

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
ЮРИДИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Уголовный процесс, криминалистика и судебная экспертиза»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ ПРИ
РАССЛЕДОВАНИИ ПРЕСТУПЛЕНИЙ СВЯЗАННЫХ С НЕЗАКОННЫМ
ОБОРОТОМ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ) – 40.05.03.2016.580. ВКР

Руководитель работы
доцент кафедры
_____ Александр Николаевич
Войтюк
_____ 2021г.

Автор работы
студент группы Ю-580
_____ Александра Сергеевна
Малеева
_____ 2021г.

Нормоконтролёр,
преподаватель кафедры
_____ Виталина Викторовна
Гончаренко
_____ 2021г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	3
1	ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕСТУПЛЕНИЙ СВЯЗАННЫХ С НЕЗАКОННЫМ ОБОРОТОМ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ	
1.1	Основы правового регулирования оборота драгоценных металлов и драгоценных камней	5
1.2	Анализ рынка оборота драгоценных металлов и драгоценных камней в Росси.....	9
2	ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ	
2.1	Драгоценные металлы	15
2.2	Драгоценные камни	21
2.3	Объект и предмет незаконного оборота драгоценных металлов и драгоценных камней	24
3	МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ	
3.1	Рентгенофлуоресцентный анализ при исследовании драгоценных металлов	32
3.2	Атомно-эмиссионный спектральный анализ драгоценных камней	47
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	65
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	71

ВВЕДЕНИЕ

Исследование драгоценных металлов и драгоценных камней является одним из важнейших исследований, обеспечивающих экономическую безопасность государства и защиту прав потребителей.

За период проведения реформ в России, с одной стороны, произошли значительные положительные сдвиги в направлении рыночной экономики, а с другой - вследствие недостаточной урегулированности экономических отношений резко увеличилось число экономических преступлений. Не является исключением и криминогенная ситуация, складывающаяся в сфере оборота драгоценных металлов и драгоценных камней, которая характеризуется нарастанием и углублением негативных тенденций.

Непредсказуемость и нестабильность экономической ситуации в стране обуславливает повышенный спрос на золото, платину, серебро, алмазы и другие валютные ценности как наиболее устойчивые эквиваленты материальных ценностей. Вследствие этого происходит рост числа хищений драгоценных металлов и драгоценных камней из мест их добычи, переработки и реализации, увеличился объем незаконных сделок с ними.

Так, в целом по стране за 2018 год зарегистрировано 102 факта незаконного оборота драгоценных металлов и драгоценных камней (прирост к 2017 году составил 20%). Наблюдается активизация организованных преступных групп, специализирующихся на совершении преступлений с драгоценными камнями и драгоценными металлами. С учетом большой опасности данного деяния в ст. 191 Уголовного кодекса Российской Федерации предусмотрена ответственность за незаконный оборот драгоценных металлов, драгоценных природных камней и жемчуга (в том числе в ч. 2 этой статьи установлена более строгая ответственность за те же деяния, совершенные организованной группой).

Актуальность данной темы выпускной квалификационной работы

заключается в том, что во всем мире ювелирные изделия входят в список из десяти самых подделываемых товаров. Именно поэтому совершенствование процедуры исследования ювелирных изделий из драгоценных металлов и драгоценных камней изучение его проблем и поиск путей их решения, на настоящий момент времени имеет большое значение.

Целью выпускной квалификационной работы является изучение и анализ непосредственного исследования драгоценных камней и драгоценных металлов, его методов, практического применения, изучение актуальных проблем данного исследования и поиск путей их решения.

Объектом выпускной квалификационной работы являются общественные отношения в сфере оборота драгоценных металлов и драгоценных камней.

Предметом выпускной квалификационной работы является исследование драгоценных металлов и драгоценных камней.

Методологической базой исследования являлись диалектический метод познания социально-правовых явлений, а также системно-структурный, сравнительно-правовой и логико-теоретический методы изучения, изучение и анализ научной литературы.

При выполнении данной выпускной квалификационной работы были использованы следующие источники знаний: нормативно-правовые акты, учебные пособия и учебники как отечественных, так и зарубежных ученых, методические рекомендации, научные статьи, сборники статистических данных, отраслевая справочная информация и ресурсы сети Интернет.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав и семи параграфов, заключения, библиографического списка.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕСТУПЛЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С НЕЗАКОННЫМ ОБОРОТОМ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

1.1 Основы правового регулирования оборота драгоценных металлов и драгоценных камней

Драгоценные металлы и драгоценные камни с давних пор привлекли внимание людей. Их свойства (обусловленная редкостью высокая стоимость при сравнительно небольших размерах, физическая и химическая устойчивость, трудность фальсификации) сделали их «всеобщим денежным эквивалентом», а также одним из средств сохранения и накопления капитала. Не случайно и сегодня золото (а частично и серебро) считается «мировыми деньгами». Поэтому драгоценные металлы и драгоценные камни высоко ценятся во всем мире, многие люди стремятся их приобрести.

В настоящее время государство накапливает драгоценные металлы и драгоценные камни в специальных фондах. Эти резервы государства (иногда их называют «золотовалютными резервами») нужны для поддержания стабильности экономической обстановки в стране, а также для обеспечения нормальных финансовых отношений с другими странами. Важность данных ценностей подчеркивают многие специалисты.

В последние годы в нашей стране появился устойчивый интерес к драгоценным металлам и драгоценным камням и у преступников. Для них эти ценности являются удобным средством для сохранения своих средств, полученных незаконным путем. Их привлекает высокая стоимость драгоценных металлов и драгоценных камней (практически не изменяющаяся с течением времени, а значит и не зависящая от инфляции), возможность их длительного хранения и легкость транспортировки.

Исходя из экономической значимости драгоценных металлов и

драгоценных камней, и необходимости предупреждения противоправного накопления средств, государство всегда стремилось регулировать, контролировать отношения, предметом которых являются данные ценности. В настоящее время Российская Федерация частично отказалась от государственной монополии на совершение большинства действий с драгоценными металлами и драгоценными камнями. Однако это не означает, что нет никакого регулирования отношений по поводу драгоценных металлов и драгоценных камней. Государственные органы и сегодня контролируют эту сферу.

Сделки с драгоценными металлами в соответствии с существующим в Российской Федерации порядком могут совершать следующие субъекты, являющиеся резидентами Российской Федерации:

- Государственное учреждение по формированию Государственного фонда драгоценных металлов и драгоценных камней Российской Федерации, хранению, отпуску и использованию драгоценных металлов и драгоценных камней (Гохран России);

- Центральный банк Российской Федерации;

- специально уполномоченные банки – коммерческие банки, специально уполномоченные Центральным банком Российской Федерации по согласованию с Министерством финансов Российской Федерации на совершение в установленном порядке операций с драгоценными металлами;

- пользователи недр – предприятия, а также физические лица, осуществляющие предпринимательскую деятельность без образования юридического лица и зарегистрированные в качестве предпринимателей, которым выданы лицензии и квоты на добычу минерального сырья;

- скупочные предприятия – предприятия, осуществляющие покупку у физических лиц золота и серебра в виде ювелирных и других бытовых изделий и в виде лома;

- предприятия-заготовители – предприятия, а также физические лица,

осуществляющие предпринимательскую деятельность без образования юридического лица и зарегистрированные в качестве предпринимателей, осуществляющие сбор и первичную обработку вторичного сырья; - предприятия-переработчики – предприятия, а также физические лица, осуществляющие предпринимательскую деятельность без образования юридического лица и зарегистрированные в качестве предпринимателей, производящие переработку сырья с получением промежуточного продукта, подлежащего последующей переработке для получения аффинированного золота и серебра в виде слитков;

«аффинажные заводы – государственные предприятия, производящие слитки с содержанием основного металла не менее 99,5 процента;

промышленные потребители – предприятия, а также физические лица, осуществляющие предпринимательскую деятельность без образования юридического лица и зарегистрированные в качестве предпринимателей, использующие золото и серебро для изготовления своей продукции (включая полуфабрикаты);

инвесторы – предприятия, организации, учреждения (включая коммерческие банки), не относящиеся к указанным категориям, вкладывающие свои средства в приобретение слитков золота и серебра»¹.

В соответствии с Правилами учета и хранения драгоценных металлов, драгоценных камней и продукции из них, а также ведения соответствующей отчетности хранение драгоценных металлов и драгоценных камней, изделий из них, а также лома и отходов, их содержащих, осуществляется таким образом, чтобы была обеспечена сохранность их при производстве, переработке, использовании, эксплуатации и транспортировке. Для этого используются помещения, отвечающие специальным требованиям по технической укрепленности и оборудованию средствами охранной и пожарной сигнализации.

¹Статистические данные Состояние преступности – январь-июнь 2018 URL: <https://мвд.рф> (дата обращения 21.03.2021)

Сбор и первичная обработка лома и отходов драгоценных металлов и драгоценных камней разрешается всем юридическим лицам и гражданам России на основании регистрационных удостоверений. Произведенные на территории Российской Федерации (добытые из недр, полученные из вторичного сырья, поднятые и найденные аффинированные драгоценные металлы, драгоценные камни, найденные клады, конфискованные и скупленные у населения ценности сдаются государству). Свободная реализация драгоценных металлов и драгоценных камней, а также изделий из них – незаконна. Любые сделки с драгоценными металлами и драгоценными природными камнями в нарушение правил, установленных указанными нормативными актами запрещены (скупка, продажа, залог, обмен, использование в качестве средства платежа).

Таким образом, государственное регулирование оборота драгоценных металлов и драгоценных камней постоянно совершенствуется, хотя действующие правовые акты не в полной мере соответствуют требуемому уровню, излишне многочисленны, часто изменяются и нередко противоречат друг другу. В настоящее время Российская Федерация отказалась от монополии на деятельность, связанную с драгоценными металлами и драгоценными камнями, хотя и сохранила существенные ограничения, распространяющиеся на оборот этих ценностей. Совершенствование отечественного законодательства направлено на создание цивилизованного рынка драгоценных металлов и драгоценных камней при сохранении достаточно высокой степени государственного регулирования.

В случае нарушения законодательства, регламентирующего оборот драгоценных металлов и драгоценных камней, возможно наступление гражданской, административной или уголовной ответственности.

В действующем Уголовном кодексе Российской Федерации предусмотрена ответственность за следующие противоправные действия: «незаконный оборот драгоценных металлов, драгоценных природных камней

или жемчуга» (ст. 191), «нарушение правил сдачи государству драгоценных металлов и драгоценных камней» (ст. 192). Установление уголовной ответственности за данные деяния призвано защитить нормальный порядок обращения драгоценных металлов и драгоценных камней.

1.2 Анализ рынка оборота драгоценных металлов и драгоценных камней в России

Мировой рынок драгоценных металлов и драгоценных камней в широком понимании подразумевает под собой потребление, производство и распределение драгоценных металлов. В узком понимании это рыночный механизм, обеспечивающий функционирование механизмов купли и продажи драгоценных металлов и драгоценных камней как внутри государства, так и вне него.

Россия относится к числу стран с богатейшими природными ресурсами драгоценных металлов и камней и традиционно находится в первом ряду производителей золота и других драгоценных металлов и камней, и занимает заметное место на мировом рынке. Отечественный рынок является экспортно-ориентированным - добываемых драгоценных металлов хватает не только на обеспечение своих нужд, но еще и для довольно массовой продажи другим странам.

Стратегическое значение рынка драгоценных металлов и камней для России, одного из крупнейших в мире добытчиков платины и платиноидов, золота, алмазов, изумрудов, александритов, определяется стабильным поступлением налогов из данной сферы экономики в доходную часть бюджета, а также пополнением золотовалютных резервов «Российской

Федерации - Золотого запаса, Государственного фонда драгоценных металлов и драгоценных камней, Алмазного фонда»¹.

