pt in the secondary raw materials of precious metals]. — Moscow: JSC "Giredmet," 2005. — 9 p. [in Russian].
10. Metodika atomno-émissionnogo s induktivno svyazannoi plazmoi opredeleniya zolota, palladiya, platiny i rodiya vo vtorichnom syr'e dragotsennykh (blagorodnykh) metallov [Methods of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry determination of Au, Pd, Pt and Rh in the secondary raw materials of precious metals]. — Moscow: JSC "Giredmet," 2011. — 15 p. [in Russian].
11. Metodika atomno-émissionnogo s induktivno svyazannoi plazmoi opredeleniya serebra vo vtorichnom syr'e dragotsennykh (blagorodnykh) metallov [Methods of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry determination of Ag in the secondary raw materials of precious metals]. — Moscow: JSC "Giredmet," 2011. — 14 p. [in Russian].
12. Metodika atomno-émissionnogo s induktivno svyazannoi plazmoi opredeleniya palladiya, platiny i rodiya v shlamakh proizvodstva azotnoi kisloty N 11-06 [Methods of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry determination of Pd, Pt and Rh in the production of nitric acid sludge]. — Moscow: JSC "Giredmet," 2006. — 10 p. [in Russian].
13. Puig A. I., Alvarado J. I. Evaluation of four sample treatments for determination of platinum in automotive catalytic converters by graphite furnace atomic absorption spectrometry / Spectrochim. Acta. Part B. 2006. Vol. 61. P. 1050 – 1053.
14. Karpov Yu. A., Orlova V. A. Sovremennye metody avtoklavnoi probopodgotovki v khimicheskom analize veshchestv i materialov [Modern methods of autoclave sampling in chemical analysis of substances and materials] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2007. Vol. 73. N 1. P. 4 – 11 [in Russian].
15. Karpov Yu. A., Savostin A. P. Metody probobora i probopodgotovki [Methods of sampling and sample preparation]. — Moscow: MISIS, 2003. — 243 p. [in Russian].
16. Metodika "Otrabotannyye avtomobil'nye katalizatory. Opredelenie platiny, palladiya i rodiya atomno-émissionnyim metodom s induktivno svyazannoi plazmoi s ispol'zovaniem analiticheskikh avtoklavov" [Methods "Spent automotive catalysts. Determination of Pd, Pt and Rh by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry using of autoclaves]. — Moscow: JSC "Giredmet," 2010. — 12 p. [in Russian].
17. Filichkina V. A., Alekseeva T. Yu., Chemleva T. A., Karpov Yu. A., Miskar'yanc V. G. Razrabotka metodiki atomno-émissionnogo s induktivno svyazannoi plazmoi opredeleniya platinovykh metallov v shamotnykh otkhodakh s avtoklavnoi probopodgotovkoi i planirovaniem éksperimenta [Development of the inductively coupled plasma atomic emission spectrometry for determination of platinum metals in the chamotte waste using autoclave sample preparation and experiment design] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2011. Vol. 77. N 2. P. 11 – 15.
18. Buhbinder G. L., Korda T. M., Demidova M. G., Gus'kova E. A., Torgov V. G. Opredelenie platinovykh metallov i zolota v gruppovom ékstrakte metodom atomno-émissionnoi spektrometrii s induktivno svyazannoi plazmoi posle avtoklavnogo razlozheniya geologicheskikh prob [Determination of platinum-group metals and gold in the group extract by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry after the autoclave decomposition of geological samples] / Zh. Analit. Khimii. 2009. Vol. 64. N 6. P. 611 – 619 [in Russian].
19. D'yachkova A. V., Kirillov A. D., Alekseeva T. Yu., Karpov Yu. A. Razlozhenie prob otrabotannykh avtomobil'nykh katalizatorov na keramicheskoi osnove v analiticheskikh avtoklavakh s rezistivnym nagrevom [Decomposition of the samples of used ceramic-based automotive catalysts in analytical autoclaves with resistive heating] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2012. Vol. 78. N 2. P. 24 – 27 [in Russian].
20. Korndorf B. A. Tekhnika vysokikh davlenii v khimii [Technique of high pressures in chemistry]. — L.: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo khimicheskoi literatury, 1952. — 443 p. [in Russian].
21. Simpson L. A., Hearn R., Catterick T. The development of a high accuracy method for the analysis of Pd, Pt and Rh in auto catalysts using a multi-collector ICP-MS / J. Anal. Atom. Spectrom. 2004. Vol. 19. N 12. P. 1244 – 1251.