Основными преимуществами России в данном секторе являются:

- Серьёзная оснащённость промышленности.
- Адаптация и своевременная модернизация производства.
- Наличие современной ювелирной промышленности.

Перечисленные преимущества способствуют полному развитию золотодобывающей отрасли в России, что отражается в статистических данных, которые, в свою очередь, свидетельствуют о наличии постоянных разработок и проведении работ по добыче драгоценных металлов в России. Однако сегодняшняя ситуация на российском рынке позволяет нам говорить о том, что всё же рынок драгметаллов в России имеет значительно больший потенциал. Несомненно, на сегодняшний день приходится говорить о том, что отечественному рынку драгметаллов необходимы экстренные меры, которые будут способствовать наращиванию золотого запаса России, что, в дальнейшем, будет способствовать полноценному развитию и сферы добычи драгоценных металлов.

Российский рынок драгоценных металлов и камней в широком смысле включает в себя взаимоотношения между всеми субъектами рынка: государством, представленным Гохраном и Центральным Банком, добытчиками, промышленными производителями, кредитными организациями, промышленными потребителями, скупочными организациями, инвесторами, в том числе частными, и прочими. В связи с тем, что российский рынок драгоценных металлов является экспортно-ориентированным, огромное влияние на него оказывает мировой рынок.

В настоящее время добычу золота в России осуществляют около 600 акционерных обществ, артелей и других производственных структур,

¹ Золотова С.В. Ювелирный рынок РФ в условиях вступления в ВТО / С.В. Золотова, С.А. // Федерализм. 2014. №2. С. 149.

выступающих как самостоятельные недропользователи, но в то же время 14 предприятий добывают около 45% от общего объема добываемого золота.

Спрос на рынке драгоценных металлов формируют промышленные потребители - с одной стороны, и инвесторы, накапливающие драгоценные металлы в качестве резервов, сокровищ, - с другой. Недропользователи имеют право продать слитки золота и серебра, произведенные из его минерального сырья, только Гохрану России, Центральному банку и уполномоченным коммерческим банкам.

Центральный банк Российской Федерации и кредитные организации имеют право приобретать слитки золота и серебра за свой счет и за счет клиентов (по договорам комиссии или поручения) у пользователей недр. Учитывая, что, следуя Федеральному закону РФ «О Центральном банке Российской Федерации (Банке России)» от 02 декабря 1990 г. , Центральный банк не может осуществлять операции с инвесторами и промышленными потребителями, они могут покупать слитки золота и серебра только у уполномоченных коммерческих банков. Причем покупка может осуществляться как непосредственно, так и по договорам комиссии или по специальным счетам, открываемым в специально уполномоченных банках. Такая схема взаимоотношения участников рынка ставит кредитные организации в центр системы обращения слитков драгоценных металлов, как это делается во всем мире ¹.

В Российской Федерации сегодня золотодобыча отличается высоким уровнем развития, и направленность внутренней политики на увеличение объёмов золотых запасов страны способствует развитию данной отрасли. Что касается драгоценных камней, Россия на своих алмазных рудниках в Якутии, на Урале и в Архангельской области, а также на совместном предприятии в Анголе «Катока» обеспечивает 26-27% мировой добычи алмазов в денежном выражении. В этом отношении алмазная отрасль России процентов на 10

¹ Михайленко М.Н. Финансовые рынки и институты: учебник для вузов / М. Н. Михайленко. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. С. 220.

отстает от Ботсваны, мирового лидера по добыче этих драгоценных камней, и намного опережает другие алмазодобывающие страны.

Основные производители драгоценных камней в России:

1. АЛРОСА (ЗАО). Это одна из крупнейших алмазодобывающих компаний мира, занимающаяся разведкой, добычей, обработкой и реализацией алмазов и бриллиантов. Ее продукция в физическом объеме мирового алмазного рынка занимает около 20% и в стоимостном - примерно 25 %.

АЛРОСА является монополистом в России, добывает около 95,5 % алмазов на территории страны. Указ Президента №1481 от 26 ноября 1992 "Об акционерной компании по добыче и реализации алмазов" был принят для регулирования экспорта. Указом АК "АЛРОСА" передавалась государственная монополия на экспорт в отношении 95% внешних продаж необработанных алмазов.

Данная компания полностью находится под контролем государства: более 50% акций компании принадлежат федеральным органам власти, 40% акций у 9 якутских государственных структур, и менее 10% акций находится на руках физических лиц, в основном работников компании и пенсионеров.

АЛРОСА имеет около 100 дочерних компаний, в том числе зарубежных, например «ALROSA Finance» «S.A. Luxembourg», «Sunland Trading» S.A. Switzerland, «Arcos Belgium» N.V. Belgium, «New Technologies Holdings Ltd.» BVI, «Rolant Investments Ltd.» Cyprus, «Escom-ALROSA Ltd» «United Kingdom».

Доминирующее положение (96%) в добыче АЛРОСА принадлежит месторождениям Западной Якутии, эксплуатацию которых в основном осуществляют алмазодобывающие структурные подразделения АЛРОСА, ОАО «АЛРОСА-Нюрба» и ОАО «Алмазы-Анабара».

2. ОАО «Нижнее-Ленское»

Это предприятие занимается разведкой и разработкой россыпных месторождений алмазов на территории 4-х северных улусов Якутии. Оно располагает лицензиями на право ведения разведки и добычи по 5 россыпям. В настоящее время 3 из них активно разрабатываются - россыпи рек «Молодо», «Биллях» и «Хара-Мас».

Общая добыча составляет порядка \$20 млн. в год. Алмазы реализуются гранильным предприятиям Якутии.

3. ЗАО «Уралалмаз»

«Уралалмаз» занимается добычей россыпных алмазов Урала более 60 лет. Разработка месторождений производится драгами и сезонными обогатительными фабриками. В настоящее время предприятие имеет 20 лицензий на поиск алмазов, а также владеет шестью лицензиями на добычу. Объем добычи составляет порядка \$30 млн. в год¹.

Исходя из изложенных данных, можно сделать вывод, что рынок драгоценных камней и металлов в России имеет большой объем и весьма привлекателен для инвестиций.

На самом деле, сегодня проблемами алмазной и золотоплатиновой отрасли занимаются чуть ли не десятком министерств и ведомств. У каждого из них свой собственный фрагмент работы, а в целом общего подхода как не было, так и нет. Всем давно ясно, что отрасль, включающую поиск и разведку месторождений, добычу и производство драгоценных камней и драгоценных металлов, изготовление из них самой различной продукции и торговлю этой продукцией, нельзя целиком отнести ни к геологии, ни к горному делу, ни к металлургии, ни к торговле, ни к среднему или малому бизнесу. В реальной действительности все эти подотрасли составляют единое целое.

¹ Международный финансовый рынок: учебник и практикум для вузов / М. А. Эскиндаров [и др.]; под общей редакцией М. А. Эскиндарова Е. А. Звоновой. Москва: Издательство Юрайт 2020. С. 192.

Таким образом, российскую промышленность в целом можно назвать успешным сегментом отечественной экономики, имеющим устойчивые показатели роста за последнее десятилетие. Можно отметить широкие перспективы для дальнейшего развития, которые обуславливаются наличием залежей драгоценных металлов и высоким уровнем исполнения изделий на протяжении многих лет.

2 ПОНЯТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

2.1 Драгоценные металлы

В понятие «драгоценные металлы» входят золото, серебро и металлы платиновой группы. Благодаря высокой химической инертности они не окисляются и не корродируют, тем самым сохраняя характерный блеск и внешнюю привлекательность.

Исторически сложилось, что драгоценные металлы использовались для изготовления ювелирных украшений, а высокая стоимость поставила золото и платину в один ценовой ряд с драгоценными камнями.

В наш век высоких технологий драгметаллы широко используются в производстве изделий для электронной, радиотехнической и космической промышленности, при изготовлении лазерной техники и медицинской аппаратуры, бытовой техники, компьютеров и разнообразных гаджетов.

Многие детали, входящие в комплектацию hi-tech аппаратуры, содержат драгметаллы в микроскопических количествах.

Современные технологии извлечения этого ценного материала из вторичного сырья превратили рециклинг драгметаллов в высокоэффективное производство, превосходящее по своей рентабельности добычу золота, серебра и элементов платиновой группы из первичных природных сырьевых ресурсов.

Перечень драгоценных металлов

Перечень драгоценных металлов представлен в ГОСТ Р 52793-2007 «Металлы драгоценные. Термины и определения» и узаконен Федеральным законом от 26.03.98г. за № 41-ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» (статья 1).

Согласно ГОСТ Р 52793-2007 (раздел 2), драгметаллами считаются всего 8, приводим их список:

- золото;
- серебро;
- платина;
- палладий;
- иридий;
- родий;
- осмий;
- рутений¹.

Область применения

Природой золото и другие драгметаллы наделены уникальными потребительскими качествами, за которые золотые изделия или серебряные поделки так дороги их владельцам.

Не зря же термин «драгоценный» трактуется в словарях русского языка двояко — как «ценный, дорого стоящий», так и «милый, дорогой, очень нужный».

В наше время на первое место среди особых свойств драгметаллов, которые отсутствуют у других материалов, выходит высокая стойкость к разрушительным воздействиям среды, в которой они используются.

Поэтому уже с середины 19 столетия платина, золото, серебро, иридий и другие благородные элементы становятся предметом промышленного применения. Для каждого материала сложилась своя специфическая технологическая ниша, в соответствии с которой установилась его определенная рыночная стоимость, учитывающая потребность в нем и сложности выделения из природного сырья.

Природная добыча и производство

Доля драгметаллов в объеме добычи мировой горнодобывающей промышленности составляет всего лишь 0,00005%. Содержание благородных

¹ Балабанов И.Т. Драгоценные металлы и драгоценные камни. М.: Финансы и статистика, 2003. С.108.

элементов в земной коре невелико, соответственно, объемы их добычи не сопоставимы с разработками других полезных ископаемых. Например, родия ежегодно добывается менее 30 тонн.

Однако с учетом высокой цены золота, платины и других благородных металлов стоимость добываемых драгметаллов превышает 5% ценностного выражения объема добычи всех полезных ископаемых.

То есть стоимость добычи драгметаллов резонно оценивать в пропорции, в 100 тысяч раз превышающей стоимость добычи любого другого природного сырья (кроме алмаза).

Добыче золота и других благородных металлов отводится особая роль в системе развития государства, поскольку наличные запасы драгметаллов определяют стратегическое состояние золотовалютных резервов любой страны¹.

С развитием технологий извлечения драгметаллов из различного вида сырья в промышленно развитых странах сложились три направления добычи, каждое из которых вносит свой вклад в пополнение государственных золотовалютных запасов:

- Первичная добыча, связанная с извлечением драгметаллов из руды и получением концентрированных (обогащенных) материалов, а также переработкой производственных отходов.
- Попутное производство, связанное с извлечением драгоценных металлов из полиметаллических руд, разрабатываемых для получения цветных металлов.
- Вторичное производство, представляющее собой извлечение в основном золота, серебра и платины из лома драгметаллов и неорганизованных отходов.

В Российской Федерации показатели добычи золота за 2020 г. сложились следующим образом:

¹ Басов А.И. Роль золота и других драгоценных металлов в составе золотовалютных резервов // Финансы и кредит. 2003.С. 22-27.

- первичная добыча – 232185 кг;
- попутное производство – 16880 кг;
- вторичное производство – 38913 кг.

Покажем аналогичные показатели для серебра за 2020 г.:

- первичная добыча – 510272 кг;
- попутное производство – 287978 кг;
- вторичное производство – 249139 кг.

Обозначения драгоценных металлов

Для обозначения химических элементов, природных веществ и материалов искусственного происхождения используется специальная символика в виде условных знаков (символов), кодов или сокращений, дающих краткую и наглядную информацию о наименовании химэлемента или аналогичного простого вещества.

Для благородных металлов приняты следующие обозначения:

- золото — Au (от лат. Aurum);
- серебро – Ag (от лат. Argentum);
- платина – Pt (от лат. Platinum);
- палладий – Pd (от лат. Palladium);
- родий – Rh (от лат. Rhodium);
- рутений — Ru (от лат. Ruthenium);
- осмий — Os (от лат. Osmium);
- иридий — Ir (от лат. Iridium).

Символика условных обозначений драгоценных металлов используется в следующих целях:

- при маркировке ювелирных изделий;
- в металлургии – в маркировочной информации о химическом составе сплавов цветных металлов, в которых драгметаллы присутствуют в качестве легирующих добавок (лигатуры);

- при использовании драгметаллов в качестве валютных ценностей, биржевого товара или другого предназначения на финансовом рынке;
- при обозначении монетных металлов, примененных в нумизматике.

Современное состояние первичной добычи

Золотодобыча занимает приоритетную позицию в горнодобывающей промышленности любой страны.

Отличительной особенностью современной первичной добычи драгметаллов является истощение практически всех известных месторождений.

Для золотодобычи промышленная переработка руды коренного месторождения признается рентабельной при извлечении золота в пределах 1-5 г на тонну породы, а для россыпных приисков содержание 0,1-0,5 г золотых крупинок на тонну перерабатываемого песка уже приветствуется и считается выгодным для разработки.

На фоне проблем, связанных с практической реализацией технологий первичной добычи и переработки миллионов тонн породы ради всего лишь нескольких килограммов золота или платины, набирают популярность методики переработки металлосодержащего вторичного сырья¹.

Лом драгметаллов и отходы производства изделий, имеющих в своем составе благородные металлы, в сотни и тысячи раз превосходят природные источники по содержанию в них благородных компонентов. Во многих промышленно развитых странах технологии рециклинга возвращают в оборотное пользование драгоценные металлы в количестве до 40% от общего объема произведенного золота и других драгметаллов.

Несмотря на явную стагнацию первичной добычи золота, уровень его производства, как и других драгметаллов, год из года растет. Это связано с увеличением объема вторичного производства благородных металлов.

Источники вторичного сырья

¹ Бауэр В. Золото в системе цифровых денег // Финансист. 2001. С. 68-74.

Источниками драгоценного вторичного сырья могут служить:

- вышедшие из строя детали промышленного оборудования, измерительной аппаратуры и управляющей автоматики;
- отходы производства радиоэлектроники, телеаппаратуры, химпрома, металлургии, полиграфии и других промышленных отраслей;
- отходы ювелирного производства;
- лом драгметаллов.

Лом драгоценных металлов, рассматриваемый в качестве вторичного сырья, представлен следующими основными группами бывших в употреблении изделий:

- Для золотого и серебряного лома источниками являются побывавшие в пользовании ювелирные изделия, термопары и термодатчики, детали бытовых холодильников, телевизоров, элементы оргтехники (компьютеров и принтеров), радиодетали, гаджеты, аппаратура средств телекоммуникаций, катализаторы и каталитические сетки, аккумуляторы и т.п.
- Для лома металлов платиновой группы источниками являются ювелирные изделия из различных сплавов платины и палладия, каталитические сетки и термопары, аппаратура для электролиза, лабораторная посуда, тигли и крышки к ним, другие лабораторные принадлежности, корпуса стеклоплавильного оборудования, фильеры, обломки изделий с покрытиями благородными металлами.

В заключении надо сказать, что утилизация вторичных благородных металлов решает актуальную в наше время проблему возвратности ресурсов и способствует улучшению экологической обстановки.

При этом удастся сэкономить огромные материальные и финансовые ресурсы, которые ранее тратились на организацию добычи миллионов тонн золотоносных руд или других пород, содержащих драгметаллы.

2.2 Драгоценные камни

Драгоценные камни - природные алмазы, изумруды, рубины, сапфиры и александриты, а также природный жемчуг в сыром (естественном) и обработанном виде. К драгоценным камням приравниваются уникальные янтарные образования Постановление Правительства РФ от 05.01.1999 N 8 (ред. от 16.12.2014) "Об утверждении Порядка отнесения уникальных янтарных образований к драгоценным камням" в порядке, устанавливаемом Правительством Российской Федерации. Не являются драгоценными камнями материалы искусственного происхождения, обладающие характеристиками (свойствами) драгоценных камней. Федеральный закон от 26.03.1998 N 41-ФЗ (ред. от 18.07.2017) "О драгоценных металлах и драгоценных камнях" в ред. Федерального закона от 02.05.2015 N 111-ФЗ

Одной из лучших классификаций драгоценных камней считается классификация профессора Киевленко, учитывающая рыночную стоимость камней:

«I класс - алмаз, рубин, сапфир, изумруд;

II класс - александрит, сапфир оранжевый, зеленый и фиолетовый, благородный черный опал, благородный жадеит;

III класс - демантоид, шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родонит, турмалин;

IV класс - хризолит, циркон, кунцит, лунный камень, солнечный камень, берилл желтый, зеленый и розовый, пироп, альмандин, бирюза, аметист, хризопраз, цитрин»¹. Драгоценные камни получили свое название из-за высокой стоимости, обусловленной их физическими свойствами (прозрачность, блеск, высокая твердость и, как следствие, малая изнашиваемость), а также малораспространенностью в природе и исторически сложившимся отношением к ним людей. К драгоценным

¹ Большой Энциклопедический словарь, 2000. С.96.

камням относят камни как минерального происхождения (алмазы, рубины, сапфиры, изумруды, alexandrites), так и органического происхождения – жемчуг. Для драгоценных камней весовой единицей является карат, а для всех остальных (полудрагоценных и поделочных) – грамм.

Алмаз – самый твердый натуральный минерал (твердость 10, плотность 3,52 г/см³). По химическому составу он представляет собой редкую в природе форму кристаллизации углерода (кристаллическая система – кубическая, показатель преломления 2,4). Добывают алмазы, как из коренных месторождений (кимберлитовых трубок), так и из россыпей.

Рубин представляет собой прозрачную разновидность минерала корунда (твердость 9, плотность 4,0 г/см³). По химическому составу это глинозем (окись алюминия), кристаллизуется в тригональной системе (показатель преломления 1,77). Цвет рубина – пурпурный или карминный – зависит от оксида хрома.

Сапфир так же, как и рубин, относится к группе корунда. Он обладает теми же свойствами, но на его цвет (как правило синий, могут быть различные оттенки) влияют оксиды железа и титана.

Изумруд – это прозрачная разновидность минерала берилла (твердость 7,5, плотность 2,71 г/см³). По химическому составу это силикат бериллия и алюминия, кристаллизуется в гексагональной системе (показатель преломления 1,58). Несмотря на то, что изумруд по твердости значительно уступает алмазу, рубину и сапфиру, этот минерал высоко ценится изумруд за красивую зеленую окраску.

Alexandrite – это хромсодержащая разновидность хризоберилла темнозеленого цвета (твердость 8,5, плотность 3,7 г/см³, показатель преломления 1,76). Alexandrite ценится высоко, поскольку очень редок. При искусственном освещении он теряет зеленую окраску и приобретает фиолетовомалиновый цвет, а днем при сильном солнечном освещении – синеватозеленый цвет с фиолетовыми переливами.

Жемчуг – это животный продукт морских или речных моллюсков (перловицы). По химическому составу – карбонат кальция. В соответствии с его происхождением подразделяется на природный (морской и речной); культивированный (искусственный) и имитированный (изготовленный из стекла).

Янтарь – это смола древнейших хвойных деревьев, скопившаяся в почве, затем постепенно (в течение миллионов лет) уплотненная позднейшими отложениями земной поверхности и под их давлением превратившаяся в камень. В зависимости от химического состава, некоторых особенностей и свойств янтарь может иметь окраску от светло-желтой до красно-коричневой, быть прозрачным, полупрозрачным с отдельными мутноватыми местами и облачно-мутным. Это очень легкий материал аморфного стекловидного строения, очень хрупкий, прекрасно полируется¹.

Обычно янтарь не считается драгоценным камнем, однако уникальные янтарные образования приравниваются в соответствии со ст. 1 Федерального закона «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» к драгоценным камням в порядке, устанавливаемом Правительством Российской Федерации. Основными критериями отнесения уникальных янтарных образований к драгоценным камням являются: масса – свыше 1000 граммов; форма – разнообразная, фантазийная, связанная с условиями внутривольного образования янтаря; целостность – относительно монолитные по своей структуре (не менее 80 процентов), не содержащие сквозных раковин, визуальных трещин, угрожающих целостности образца; включения – прозрачные образцы с хорошо сохранившимися включениями флоры и фауны размерами более 10 мм; цвет – разнообразная цветовая гамма, присущая янтарю.

Следовательно, что уникальные янтарные образования так же, как и драгоценные камни могут быть предметом преступления, предусмотренного

¹ Балабанов И.Т. Драгоценные металлы и драгоценные камни. М.: Финансы и статистика, 2003. С.115.

ст. 191 УК России, поскольку законодателем они приравнены к драгоценным камням. Все другие природные образования янтаря (куски, гальки) и прессованный янтарь предметом незаконного оборота драгоценных металлов и драгоценных камней не являются.

В настоящее время, когда на рынке все чаще встречаются ювелирные изделия с синтетическими камнями, остро встает вопрос их идентификации и отличия от природных камней. В связи с этим возрастает роль применения таможенными органами средств диагностики драгоценных камней, с целью выявления нарушений, связанных с неправомерным ввозом и вывозом объектов данного типа.

2.3 Объект и предмет незаконного оборота драгоценных металлов и драгоценных камней

Состав любого преступления, в том числе незаконного оборота драгоценных металлов и драгоценных камней, представляет собой совокупность обязательных объективных и субъективных признаков общественно опасного деяния, определяющих его в соответствии с уголовным законом как преступное и уголовно наказуемое. Именно состав преступления является юридическим основанием квалификации преступлений.

Признаки состава незаконного оборота драгоценных металлов и драгоценных камней содержатся не только в диспозиции статьи 191 УК России, устанавливающей ответственность за данное преступление, но и в некоторых статьях Общей части УК России (например, признаки, характеризующие субъекта преступления, раскрываются в ст. ст. 19 и 20; а признаки субъективной стороны – в ст. 25)¹.

Статья 191 УК России под незаконным оборотом драгоценных металлов, природных драгоценных камней или жемчуга понимает

¹ Кудрявцев В.Н. Общая теория квалификации преступлений. М.: Юридат, 1999. С. 113.

следующие действия: «совершение сделки, связанной с драгоценными металлами, природными драгоценными камнями либо с жемчугом, в нарушение правил, установленных законодательством Российской Федерации, а равно незаконное хранение, перевозка или пересылка драгоценных металлов, природных драгоценных камней либо жемчуга в любом виде, состоянии, за исключением ювелирных и бытовых изделий и лома таких изделий совершенные в крупном размере».

Как уже отмечалось, в действовавшем ранее УК РСФСР первоначально существовала ст. 88, предусматривающая ответственность за нарушение правил о валютных операциях, а также спекуляцию валютными ценностями или ценными бумагами. В 1994 году эта статья была исключена, а в главу «Хозяйственные преступления» законодатель ввел ст. 162, в соответствии с которой наказывалось «совершение незаконных сделок с валютными ценностями путем их купли-продажи, обмена, использования в качестве средства платежа, а равно незаконное хранение, перевозка или пересылка драгоценных камней или драгоценных металлов в любом виде и состоянии, за исключением ювелирных и бытовых изделий и лома таких изделий».

Установление объекта преступления имеет очень важное уголовно-правовое значение. Во-первых, объект преступления определяет общественную опасность деяния. Во-вторых, он является обязательным элементом состава преступления и его установление необходимо для правильной квалификации совершенного деяния.