22. Palacios M. A., Gómez M. M., Moldovan M. et al. Platinum-group elements: quantification in collected exhaust fumes and studies of catalyst surfaces / Sci. Total Environ. 2000. Vol. 257. N 1. P. 1 – 15.
23. Rao C. R. M., Reddy G. S. Platinum-group metals (PGM); occurrence, use and recent trends in their determination / Trends Anal. Chem. 2000. Vol. 19. N 9. P. 565 – 586.
24. Kylander M. E., Rauch S., Morrison G. M., Andam K. J. Impact of automobile emissions on the levels of platinum and lead in Accra, Ghana / Env. Monit. 2003. N 5. P. 91 – 95.
25. Djingova R., Heidenreich H., Kovacheva P., Markert B. On the determination of platinum group elements in environmental materials by inductively coupled plasma mass spectrometry and microwave digestion / Anal. Chim. Acta. 2003. Vol. 489. N 2. P. 245 – 251.
26. Mokhodoeva O. B., Myasoedova G. V., Kubrakova I. V. Sorbtsionnoe kontsentrirovanie v kombinirovannykh metodakh opredeleniya blagorodnykh metallov [Sorption preconcentration in combined methods for the determination of noble metals] / Zh. Analit. Khimii. 2007. Vol. 62. N 7. P. 679 – 695 [in Russian].
27. Juvonen R. Analysis of gold and the platinum group elements in geological samples. — Helsinki: Geological Survey of Finland, 1999. — 229 p.
28. Losev V. N., Buiko E. V., El'suf'ev E. V., et al. Opredeleniya platiny i reniya v katalizatore na osnove oksida alyuminiya s ispol'zovaniem kremnezema, khimicheski modifitsirovannogo N-allil-N'-propiltiomchevinoi [Determination of Pt and Re in catalyst on Al oxide basis with use of earth silicon and chemical modified N-allyl-N'-propiltiocarbamide] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2005. Vol. 71. N 2. P. 16 – 18 [in Russian].
29. Losev V. N., Metelitsa S. I., El'suf'ev E. V., Trofimchuk A. K. Sorbtsionno-lyuminescentnoe opredelenie zolota, serebra i platiny s ispol'zovaniem silikagelya, khimicheski modifitsirovannogo N-(1,3,4-tiodiazol-2-tiol)-N-propilmochevinnymi gruppami [Sorption-luminescence determination of gold, silver, and platinum with the use of silica gel chemically modified with N-(1, 3, 4-thiodiazole-2-thiol)-n-propylurea groups] / Zh. Analit. Khimii. 2009. Vol. 64. N 9. P. 926 – 932 [in Russian].
30. Baranovskaya V. B., Shiryayeva O. A., Filatova D. G., Dal'nova O. A., Karandashev V. K. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya sorbentov dlya opredeleniya platinovykh metallov metodom mass-spektrometrii s induktivno svyazannoi plazmoi [Investigation of possibilities of use of sorbents for the determination of platinum metals by inductively coupled plasma mass spectrometry] / Proc. of the XVIII Mendeleev Congr. on the Gen. and Appl. Chemistry, 2007. P. 19 [in Russian].
31. Dal'nova O. A., Shiryayeva O. A., Karpov Yu. A., Alekseeva T. Yu., Shiryayev A. A., Filatova D. G. Sorbtsionno-atomno-absorbtsionnoe opredelenie platiny, palladiya i rodiya v otrabotannykh avtokatalizatorakh [Sorption-atomic-absorption determination of Pt, Pd, and Rh in dead autocatalysts] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2009. Vol. 75. N 8. P. 18 – 22 [in Russian].
32. Dal'nova O. A. Sorbtsionno-atomno-absorbtsionnyi analiz vtorichnogo i tekhnogennogo syr'ya na sodержanie platinovykh metallov [Sorption-atomic absorption analysis of secondary and technogenic raw materials on the content of platinum metals]. Author's Abstract of Candidate's Thesis. — Moscow, 2009. — 26 p. [in Russian].
33. Dal'nova O. A., Zhernokleeva K. V., Petrov A. M., Baranovskaya V. B., Karpov Yu. A. Sorbtsionno-atomno-émissionnoe opredelenie platiny, palladiya, rodiya, iridiya i ruteniya vo vtorichnom i tekhnogennom syr'e [Sorption-atomic emission determination of Pd, Pt, Rh, Ir and Ru in the secondary and technogenic raw materials] / Proc. of the II Int. Symp. on Sorption and Extraction ISSE-2009, 2009. — Vladivostok. P. 142 [in Russian].