Объектом преступления является то, на что направлено посягательство, чему причиняется или может быть причинен вред в результате совершения преступления. Но, как подчеркивал уже А.Н. Трайнин¹, в статьях Особенной части, как правило, нет указаний на объект преступного посягательства. Также и в ст. 191 УК России² объект данного преступления не раскрывается. При определении объекта незаконного оборота драгоценных металлов и

¹ Трайнин А.Н. Общее учение о составе преступления. М.: Закон, 1957. С. 109.

² Курс советского уголовного права. (Часть общая).Л.: Лениздат, 1968.С.269.

драгоценных камней необходимо учитывать, что в науке уголовного права принято различать общий, родовой (видовой) и непосредственный объект преступления¹.

Общий объект преступления традиционно понимается как вся совокупность общественных отношений, ценностей, благ и интересов, охраняемых уголовным законом. Общий объект един для всех преступлений. Понятие общего объекта является очень широким, и поэтому его недостаточно для отражения специфики групп однородных преступлений и отдельных деяний. Для этого выделяются родовой и непосредственный объекты. Родовой объект – это определенная совокупность взаимосвязанных ценностей, общественных отношений, благ и интересов, охраняемых уголовным законом от группы более или менее однородных преступлений. В действующем УК России родовой объект положен в основу выделения большинства разделов Особенной части. Некоторые современные исследователи полагают, что преступления, нормы об ответственности, за которые расположены в одной главе, посягают на ценности и интересы, являющиеся видовым объектом. Видовой объект соотносится с родовым как часть с целым, как вид с родом.

Непосредственным объектом того или иного преступления являются охраняемые уголовным законом ценности, общественные отношения, блага и интересы, против которых прямо и непосредственно направлено одно или несколько преступлений². Очевидно, что после отказа государства от монополии на действия с драгоценными металлами и драгоценными камнями, нельзя считать объектом анализируемого преступления государственную монополию.

Исходя из всего вышесказанного непосредственный объект преступления, предусмотренного ст. 191 УК России, можно определить как порядок обращения драгоценных металлов и драгоценных камней (порядок

¹ Кудрявцев В.Н. Общая теория квалификации преступлений. М.:Юрайт, 1999. С.82.

² Никифоров Б.С. Объект преступления. М.: 1960. С.130–138.

совершения сделок, хранения, перевозки и пересылки), установленный в Российской Федерации. Похожее, но более «узкое» определение объекта преступления предлагает О.И. Цоколова. По ее мнению объектом является «законный порядок совершения сделок, связанных с драгоценными металлами, природными драгоценными камнями либо с жемчугом»¹. Но при таком понимании из объекта преступления необоснованно исключается порядок хранения, перевозки и пересылки драгоценных металлов и драгоценных камней.

Посягательство на объект преступления осуществляется посредством воздействия на предмет преступления. Из содержания ст. 191 УК России предметом анализируемого преступления могут быть драгоценные металлы или драгоценные камни в любом виде, состоянии, за исключением ювелирных и бытовых изделий и лома таких изделий.

В соответствии со ст. 1 Федерального закона «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» драгоценные металлы – золото, серебро, платина и металлы платиновой группы (палладий, иридий, родий, рутений и осмий); драгоценные камни – природные алмазы, изумруды, рубины, сапфиры и alexandrites, а также природный жемчуг в сыром (естественном) и обработанном виде. К драгоценным камням приравниваются уникальные янтарные образования.

Важной характеристикой предмета преступления выступает его стоимость. Преступлением считается если деяние совершено в крупном размере то есть стоимость драгоценных металлов или драгоценных камней превышает крупный размер. Крупным размером, крупным ущербом, доходом либо задолженностью в крупном размере признаются стоимость, ущерб, доход либо задолженность в сумме, превышающей два миллиона двести пятьдесят тысяч рублей.

¹ Расследование преступлений в сфере экономики: Руководство для следователей. М: Эксмо, 1999. С. 323.

Таким образом, предметом преступлений, предусмотренных ч. 1 ст. 191 УК России могут быть драгоценные металлы – «золото, серебро, платина и металлы платиновой группы (палладий, иридий, родий, рутений и осмий); драгоценные камни – природные алмазы, изумруды, рубины, сапфиры и александриты, природный жемчуг, а также приравненные к ним уникальные янтарные образования, если стоимость этих ценностей превышает один миллион пятьсот тысяч рублей».

При установлении стоимости драгоценных металлов и драгоценных камней необходимо учитывать время совершения преступного деяния. В случае незаконной сделки стоимость предмета преступления должна определяться по состоянию на день, когда эта сделка фактически осуществлена (ценности переданы от одного лица другому).

А при незаконном хранении, перевозке или пересылке драгоценных металлов и драгоценных камней их стоимость следует исчислять по состоянию на день, когда эти действия были прекращены самим лицом или пресечены сотрудниками правоохранительных органов.

Порядок определения стоимости драгоценных металлов несколько отличается от порядка установления стоимости драгоценных камней.

Стоимость драгоценных металлов во всем мире зависит только от их веса (за исключением драгоценных металлов, входящих в состав тех или иных изделий – в этом случае стоимость также зависит от вида изделия). Для определения количества драгоценных металлов, в отношении которых осуществлен незаконный оборот, следователь изымает предмет преступления (сплав, изделие, деталь) и назначает физико-химическую экспертизу с целью разрешения вопросов: 1) является ли изъятый металл драгоценным и каким именно; 2) каково содержание химически чистого металла.

После установления точного содержания драгоценного металла следует установить его цену.

При этом необходимо иметь в виду, что с июля 1997 года прекращено государственное регулирование цен (тарифов) на драгоценные металлы. Поэтому при определении стоимости драгоценных металлов необходимо установить источник, из которого они попали в незаконный оборот. В том случае, если они были похищены как изделие либо часть изделия с какого-либо предприятия, их стоимость определяется по справке о стоимости данного изделия, представленной специалистами этого предприятия. А в случае, когда драгоценные металлы найдены, добыты самим субъектом незаконного оборота или получены от других физических лиц, либо источник получения не установлен, их стоимость должна определяться в зависимости от цены, установленной по сделкам Государственного фонда драгоценных металлов и драгоценных камней Российской Федерации (поскольку в соответствии со ст. ст. 6 и 30 Федерального закона «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» эти ценности подлежат обязательной сдаче в этот фонд).

Драгоценные металлы и драгоценные камни могут быть в виде добытого из недр минерального сырья, самородных минералов, слитков аффинированных драгоценных металлов, монет, содержащих драгоценные металлы, сырья, полуфабрикатов, незавершенной производством продукции (включая ювелирные и бытовые изделия), готовой продукции, не относящейся к ювелирным и другим бытовым изделиям, материалов, инструментов, оборудования, установок, приборов, средств вычислительной техники, деталей, узлов, содержащих в своем составе эти ценности, а также в виде лома и отходов их содержащих.

Технические изделия из драгоценных металлов могут быть в виде полуфабрикатов (аноды, проволока, диски, пластины, различные заготовки) либо в виде готовых изделий (например, лабораторная посуда). При этом установлено, что приборы, лабораторная посуда и прочие изделия, изготавливаемые из драгоценных металлов и предназначенные для научных,

производственных, медицинских и других специальных целей, должны быть снабжены маркой, этикеткой или штампом организации - изготовителя, на которых указывается символ металла и другие данные в соответствии со стандартами. Состав сплавов, из которых изготавливаются указанные изделия, регламентируется стандартами или техническими условиями.

Драгоценные камни как предмет незаконного оборота могут быть природного происхождения в виде отдельных кристаллов или в виде сросшихся кристалликов. В связи с тем, что законодатель устанавливает особый порядок обращения только природных камней (ст. 1 Федерального закона «О драгоценных металлах и драгоценных камнях»), то предметом анализируемого преступления не могут быть искусственные (синтезированные или культивированные) камни¹.

Драгоценные камни (особенно алмазы) часто используют в производственно-технических целях. Так, алмазы применяют в промышленности для резцов и сверл. А из низкосортных алмазов изготавливают алмазные порошки, с помощью которых производят огранку, резку, шлифовку и полировку наиболее твердых материалов. Такие алмазные порошки, а также алмазная крошка и алмазная пыль не могут считаться предметом незаконного оборота.

Как уже отмечалось, в ст. 191 УК России содержатся признаки двух составов преступлений, при этом законодатель описывает предмет первого деяния (совершение сделки), не употребляя выражения «за исключением ювелирных и других бытовых изделий», характерных для предмета второго (хранение, перевозка, пересылка). Сегодня законодатель не устанавливает особых правовых ограничений оборота ювелирных и бытовых изделий из драгоценных металлов и драгоценных камней, а также лома этих изделий, поскольку они являются обычными вещами, обычными товарами. Таким

¹ Постановление Правительства России «Об утверждении порядка отнесения уникальных янтарных образований к драгоценным камням» от 5 января 1999 года № 8 // Собрание законодательства Российской Федерации. 1999. № 2. С. 310.

образом, систематическое и историческое толкование правовых норм позволяет сделать вывод, что к предмету незаконного оборота драгоценных металлов и драгоценных камней, совершенному как в виде сделки, так и в виде хранения, перевозки или пересылки не относятся ювелирные и бытовые изделия, а также лом этих изделий. А для устранения возможных разночтений представляется необходимым внести соответствующие изменения в текст ст. 191 УК России, где применительно к совершению сделки также записать: «за исключением ювелирных и бытовых изделий и лома таких изделий».

Кроме того, предметом рассматриваемого преступления не являются сусальное золото (тончайшие пленки золота, наносимые химическим путем на различные изделия), сусальное серебро, государственные ордена и другие награды, выполненные с применением драгоценных металлов и (или) драгоценных камней, а также диски из драгоценных металлов для зубопротезирования. Памятные, юбилейные и другие знаки и медали, кроме государственных наград считаются ювелирным изделием.

Драгоценные камни, ранее входившие в состав ювелирного или бытового изделия, но затем извлеченные из него, должны также считаться ломом такого изделия. Необходимо отметить, что ранее суды первой инстанции нередко ошибочно выносили отменяемые в дальнейшем приговоры, когда камни, извлеченные из ювелирного изделия, признавались предметом анализируемого преступления.

3 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

3.1 Рентгенофлуоресцентный анализ при исследовании драгоценных металлов

Метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в настоящее время широко применяется в целях определения химического состава различных веществ, материалов и изделий из них. В развитии теории и методологии РФА безусловные заслуги принадлежат ряду российских ученых – М.А. Блохину, Н.Ф. Лосеву, В.П. Афонину, Г.В. Павлинскому и др. Такая совокупность свойств метода, как его неразрушающий характер, возможность определения элементов от бора до урана, позволили закрепить данному методу в практических условиях.

Широкому применению метода способствуют и развитая теория, и промышленный выпуск автоматизированных аналитических комплексов на основе многоканальных и сканирующих спектрометров, а также автоматизированных устройств для подготовки проб. Современная рентгеноспектральная аппаратура комплектуется мощными вычислительными средствами, что позволяет выполнять многокомпонентный анализ различных веществ и материалов с помощью наиболее физически обоснованного и универсального в отношении анализируемых объектов и определяемых элементов способа – способа фундаментальных параметров.

Использование рентгеновских лучей для получения информации о составе исследуемого объекта производится двумя основными методами: рентгеновского дифрактометрического анализа (РДА) и рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА). В процессе применения РДА рентгеновские лучи падают под некоторым углом на поверхность исследуемой пробы, отражаются и регистрируются детектором. Запись сигнала детектора в зависимости от угла дифракции дает спектр

(дебаеграмму), который имеет индивидуальный характер для данного вещества. Каждое вещество в смеси с другими дает свою систему индексов отражения независимо от присутствия других веществ. Расшифровка индексов отражения и измерение интенсивности характеристических пиков позволяют произвести анализы (как качественный, так и количественный) элементного состава разнообразных объектов. В методе РФА исследуемая проба расположена рядом с окном рентгеновской трубки, и ее поверхность подвергается бомбардировке первичными рентгеновскими лучами.¹ Схема генерации рентгеновского излучения и конструкция рентгеновской трубки в настоящей работе приведены на Рисунке 1.1 (Приложение 1).