34. Afonin M. V., Simanova S. A., Burmistrova N. M., Shiryayeva O. A., Karpov Yu. A., Dal'nova Yu. P., Panina N. P. Sorbtsionnoe izvlechenie khlorokompleksov iridiya (III) i iridiya (IV) novym serozot-soderzhashchim sorbentom [Sorption isolation of Ir (III) and Ir (IV) chloro-complexes with novel sulfur-nitrogen containing sorbent] / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2008. Vol. 74. N 9. P. 3 – 7 [in Russian].
35. Afonin M. V., Simanova S. A., Shvecova O. V., Burmistrova N. M., Karpov Yu. A., Shiryayeva O. A., Dal'nova O. A. Osobennosti sorbtsionnogo kontsentrirvaniya khlorokompleksov palladiya (II) geterotsepnymi sorbentami polikondensatsionnogo tipa [Features of sorption concentration of Pd (II) chloro-complexes hetero sorbents polycondensation type] / Proc. of the III All-Russian Conf. with Int. Participation (to the 175 anniversary of D. I. Mendeleev) "Analitika Rossii [Analyt. of Russia]." — Krasnodar, 2009. P. 184 [in Russian].
36. Afonin M. V., Simanova S. A., Karpov Yu. A., Shiryayeva O. A., Dal'nova O. A. Osobennosti sorbtsionnogo kontsentrirvaniya khlorokompleksov rodiya (III) sero- i serozot-soderzhashchimi geterotsepnymi sorbentami polikondensatsionnogo tipa [Features of sorption concentration of Rh (III) chloro-complexes sulfur- and sulfur-nitrogen contain-

- ing hetero sorbents polycondensation type] / Proc. of the III All-Russian Conf. with Int. Participation (to the 175 anniversary of D. I. Mendeleev) "Analitika Rossii [Analytics of Russia]." — Krasnodar, 2009. P. 185 [in Russian].
37. **Filatova D. G., Dal'nova O. A., Shiryaev A. A., Karpov Yu. A., Aliev R. A., Kalmykov S. N.** Sorbtionnoe izvlechenie ruteniya S-N-soderzhashchimi polimernymi sorbentami [Sorption extraction of Re S-N-containing polymer sorbents] / Proc. of the III All-Russian Conf. with Int. Participation (to the 175 anniversary of D. I. Mendeleev) "Analitika Rossii [Analytics of Russia]." — Krasnodar, 2009. P. 217.
 38. **Filatova D. G., Dal'nova O. A., Karpov Yu. A., Shiryaeva O. A.** Opredelenie palladiya i ruteniya metodom ICP-MS posle sorbtionnogo vydeleniya S,N-soderzhashchimi sorbentami polikondensatsionnogo tipa [Determination Pd and Ru by ICP-MS after sorption extraction S,N-containing sorbents polycondensation type] / Proc. of the II All-Russian Conf. with Int. Participation (to the 75th anniversary of Acad. Yu. A. Zolotov) "Analitika Rossii [Analytics of Russia]." — Krasnodar, 2007. P. 218.
 39. Metodika sorbtionno-atomno-absorbtsionnogo opredeleniya palladiya, platiny, rodiya, iridiya i zolota vo vtorichnom syr'e dragotsennykh (blagorodnykh) metallov [Methods of sorption atomic absorption determination of Pd, Pt, Rh, Ir and Au in the secondary raw materials of precious metals]. — Moscow: JSC "Giredmet," 2005. — 10 p. [in Russian].
 40. **Vasil'eva I. E., Pozhidaev Yu. N., Vlasova N. N., et al.** Sorbtionno-atomno-émissiionnoe opredelenie zolota, platiny i palladiya v gornykh porodakh i rudakh s ispol'zovaniem sorbenta PSTM-ZT [Sorption atomic emission determination Au, Pt, and Pd in rocks and ores using sorbent PSTM-ZT] / Analitika i kontrol'. 2010. Vol. 14. N 1. P. 16 – 24 [in Russian].
 41. **Mokhodoeva O. B., Myasoedova G. V., Kubrakova I. V., et al.** Kontsentrirovaniye blagorodnykh metallov kompleksobrazuyushchim sorbentom POLIORGS 4 pod vozdeystviem mikrovolnovogo izlucheniya [Preconcentration of noble metals with the POLYORGS 4 complexing sorbent under the action of microwave irradiation] / Zh. Analit. Khimii. 2007. Vol. 62. N 5. P. 454 – 458 [in Russian].