В связи с воздействием данных лучей происходят процессы возникновения вторичного (флуоресцентного) рентгеновского излучения непосредственно в самом исследуемом объекте. В дальнейшем это флуоресцентное излучения аппаратурой спектрометра разлагается на характеристические составляющие. Следует отметить, что каждый химический элемент обладает собственной уникальной совокупностью характеристического излучения (проявляемого в виде спектральных линий), что позволяет осуществлять как качественный, так и количественный анализ элементного состава разнообразных объектов. Схема возникновения характеристического рентгеновского излучения в настоящей работе приведена на Рисунке 1.2 (Приложение 2).

Рентгеновские лучи представляют собой электромагнитное излучение такой же природы, что и видимое оптическое излучение, но характеризуются намного меньшей длиной волны. В качестве единицы длины волны λ часто используется ангстрем (\AA): $\text{\AA} = 0,1 \text{ нм}$. Интервал длин волн рентгеновского излучения соответствует $0,1-100 \text{ \AA}$. В методе РДА обычно используются рентгеновские лучи с длиной волны $0,5-2,5 \text{ \AA}$. Диапазон длин волн, используемых в методе РФА, несколько шире и

¹ Бахтиаров А.В., Савельев, С.К. Рентгенофлуоресцентный анализ минерального сырья: учебник/ А.В. Бахтиаров С.К. Савельев. СПб.: Издательство СПбГУ, 2014. С.78.

составляет 0,4-6,7 Å. В этот интервал попадают все характеристические линии элементов от В ($Z=5$) до U ($Z=92$) включительно.

В методе РФА, как правило, рентгеновская трубка является источником первичного излучения, внутри которой создается сильное электрическое поле (в пространстве между нагретым катодом и анодом из подходящих материалов). Испускаемые катодом электроны, из-за действия электрического поля ускоряются и бомбардируют металлический анод, где происходит их торможение.

При бомбардировке анода потоком ускоренных электронов малая их доля вызывает ионизацию атомов мишени, что, в свою очередь, может закончиться последующим испусканием квантов характеристического рентгеновского излучения, обусловленным заполнением образовавшихся вакансий электронами с более удаленных оболочек.¹

Следует отметить, что энергия кванта характеристического излучения представляет собой разность энергии связи атомов в его начальном и конечном состоянии. Так как атом каждого элемента обладает индивидуальным и дискретным характером такой разности, и само характеристическое излучение представляется линиями, дискретными по длине волны.

При поглощении веществом рентгеновских квантов возможна ионизация внутренних электронных оболочек (явление фотоэффекта). Происходит выход электрона из атома, что сопровождается возникновением избытка энергии, который излучается в виде рентгеновского кванта. Это излучение (вторичное) носит название флуоресцентного. Спектры рентгеновской флуоресценции несут информацию, использование которой необходимо при производстве анализа элементного состава разнообразных объектов. При проведении качественного анализа производят определение

¹ Александрова Э. А. Аналитическая химия в 2 книгах. Книга 2. Физико-химические методы анализа: учебник и практикум для вузов / Э. А. Александрова, Н. Г. Гайдукова. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. С.76.

длин волн полученных флуоресцентных линий, затем по специально разработанным таблицам устанавливают соответствие полученных линий определенным элементам.

При взаимодействии с электронами на различных оболочках атома, есть вероятность изменения направления движения квантом рентгеновского излучения. Есть 2 варианта такого события: либо квант передает часть энергии какому-либо электрону атома (длина волны рассеянного излучения возрастает – некогерентное рассеяние), либо квант полностью сохраняет свою энергию при столкновении с атомом (длина волны рассеянного излучения не изменяется – когерентное рассеяние). Во многом интенсивность рассеянного излучения находится в зависимости от состава самой пробы: доля такого излучения в пробах, состав которых составляют тяжелые элемент, мала; наоборот, в пробах, состоящих из легких элементов – большая. Можно сказать, что рентгеновская флуоресценция – это физический механизм, направленный на освобождение атома от избыточной энергии (посредством эмиссии рентгеновского фотона), которая была получена при его ионизации. Кроме того, имеется также иной способ освобождения атома от избыточной энергии – посредством эмиссии Оже-электронов (избыточная энергия передается электрону, который находится на том или более высоком энергетическом уровне, из-за чего электрон оставляет атом). Схема процесса Оже-эмиссии в настоящей работе представлена на Рисунке 1.3 (Приложение 3).

Стоит отметить, что имеется зависимость выхода флуоресценции от атомного номера элемента. Элементом с атомным номером до 10 характерна Оже-эмиссия. Именно поэтому метод рентгенофлуоресцентного анализа дает возможность для идентификации элементов, начиная с бора, а для количественного анализа – с натрия.¹

¹ Мони́на Л.Н. Рентгенография. Качественный рентгенофазовый анализ: учебное пособие/ Л.Н. Мони́на. М: Проспект, 2017. С.87.

Вероятность возникновения Оже-эмиссии, находящаяся в зависимости от атомного номера элемента, в настоящей работе представлена на Рисунке 1.4 (Приложение 4).

Кроме того, спектр снимается на фоне уже имеющегося фонового излучения, которое имеет достаточно сложную структуру из следующих составляющих:

- излучение самой трубки, которое было рассеяно пробой;
- излучение пробы, которое было рассеяно деталями спектрометра;
- излучение пробы, которое было кристаллом-монохроматором;
- тормозное излучение электронов;
- собственное флуоресцентное излучение элементов, составляющих кристалл-монохроматор.

Существуют различные способы выделения нужных аналитических линий из суммарного флуоресцентного излучения. Кристалл-дифракционные спектрометры используют волновые свойства электромагнитного излучения, а именно способность электромагнитного излучения к интерференции и дифракции.

Поскольку рентгеновское излучение наблюдается в значительно более коротковолновом диапазоне, чем световое, в качестве диспергирующего элемента в рентгеновских спектрометрах применяются не нарезные решетки, а природные или синтетические кристаллы. Кристалл представляет собой твердое тело, состоящее из атомов (молекул), которые образуют периодическую структуру в трех измерениях. В таком расположении частиц имеется много плоскостей различного направления, через которые проходят узлы кристаллической решетки (атомы, молекулы).

Такие плоскости носят название «плоскости кристаллической решетки». Они являются равноудаленными друг от друга на определенную величину расстояния. Излучение, которое было дифрагировано от кристалла, попадает в детектор, который осуществляет процедуру преобразования

рентгеновских квантов в электрические импульсы определенной амплитуды. Стоит отметить, что данная амплитуда имеет пропорциональную зависимость от энергии рентгеновских квантов. Далее, после процедур усиления импульсов и исключения фоновых компонентов из сигнала, они поступают на обработку в пересчетное устройство, которое осуществляет их регистрацию (количество импульсов за определенный промежуток времени экспозиции). Число таких импульсов передается на блоки микропроцессорной техники для обработки данных и расчета количественных характеристик определяемых в образце элементов.

Традиционным типом спектрометров можно назвать спектрометры с волновой дисперсией. Для них характерны более высокие показатели спектрального разрешения, тем самым имеющим большие возможности для обнаружения легких элементов в образцах. Такие спектрометры бывают двух видов: многоканальные спектрометры и сканирующие спектрометры.

В конструкции спектрометров с волновой дисперсией присутствует кристалл-монокроматор (с возможностью его настройки). Использование такого кристалла дает возможность из заранее выбранного спектрального интервала последовательно выделять излучение с любой длины волны.¹

В конструкции многоканальных спектрометров предусмотрено несколько спектрометрических каналов. Каждый из таких каналов в своей конструкции имеет кристалл-монокроматор, детектор и приборы, регистрирующие интенсивность спектральных линий. Одно из главных направлений применения многоканальных спектрометров – быстрый контроль содержания ограниченного числа элементов в образцах, обусловлено высокой производительностью и хорошим программно-аналитическим обеспечением.

Отдельно рассмотрим детекторы и системы регистрации рентгеновского излучения. В методе количественного

¹ Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия: учебник/ М.А. Ельяшевич. М.: Либроком, 2018. С.311.

рентгенофлуоресцентного анализа в качестве аналитического сигнала применяется интенсивность характеристического излучения конкретного химического элемента. В детекторах это излучение преобразуется в электрические сигналы. В методе рентгенофлуоресцентного анализа зачастую используют детекторы, в которых амплитуда генерируемых импульсов находится в пропорциональной зависимости от энергии поглощенного фотона. К таким детекторам относятся: полупроводниковые, газоразрядные и сцинтилляторные детекторы. В основе функционирования всех этих типов детекторов находится физическое явление ионизации вещества рентгеновским излучением.¹

Газоразрядные пропорциональные детекторы конструктивно представляют собой газоразрядный двухэлектродный прибор, катодом которого служит металлический цилиндрический корпус, а анодом - тонкая вольфрамовая нить. В качестве газа-носителя используется Ar или Xe в смеси с метаном. Для жесткого излучения предпочтителен Xe, т. к. у него больше коэффициент поглощения рентгеновских лучей и, следовательно, выше эффективность регистрации. Газоразрядные пропорциональные детекторы используются для регистрации рентгеновских излучений с длиной волны больше 1,5-2,0 Å. Принцип действия пропорционального детектора заключается в следующем. Рентгеновское излучение попадает внутрь детектора через тонкое прозрачное окно, расположенное посередине его цилиндрической стенки. Влетевший фотон, взаимодействуя с атомами инертного газа, вызывает их ионизацию, в результате чего образуются электрон-ионные пары. Количество образующихся пар пропорционально энергии поглощенного фотона (отсюда название детектора).

Газоразрядные пропорциональные детекторы бывают двух типов: проточные и отпаянные. Проточный детектор имеет непрерывную подачу счетного газа и снабжен окном толщиной менее 0,6 мкм. Из-за этого

¹ Беккер Ю. Спектроскопия: учебник/ Ю. Беккер. М.: Техносфера, 2017. С.451.

проточный детектор достаточно хорошо регистрирует флуоресценции легких элементов; кроме того, Высокий уровень поглощения в окне, вызываемый его малой толщиной, не дает возможности для измерения флуоресценции элементов в промежутке от Be до Na.

Конструкция сцинтилляторного детектора включает в себя две части: люминесцирующий кристалл и фотоэлектронный умножитель. Люминесцирующий кристалл (обычно это йодид натрия, активированный натрием) при попадании в него кванта рентгеновского излучения испускает квант видимого света. Вышедший квант света поступает на фотоэлектронный умножитель, принцип работы которого основан на явлении фотоэффекта (взаимодействие квантов света с электронами вещества, при котором происходит передача энергии от фотонов электронам) – возникает фототок, регистрируемый и интерпретируемый аппаратурой спектрометра в понятный для исследователя вид. Тем не менее, в процессе эксплуатации на поверхности кристалла-сцинтиллятора со временем образуется слой аморфного NaI, приводящего к ослаблению падающего излучения, и эффективность детектора падает, что наиболее заметно проявляется при измерениях флуоресценции в длинноволновой области (более 1 Å).¹

Конструкция полупроводникового детектора представляет собой пластину активированного монокристалла кремния или германия, на поверхность которой напылен микроскопический слой золота (толщиной не более 20 нм), образующий контакт, к которому прикладывают отрицательное напряжение смещения. В полупроводнике валентная зона заполнена, а зона проводимости почти свободна и отделена от валентной запрещенной зоной. Под действием рентгеновских квантов электроны из валентной зоны переходят в зону проводимости. Каждый переход сопровождается появлением дырки в валентной зоне, которая в электрическом поле ведет себя как свободный положительный заряд.