 42. **Dal'nova O. A., Dmitrieva A. V., Ivannikova N. V., Shiryaeva O. A., Karpov Yu. A.** Opredelenie toksichnykh élementov (Hg, As, Se) metodom atomno-absorbtsionnoi spektrometrii s élektrotermicheskoi atomizatsiei [Determination of toxic elements (Hg, As, Se) by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization] / Abstrs. of the Congr. of Analysts of Russia and School of Young Scientists "Analytical chemistry — new methods and opportunities." — Moscow, 2010. P. 94 [in Russian].
 43. **Castillo J. R., Lopez-Molinero A., Sucunza T.** Determination of As, Sb and Bi in high-purity copper by electrothermal atomic absorption spectrometry / Microchim. Acta. 1986. Vol. 35. N 4. P. 330 – 332.
 44. **Savel'eva A. N., Agapova T. E.** Opredelenie mysh'yaka v mednykh sernokislykh élektrolitakh i élektrolitnoi medi metodom élektrotermicheskoi atomno-absorbtsionnoi spektrometrii [Determination of arsenic in the copper sulfate electrolyte and electrolytic copper by electrothermal atomic absorption spectrometry] / Zavod. Lab. 1990. Vol. 56. N 4. P. 40 – 42 [in Russian].
 45. **Mullen J. D.** Determination of arsenic in high-purity copper by flameless atomic-absorption spectrophotometry / Talanta. 1977. Vol. 24. N 10. P. 657 – 658.
 46. **Lakota V. N., Makarevich V. I., Arkhutik S. S., et al.** Opredelenie mysh'yaka, rtuti i selena metodom atomno-émissiionnoi spektrometrii s induktivno-svyazannoi plazmoi [Determination of As, Hg and Se by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry] / Zh. Analit. Khimii. 1999. Vol. 54. N 3. P. 285 – 287 [in Russian].
 47. **Pohl P., Zyrnicki W.** Study of chemical and spectral interferences in the simultaneous determination of As, Bi, Sb, Se and Sn by hydride generation inductively coupled plasma atomic emission spectrometry / Anal. Chim. Acta. 2002. Vol. 468. P. 71 – 79.
 48. **Shestakov V. A., Malofeeva G. I., Petrukhin O. M., et al.** Sorbtionno-rentgenofluoresstentnoe opredelenie tyazhelykh metallov s ispol'zovaniem polimernogo tioéifira [Sorption X-ray fluorescence determination of heavy metals using polymer thioester] / Zh. Analit. Khimii. 1983. Vol. 38. Issue 12. P. 2131 – 2136 [in Russian].
 49. **Field B.** Determination of Trace Metals in High-Purity Copper Using the GTA-95 Graphite Tube Atomizer / Agilent Technologies, Inc., USA, 2010. AA027. — 6 p.
 50. **Abranko L., Stefanka Z., Fodor P.** Possibilities and limits of the simultaneous determination of As, Bi, Ge, Sb, Se and Sn by flow injection-hydride generation-inductively coupled plasma-time-of-flight mass spectrometry (FI-HG-ICP-TOFMS) / Anal. Chim. Acta. 2003. Vol. 493. N 5. P. 13 – 21.
 51. **Zhang Zh., Chen Sh., Yu H., et al.** Simultaneous determination of arsenic, selenium, and mercury by Ion exchange-vapor generation-inductively coupled plasma-mass spectrometry / Anal. Chim. Acta. 2004. Vol. 513. P. 417 – 423.
 52. **Nazarenko I. I., Kislova I. V., Kashina L. I., et al.** Atomno-absorbtsionnoe opredelenie rtuti v vodakh posle sorbtionnogo kontsentrirovaniya na polimernom tioéifire [Atomic absorption determination of mercury in the waters after sorption concentration on polymer thioester] / Zh. Analit. Khimii. Vol. 29. Issue 8. 1986. P. 1385 – 1389 [in Russian].
 53. **Oskolok K. V., Monogorova O. V.** Predel'nye analiticheskie vozmozhnosti gibridnykh sorbtionno-rentgenofluoresstentnykh metodik opredeleniya tyazhelykh metallov v vodakh [Limit the analytical capabilities of hybrid sorption X-ray fluorescence methods for determination of heavy metals in water] / Abstrs. of the VII All-Russian Conf. on X-Ray and Spectral Analysis. — Novosibirsk, 2011. P. 171 [in Russian].
 54. **Duan T., Kang J., Chen H., Zeng X.** Determination of ultra-trace concentrations of elements in high purity tellurium by inductively coupled plasma mass spectrometry after Fe(OH)₃ coprecipitation / Spectrochim. Acta. Part B. 2003. Vol. 58. P. 1679.