¹ Бахтиаров А. В., Савельев, С. К. Рентгенофлуоресцентный анализ минерального сырья: учебник/ СПб.: Издательство СПбГУ, 2014. С. 69.

Поскольку к полупроводнику приложена разность потенциалов, электроны и дырки будут перемещаться к электродам, вызывая кратковременный импульс тока, который после усиления может быть зарегистрирован электронной схемой.

Основные характеристики детекторов – это эффективность, энергетическое разрешение и форма амплитудного распределения. Эффективность детектора - отношение зарегистрированных детектором числа фотонов, к числу попавших в детектор фотонов. В области высоких энергий эффективность детектора ограничивается его толщиной, а также коэффициентом поглощения материала, из которого он изготовлен.

В области малых энергий эффективность детектора ограничивается пропусканием окна, которое отделяет рабочий объем детектора от окружающей среды. Бериллиевые окна толщиной от 0,1 до 0,2 мм используются в сцинтилляционных детекторах. Сцинтилляционные детекторы имеют крайне высокую (близкую к 100%) эффективность в широком диапазоне (от 3-5 до 30- 60 кэВ) энергий рентгеновского излучения.

Уменьшив толщину бериллиевых окон, можно расширить диапазон регистрации в сторону малых энергий. Однако это нецелесообразно в связи с наличием шумов фотоэлектронного умножителя, уровень которых находится в диапазоне 1-2 кэВ. Использование бериллиевых окон малой толщины (до 10 мкм) дает возможность качественной регистрации характеристического излучения с энергией свыше 2 кэВ. Полупроводниковые детекторы на основе германия используются в диапазоне энергии от 60 до 100 кэВ. Полупроводниковые детекторы на основе кремния характеризуются спадом эффективности при значении энергии свыше 40 кэВ.

Зависимости эффективности от энергии более сложны и разнообразны для газоразрядных детекторов. Помимо толщины окна они определяются толщиной слоя, давлением и составом рабочего газа. Газоразрядные детекторы характеризуются резко выраженной избирательностью, чем

отличаются от твердотельных.

При надлежащем выборе рабочего газа и его давления, возникает падение эффективности с одновременным увеличением энергии регистрируемого характеристического излучения. Это дает возможность эффективной регистрации излучения в заранее заданном спектральном интервале.

Характер процессов, происходящих в детекторе при регистрации излучения, имеет статистический характер. Это приводит к тому, что даже в случае монохроматического излучения на выходе детектора возникают импульсы различной амплитуды, образующие амплитудный спектр.

Основной пик, называемый фотопиком, образуют импульсы, которые соответствуют полной энергии поглощенных фотонов. Относительная ширина фотопика определяется отношением ширины пика на половине высоты к положению его максимума. Этот параметр характеризует энергетическое разрешение (разрешающую способность). Для в зависимости от типа применяемого фотоэлектронного умножителя рабочее напряжение сцинтилляционных детекторов составляет от 600 до 1400 В (зачастую от 600 до 800 В). При этом сила потребляемого тока находится в пределах от 0,2 до 0,5 мА.

Для пропорциональных счетчиков напряжение питания находится в диапазоне 1600-2200 В, которое зависит от состава рабочего газа и диаметра анодной нити. Сила рабочего тока не превышает нескольких мкА. Так как в пропорциональных и сцинтилляционных детекторах имеется зависимость сигнала от напряжения, существуют особые требования к стабильности электропитания. В свою очередь, полупроводниковые детекторы потребляют напряжение, иногда достигающее 1000 В.

Величина напряжения зависит от толщины рабочего слоя детектора, но так как зависимость сигнала от напряжения достаточно слабая, особых требований к стабильности питания нет. Стоит отметить и то, что

пропорциональные и сцинтилляционные детекторы могут эксплуатироваться в широких границах температур. Эксплуатация полупроводниковых детекторов обычно осуществляется в условиях пониженной температуры, в некоторых случаях – при температуре в $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура жидкого азота). Все вышеперечисленные детекторы обладают высокой степенью надежности, а срок их эксплуатации исчисляется годами.

Действие рентгеновских фильтров для выделения аналитических сигналов основано на следующей физической зависимости. Химические элементы поглощают рентгеновское излучение в зависимости от длины волны и ее энергии. Увеличение энергии излучения приводит к монотонному падению. Монотонность этой функции прерывается скачками поглощения, которые тождественны потенциалам ионизации оболочек атома.

При правильном подборе материала и толщины фильтра возможно более полно отделить регистрируемую линию от жесткого излучения. Отдельно стоит сказать о фильтрах, непосредственно использующих скачки поглощения – краевых фильтрах. Конструктивно они представляют тонкие пластины, изготовленные из различных элементов.¹

Применение краевых фильтров позволяет более точно разграничить исследуемое излучение от посторонних излучений. Для примера:

- титановый фильтр – позволяет отделить излучение титана и ванадия от рассеянного излучения марганца;
- серебряный фильтр – позволяет разделить линии кальция и калия;
- никелевый фильтр – позволяет отдельно определить медь и цинк;
- молибденовый фильтр – позволяет разделить линии серы и хлора.

Более универсальны и селективны дифференциальные фильтры Росса. Его конструкцию составляют 2 селективных фильтра, изготовленных из близких либо соседних по Периодической системе элементов. Данные

¹ Конюхов В. Ю. Методы исследования материалов и процессов : учебное пособие для вузов / И. А. Гоголадзе З. В. Мурга. 2-е изд., испр. и доп. Москва : Издательство Юрайт, 2020. С. 93.

фильтры имеют специальным образом рассчитанную толщину. Правильный подбор толщины обеспечивает равное пропускание по всему диапазону длин волн, за исключением имеющегося между краями поглощения фильтров интервала.

Одним из недостатков применения дифференциальных фильтров Росса является то, что имеется необходимость в проведении двукратных измерений с дополнительным вычитанием результатов. Это вызывает рост статистической погрешности произведенных измерений, а так же увеличивает время проведения исследований.¹

Один из множества способов выделения аналитического сигнала заключается в сочетании вторичного излучателя с фильтром. Характеристическое излучение, возникшее при облучении атомов объекта рентгеновским излучением после прохода через селективный фильтр подается на вторичный излучатель. Излучатель обычно изготовлен из вещества, которое в Периодической системе находится перед веществом, из которого непосредственно изготовлен фильтр.

Таким образом, если характеристическое излучение имеет превышающую потенциал возбуждения фильтра энергию, оно задерживается фильтром. Одновременно, это же характеристическое излучение не превышает потенциал возбуждения излучателя. В итоге имеем то, что флуоресценцию вызывают кванты, обладающие энергий в пределах границ потенциалов возбуждения фильтра и излучателя. Эта флуоресценция и регистрируется детектором.

Рассмотрим традиционные способы анализа. При выполнении качественного анализа устанавливают только положение спектральных линий элементов. При этом съемка обзорных спектров целесообразна, если ожидаемая концентрация элементов в 10-20 раз превышает предел обнаружения для режима количественного анализа. При идентификации

¹ Беккер Ю. Спектроскопия: учебник/ М.: Техносфера, 2017. С. 462.

отдельных линий с помощью таблиц следует учитывать погрешность определения длины волны и возможность нахождения линий в разных дифракционных порядках. Этот процесс в современной аппаратуре выполняется автоматически. При производстве анализа, аппаратура спектрометра выставляет кристалл-анализатор в определенное положение, которое обеспечивает отражение минимальной длины волны из интересующего диапазона, далее спектрометр замеряет интенсивность спектра в этом положении, далее кристалл-анализатор перемещается на угол, который соответствует одному шагу по шкале длин волн, далее снова замеряет интенсивность спектра.

Многие разновидности количественного анализа в своей основе имеют положение, что интенсивность аналитической линии, измеренная при анализе, находится в зависимости от концентрации определенного химического элемента в пробе.

Широко используется в рентгенофлуоресцентном анализе способ внешнего стандарта. Его суть – в градуировании рентгеновского спектрометра с помощью образцов с известным содержанием определяемого элемента. Применяемые для этой цели образцы (образцы сравнения) должны быть того же типа, что и анализируемые пробы. Метод РФА дает возможность определения химических элементов Периодической системы в различных пробах. Масса используемых для анализа проб обычно составляет 1 г и более. Тем не менее, качество подготовки пробы не менее важно, чем качество измерений аналитических сигналов от нее. Для проведения количественного анализа исследуемый материал должен иметь вид однородной пробы подходящих размеров и с плоской поверхностью. Рентгеновская флуоресценция возбуждается в весьма тонком поверхностном слое, который должен воспроизводить состав контролируемого материала. Толщина пробы должна быть достаточной для того, чтобы выполнялось условие возбуждения

флуоресценции в «насыщенном слое». Если ее количество недостаточно для удовлетворения этого условия, целесообразно готовить пробы с поверхностной плотностью не более 0,5-1,0 г/см², поскольку для них интенсивность флуоресценции, как правило, линейно зависит от концентрации определяемого элемента и процедура калибровки выполняется наиболее просто.

Материалы типа горных пород, почв и шлаков, а также ферросплавы, керамика, стекло, цемент и другие должны быть измельчены. Сначала материал дробят на куски в дробильном устройстве. Затем их превращают в очень мелкий порошок в устройствах для измельчения. Требования к размеру зерен примерно те же, что и к шероховатости поверхности проб металлов и сплавов. Как правило, размер частиц порошка оказывает существенное влияние на интенсивность аналитических линий (эффект микронеоднородности).¹

Идеальным видом проб для РФА является жидкая однофазная и относительно нелетучая проба. Водные растворы (гальванические ванны, электролиты и др.) анализируют без предварительной подготовки, заливая их в пластиковые чашечки одноразового применения, которые размещают в пробозагрузочном устройстве так же, как и твердые пробы. Таким же способом могут анализироваться и другие виды материалов после их растворения в кислотах или после сплавления и последующего растворения. Для проведения измерений необходимо создавать инертную (гелиевую) атмосферу внутри спектрометра. Если конструкцией аппаратуры предусматривается облучение пробы снизу, жидкости заливают в специальные кюветы, снабженные дном из тонкой органической пленки.

Возможно проведение анализа жидкостей при их высушивании и дальнейшем анализе сухого остатка. Также возможно осаждение металлов из

¹ Конюхов В. Ю. Методы исследования материалов и процессов : учебное пособие для вузов / И. А. Гоголадзе, З. В. Мурга. 2-е изд., испр. и доп. Москва : Издательство Юрайт, 2020. С. 97.

растворов с использованием осадителей, последующим высушиванием и анализом отфильтрованного осадка.

Пробоподготовке следует иметь простой и быстрый характер. С помощью приемов резки, шлифования, полировки производят подготовку металлических проб к анализу. К хрупким материалам и твердым сплавам применяется шлифование. Применение мелкозернистых абразивов необходимо для качественной полировки.¹

Подвергаемая анализу поверхность металлических проб должна быть плоской с минимальной шероховатостью. Максимально уменьшается интенсивность флуоресценции, в случае если первичное излучение направлено перпендикулярно бороздкам, возникшим в результате токарной заточки, и минимально, в случае, когда оно направлено параллельно им. Поэтому современные спектрометры в конструкции имеют вращающиеся прободержатели, с помощью которых достигается снижение влияния ориентации пробы, что дает возможность получения воспроизводимых интенсивностей для анализируемых объектов.

Таким образом, метод рентгенофлуоресцентного анализа успешно применяется в исследовании ювелирных изделий как отечественного, так и зарубежного производства. Помимо использования в экспертной практике, данный метод применяется на предприятиях ювелирной промышленности для контроля состава производимой продукции и правильности технологии ее изготовления. Также метод РФА используется в Государственных инспекциях пробирного надзора России для анализа разнообразных ювелирных изделий.

Колоссальным преимуществом этого метода является его неразрушающий характер. Но не стоит забывать, что при использовании данного метода человек работает с источником ионизирующего излучения, поэтому соблюдение правил эксплуатации рентгенофлуоресцентного

¹ Беккер Ю. Спектроскопия: учебник/ М.: Техносфера, 2017. С. 468.

спектрометра, техники безопасности и радиационной безопасности крайне важно для человека, проводящего исследования данным физико-химическим методом.

2.2 Атомно-эмиссионный спектральный анализ драгоценных камней

Наиболее старым является метод атомно-эмиссионного спектрального анализа (АЭСА), впервые примененный в экспериментах Р. Бунзеном и Г. Кирхгоффом в 1859-1860 гг. Работы Н. Бора (1914 г.) открыли новый этап в развитии спектроскопии, т. к. позволили понять сущность процессов возбуждения эмиссионных спектров. С этой целью анализируемую пробу вводят в источник возбуждения, где она нагревается и испаряется, а попавшие в газовую фазу молекулы диссоциируют на атомы, которые при столкновениях с электронами переходят в возбужденное состояние. В таком состоянии атомы могут находиться очень короткое время. Самопроизвольно возвращаясь в нормальное или промежуточное состояние, они испускают избыточную энергию в виде квантов света. Для получения эмиссионного спектра частицам анализируемого вещества необходимо придать дополнительную энергию.¹

В методе атомно-эмиссионного спектрального анализа в качестве источников возбуждения спектров применяют:

- пламена;
- электрические дуги;
- лазеры;
- тлеющие разряды;
- электрические искры;
- индуктивно связанную плазму.

¹ Александрова Э. А. Аналитическая химия в 2 книгах. Книга 2. Физико-химические методы анализа: учебник и практикум для вузов / Н. Г. Гайдукова. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. С. 35.

Из пламен в основном используется пламя смеси «воздух-ацетилен» (температура 2100-2400 К). Анализируемая жидкость вводится в пламя посредством пневматического распыления. Такое распыление возникает благодаря разрежению, которое создается около отверстия распыляющего капилляра, при том, что его второй конец погружен в раствор анализируемой жидкости. Жидкость, вытекающая из капилляра, ввиду воздействия газовой струи, становится аэрозолем. Температура пламени, являющегося источником возбуждения спектра, дает возможность обнаружения элементов, значения энергии возбуждения резонансных линий которых составляют не более 5 эВ. Пламя как источник возбуждения спектров особо подходит для определения микроколичеств щелочноземельных и щелочных металлов.¹ Схема процессов, происходящих в пламени атомно-эмиссионного спектрометра, в настоящей работе представлена на Рисунке 2.1 (Приложение 5).

Электрическая дуга постоянного тока характеризуется гораздо большей температурой. Объект исследования, предварительно измельченный, помещается в углубление нижнего электрода, включаемого в цепь дуги анодом. Возникающая при подаче напряжения на цепь плазма дуги имеет температуру, находящуюся в зависимости от материала электродов. Использование дуги постоянного тока как источника возбуждения спектров в настоящей работе представлено на Рисунке 2.2 (Приложение 6).

Наибольшая температура плазмы (7000 К) достижима при использовании угольных электродов. С целью улучшения условий возбуждения спектров применяются контролируемые газовые атмосферы (зачастую аргона), которые обеспечивают стабилизацию положения плазменной дуги в пространстве. Стоит отметить, что использование контролируемой атмосферы дает возможность удалить полосы циана в области 340^{20} нм, перекрывающие некоторые резонансные линии

¹ Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия: учебник/ М.:Либроком, 2018. С. 184.

определенных элементов.

Имеется возможность использования в методе АЭСА и электрической дуги переменного тока, но в данном случае имеется ряд особенностей. Стоит отметить, что данный разряд самостоятельно существовать не может.

Наблюдается быстрое остывание электродов при смене направления тока, что ведет к прекращению термоэлектронной эмиссии, деионизации разрядного промежутка и погашению разряда. Чтобы избежать этого процесса, применяются дополнительные приемы поджига дуги (пробой рабочего промежутка дуги маломощным высокочастотным импульсом). Так как дуга переменного тока обладает импульсным характером, возрастает температура разряда, кроме того, это оказывает хорошее влияние на воспроизводимость измерений интенсивности спектральных линий элементов.

Искровые источники из-за своей сравнительно высокой стабильности и надежности наиболее пригодны для прямого анализа металлов, например при экспресс-контроле состава выплавляемых металлов и сплавов. Большинство из них обеспечивают многорежимный характер работы, широкий диапазон изменения параметров разрядного контура и частоты следования импульсов. Как правило, все современные генераторы можно эксплуатировать только в комплекте с электродным штативом определенного типа, в котором размещена часть схемы управления. Газ подают со стороны входной щели спектрометра, его расход контролируют ротаметром.¹

Возможно как традиционное нижнее расположение пробы, так и верхнее. Последнее более удобно, т.к. позволяет анализировать пробы разнообразной конфигурации и большой массы. Кроме того, возможно более точное фиксирование площадки опрыскивания пробы по отношению к оптической оси спектрометра.

¹ Александрова Э. А. Аналитическая химия в 2 книгах. Книга 2. Физико-химические методы анализа: учебник и практикум для вузов / Н. Г. Гайдукова. – 3-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. С. 37.

Посредством применения лазерных источников возбуждения спектра возможно исследование любых твердых объектов. Возможно применение разнообразных типов лазеров: на красителях с ламповой накачкой, твердотельных импульсных (в моноимпульсном и свободном режиме) и иных (с энергией импульсов в моноимпульсном режиме до 0,6 Дж и в свободном режиме до 10 Дж).

Механизм разрушения твердого материала носит взрывной характер, благодаря чему химический состав продуктов лазерной эрозии в целом идентичен химическому составу исходной пробы. Продукты лазерной эрозии практически полностью представляют собой конденсированную фазу (мельчайшие капельки расплава); содержание паров составляет всего сотые доли процента. В силу этого, а также по другим причинам спектр лазерного факела самостоятельно не применяется в методе АЭСА.¹

Атомы анализируемого вещества могут поступать в разряд не только в процессе термического испарения, но и под действием бомбардировки поверхности анализируемой пробы ионами. В спектральном анализе для этой цели используют тлеющий разряд постоянного тока при пониженном давлении инертного газа, осуществляемый в специальных разрядных трубках с катодом или анодом в виде полого цилиндра.² Электроны, эмитируемые катодом, приобретают в этом пространстве энергию порядка 10 эВ. Попадая в плазму разряда, электроны в результате многократных соударений производят эффективную ионизацию атомов газаносителя. Ионы рабочего газа, ускоряясь электрическим полем, бомбардируют поверхность пробы и выбивают из поверхностного слоя атомы (катодное распыление). Основным преимуществом тлеющего разряда перед другими ИВС являются узкие спектральные линии, что снижает требования к разрешающей способности спектрометров.

В связи с появлением нового способа возбуждения спектров с

¹ Беккер Ю. Спектроскопия: учебник/ М.: Техносфера, 2017. С.357.

² Там же. С.358.

помощью источника высокочастотной индуктивносвязанной плазмы, в практике метода АЭСА произошли серьезные изменения. Этот источник является одним из видов безэлектродного высокочастотного разряда, поддерживаемого в специальной горелке, которая состоит из трех (иногда двух) кварцевых трубок, расположенных концентрически. В зазор между этими трубками подается внешний (или охлаждающий) газ (обычно аргон), по центральной трубке аэрозоль анализируемой пробы подается в плазму, по промежуточной трубке подается плазмообразующий газ (исключительно аргон). Открытый конец горелки находится в соединенной с высокочастотным генератором катушке индуктивности, которая дополнительно охлаждается водой. С целью получения плазмы используются высокочастотные генераторы с рабочей частотой 27-50 МГц и с потребляемой мощностью 1,5-5 кВт.

Для возбуждения разряда необходима предварительная ионизация газа, поскольку напряжение на индукторе значительно меньше напряжения пробоя плазмообразующего (рабочего) газа. В связи с тем, что напряжение на индукторе меньше чем напряжение пробоя рабочего газа, для возбуждения разряда необходимо предварительно ионизировать газ. Для этого используется высоковольтная искра. Протекающий через катушку индуктивности высокочастотный ток приводит к появлению переменного магнитного поля, под действием которого внутри катушки возникают вихревые токи, нагревающие и ионизирующие рабочий газ. Поток аргона в горелке выполняет две роли, во-первых, способствует образованию плазмы, во-вторых, оттесняет плазму от стенок самой горелки, сохраняя ее от разрушения. Аэрозоль пробы распространяется вдоль центрального канала разряда, не задевая электропроводящий слой и не внося изменения в его характеристики. В этом и состоит главная особенность исследования объектов с использованием индуктивносвязанной плазмы.¹ Схема горелки

¹ Беккер Ю. Спектроскопия: учебник/ М.: Техносфера, 2017. С. 329.

для использования индуктивно-связанной плазмы в атомно-эмиссионных спектрометрах в настоящей работе представлена на Рисунке 2.3 (Приложение 7).

Отдельно стоит рассмотреть спектральные приборы, являющиеся неотъемлемой частью метода атомно-эмиссионного спектрального анализа. Непосредственно призма, как диспергирующий элемент, основывается на физической зависимости показателя преломления материала, из которого изготовлена призма, от длины волны излучения.

Дифракционная решетка конструктивно представляет множество нанесенных на оптическую поверхность штрихов. Падающая на решетку волна света разбивается штрихами на отдельные когерентные пучки, которые в дальнейшем интерферируют с образованием спектра излучения (пространственного распределения интенсивности света).

Эшелеттом называется отражательная дифракционная решетка для ИК-области, способная концентрировать дифрагированное излучение в спектре одного нужного порядка, ослабляя остальные. Она характеризуется низкими значениями угла блеска и частоты штрихов. Широкая грань ступеньки в эшелетте является рабочей. Как правило, эшелетты изготавливаются на металлических субстратах (подложках).

Под эшелле понимается отражательная дифракционная решетка, обеспечивающая концентрацию дифрагированного излучения в спектрах высоких порядков. При относительно небольшой плотности штрихов (до 100 мм^{-1}) для эшелле характерны очень высокие дисперсия и разрешающая способность.

Стилоскопы и стилометры относятся к простейшим спектральным приборам. Они предназначены для визуального качественного и полуколичественного анализа цветных металлов и сплавов, их сортировки по маркам.

Спектральные приборы с фотоэлектрической регистрацией

(спектрометры) подразделяются на два вида: многоканальные и сканирующие (последовательные). Основой многоканальных спектрометров, как правило, является полихроматор с вогнутой дифракционной решеткой. Излучение от разрядного промежутка через входную щель проецируется на решетку и разлагается в спектр. Решетка одновременно выполняет функции диспергирующего элемента и фокусирующей оптики. На фокальной поверхности полихроматора размещены несколько десятков выходных щелей, выделяющих нужные аналитические линии. Каждая выходная щель снабжена своим детектором излучения, регистрирующим интенсивность аналитических линий.

В системах экспрессного многоэлементного анализа обширное применение получили многоканальные спектрометры. В процессе настройки его полихроматора происходит установка выходных щелей на конкретное множество аналитических линий, которая далее не претерпевает изменений. Автоматизация процессов в приборе дает возможность выполнения анализа с целью определения 25-30 элементов в объекте с временными затратами в 1 минуту.¹

Основой сканирующих спектрометров чаще всего являются монохроматоры с плоской дифракционной решеткой. Размещенный за выходной щелью фотоумножитель связан с измеряющим и управляющим устройствами спектрометра, компьютером, монитором и принтером. К системе сканирования предъявляются очень жесткие требования.

Такие аппараты получили название спектрометров последовательного действия. Эшелле-спектрометры, в конструкции которых не имеется подвижных механических элементов (например, спектрометры с твердотельными приемниками излучения), более универсальны. Получаемый спектр проецируется на фотокатод диссектора или же на многоэлементную

¹ Александрова Э. А. Аналитическая химия в 2 книгах. Книга 2. Физико-химические методы анализа: учебник и практикум для вузов / Н. Г. Гайдукова. – 3-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. С.45.

матрицу, которые и производят его электронное сканирование.

Отдельно стоит рассмотреть существующие способы регистрации и детекторы излучения. Непосредственно само измерение интенсивности спектральных линий в атомно-эмиссионном спектральном анализе возможно осуществить тремя способами: визуальным (глаз человека является приемником излучения), фотографическим (приемником излучения служит фотохимический детектор или фотоэмульсия) и фотоэлектрическим (приемниками излучения служат разнообразные устройства, чей принцип действия основан на явлении фотоэффекта). У каждого из вышеназванных способов есть как плюсы, так и минусы, кроме того, у каждого из них есть своя область применения.¹

Визуальные способы регистрации спектров получили наибольшее распространение при стилометрическом и стилоскопическом определении металлов. При стилоскопическом анализе сравнивают интенсивность спектральных линий искомого элемента с линиями из спектра основного элемента, составляющего пробу. Для стилометрического анализа требуется дополнительный предмет (поляризатор или светофильтр), который дает возможность ослабить более яркую линию аналитической пары до нужной интенсивности. Стоит отметить, что стилометры имеют возможность сближения сравниваемых спектральных линий в поле зрения. Однако, так как глаз человека имеет особенности в восприятии электромагнитных волн, достаточную точность измерений можно получить либо для установления тождества сравниваемых спектральных линий, либо для выделения самой яркой линии из группы подобных.

Стоит отметить, что спектральная чувствительность человеческого глаза максимальна для желто-зеленого света (длина волны 550 нм). В оранжевой (620 нм) и зеленой (510 нм) областях спектра чувствительность снижена в 2 раза. В красной (720 нм) и в голубой (470 нм) областях спектра

¹ Литвин Ф.Ф., Дубровский, В.Т. и др. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: учебное пособие / Под ред. Ф.Ф.Литвина. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. С.219.

она крайне мала. Интервал длин волн, который может быть исследован визуальным способом, в целом можно назвать ограниченным диапазоном видимого спектра электромагнитного излучения.

Наиболее широко в методе атомно-эмиссионного спектрального анализа применялись фотографические способы регистрации спектров. Прежде всего, особыми преимуществами такого способа являются низкие пределы обнаружения элементов и одновременная регистрация всего спектра целиком. При автоматизации анализа этот способ имеет наибольшую информативность, а именно дает возможность обнаружения около 65 элементов в пробе одновременно по 350-500 спектральным линиям. Под фотографическим эффектом понимается число поглощенных эмульсией световых квантов. Одно из достоинств способа – возможность дальнейшей статистической обработки полученных фотографий спектров. Под фотографической эмульсией понимается тонкий слой желатины, в которой в виде взвеси находятся небольшие кристаллики галогенида серебра (зачастую бромид серебра). Толщина такого слоя находится в пределах 10-20 мкм. Под воздействием квантов света в фотоэмульсии возникает «скрытое изображение» (образование микрочастиц серебра, локализованных в кристаллах галогенида серебра).¹

Все более растущие требования к точности и скорости анализа обуславливают внедрение в практику атомно-эмиссионного спектрального анализа непосредственно преобразующих поток света в электрический сигнал фотоэлектрических способов фотометрии и регистрации спектров. Значение такого сигнала (сила тока либо его напряжение) является мерой интенсивности линии.

Нужно привести перечень таких устройств: фотоэлектронные умножители, фотоэлементы, электронно-оптические преобразователи,

¹ Никитина Н. Г. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: учебник и практикум для вузов / А. Г. Борисов, Т. И. Хаханина; под редакцией Н. Г. Никитиной. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. С. 235.

фотоэлектронные детекторы.

В спектральных приборах применяют фотоэлементы с внешним фотоэффектом. Фотоэлемент представляет собой электровакуумный прибор, один из электродов которого испускает электроны под действием излучения определенной длины волны. При некоторой разности потенциалов между фотокатодом и анодом в цепи ФЭ будет протекать ток, пропорциональный падающему на фотокатод световому потоку.

Фотоэлектронный умножитель представляет собой прибор, состоящий из ФЭ, между катодом и анодом которого расположены вторичные эмиттеры (диноды), обеспечивающие внутреннее усиление фототока более чем в 100 раз. Более точные результаты измерений можно получить компенсационным методом, т. е. сравнением двух фототоков от одного и того же или разных ФЭУ. Общая схема фотоумножителя в настоящей работе представлена на Рисунке 2.4 (Приложение 8).

Стоит рассмотреть процедуры отбора и подготовки проб к анализу. Отбор проб для метода АЭСА не имеет принципиальных отличий от отбора проб для химического анализа. Главное требование – представительность проб. В то же время необходимо учитывать особенности данного метода анализа. Количество вещества, испаряющегося в процессе экспозиции, составляет всего несколько миллиграммов, а масса всей пробы примерно в 10^5 раз больше. Поэтому исключительно важно, чтобы проба в каждом микрообъеме была однородна и идентична по составу. Результаты АЭСА зависят от состояния поверхности и структуры всей пробы, а также от типа химических связей определяемого элемента и химического состава пробы.

Пробы слитков, заготовок, полуфабрикатов и т. п. получают выпиливанием, штамповкой или ковкой. Поверхность проб обрабатывают так же, как и в случае литых проб. В зависимости от параметров разрядного контура и напряжения на электродах возможны различные

механизмы эрозии исследуемых материалов и переноса вещества. В катодных режимах преобладают неселективные, а в анодных – селективные процессы переноса в униполярных разрядах. Для анализа на вакуумных спектрометрах проба должна иметь диаметр около 20 мм.¹

Однако часто возникает необходимость анализировать материал в виде тонкой проволоки, жести, стружки и т. п. В таких случаях для получения компактных проб применяют брикетирование (прессование) или переплав. При прессовании стружки могут быть получены достаточно компактные пробы, при этом рекомендуется использовать высокое давление прессования (~1200 МПа). Для получения проб необходимых размеров также применяется переплавка. Однако, возможны потери некоторых элементов из-за их выгорания.

Исследуемую поверхность пробы обрабатывают на токарном или фрезерном станке. Постоянная форма заточенной поверхности является одним из важнейших условий получения воспроизводимых результатов. Рабочая поверхность стандартных образцов должна обрабатываться аналогичным образом.

При отборе проб неметаллических материалов пробоподготовку проводят так же, как и для других методов химического анализа. Далее пробу необходимо измельчить для равномерного распределения компонентов в ней. Неэлектропроводные материалы дополнительно смешивают с электропроводящими веществами, например, с угольным порошком, который, кроме обеспечения электропроводности, повышает стабильность испарения пробы. Не требуется предварительная пробоподготовка при определении металлов и иных элементов в жидкостях. В большинстве случаев анализу подвергаются водные растворы, но кроме них, возможно определение ряда химических элементов в органических растворителях или маслах.

¹ Ситкина Л.П., Кумарина, Е.А. Методы определения качества ювелирных изделий для оценочной стоимости // Высокие технологии в машиностроении. Самара. 2014. С. 140-142.

Необходимо рассмотреть спектрографические методы анализа. При проведении качественного анализа методом АЭС решают три вида задач:

- общий качественный анализ с целью установления элементного состава пробы;
- частный качественный анализ с целью выявления присутствия или отсутствия одного или нескольких элементов в данной пробе;
- качественный анализ с целью выявления следов элементов.

Для выполнения качественного анализа чаще всего используют дуговой ИВС, т. к. его температура достаточна для испарения, диссоциации, атомизации и возбуждения спектров самых разнообразных материалов. При анализе навеску порошкообразной пробы (от 10 до 50 мг) помещают в канал нижнего угольного электрода и экспонирование спектров ведут до полного ее испарения. Встык со спектром анализируемой пробы снимается спектр Fe. В течение первых 15-20 с экспонируется спектр легколетучих элементов и элементов, присутствующих в пробе в виде легколетучих соединений. Второй интервал экспонирования может составлять 20-30 с, третий – 30-40 с, а затем экспонирование спектра продолжают до полного выгорания (испарения) пробы из электрода. В результате будет зарегистрировано несколько спектров от одной пробы.

Методы полуколичественного анализа позволяют сделать промежуточные приближенные оценки содержания элементов в анализируемых пробах. Некоторые из них представляют собой аналог визуальных стилоскопических методов, но только в УФ области спектра. Можно указать на ряд практических ситуаций, когда такой приближенной оценки вполне достаточно, например при выяснении чистоты того или иного материала. В этом случае достаточно убедиться, что концентрация примеси не превышает содержания, указанного в технических

условиях.¹

Способ сравнения спектров – посредством программного обеспечения вместе со спектром анализируемой пробы снимают спектры одного или нескольких образцов сравнения; спектры должны быть примерно одинаково интенсивными.

Сравнение спектров производится визуально. Исследуется спектр образца сравнения, в котором интенсивность аналитической линии наиболее близка к интенсивности той же линии в спектре анализируемой пробы. Этот способ применяется при необходимости установить, находится ли концентрация искомого элемента в пробе в границах определенных значений.

Для выполнения анализа необходимо иметь образец сравнения, в котором концентрация определяемого элемента находится вблизи допустимого предела.

Рассмотрим способ последних линий. Если условия возбуждения спектра не изменяются, то уменьшение интенсивности линий искомого элемента находится в зависимости от снижения его концентрации в объекте исследования. Иначе говоря, для каждой спектральной линии существует концентрация элемента, при которой спектральная линия непосредственно сливается с фоном. Таким образом, возможно формулирование выводов о концентрации определенного элемента по исчезновению из общего спектра определенных спектральных линий. Однако только с использованием сравнительных образцов с заведомо известным составом возможно установить характеристическую концентрацию элемента, при которой определенные спектральные линии его спектра сливаются с фоном.²

Очевидно, что значение характеристических концентраций зависит от

¹ Никитина Н. Г. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: учебник и практикум для вузов / А. Г. Борисов, Т. И. Хаханина; под редакцией Н. Г. Никитиной. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. С. 240.

² Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия: учебник/ М.: Либроком, 2018. С.251.

экспериментальных условий. Следует также иметь в виду, что отношение интенсивностей линия/фон зависит от ширины щели спектрографа и его разрешающей способности.

Рассмотрим способ гомологических пар линий. Пусть в распоряжении имеется серия проб, в которых концентрация определяемого элемента X уменьшается, а состав материала по другим компонентам остается постоянным. Исследуя полученные спектрограммы, можно найти пару линий элементов X и R , одинаковой интенсивности. Имея набор таких пар линий, можно делать полуколичественные оценки содержания элемента X . Герлах назвал такие пары гомологическими парами линий, а значения соответствующих концентраций – гомологическими концентрациями.

Способ гомологических пар ценен тем, что он имеет абсолютный характер, то есть, при его применении не требуется сравнительных образцов с заведомо известным содержанием искомого элемента в них. Более того, результаты проведенного анализа не находятся в зависимости от таких условий, как чувствительности фотоэмульсии и светосилы спектрографа.

Рассмотрим способ измерения ширины линий. При увеличении концентрации искомого элемента его спектральная линия увеличивается как по высоте, так и по ширине контура. Говоря иначе, в определенных обстоятельствах можно делать выводы о содержании искомого элемента в исследуемом объекте, исследуя ширину спектральных линий. После подбора пар линий для элемента сравнения и для определяемого элемента, с использованием микрофотометра производится измерение ширины наиболее яркой линии.¹

Задача количественного спектрального анализа - определение количественного содержания исследуемых элементов в пробе по относительной интенсивности аналитической пары линий. В основе

¹ Никитина Н. Г. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: учебник и практикум для вузов / А. Г. Борисов, Т. И. Хаханина; под редакцией Н. Г. Никитиной. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. С. 42.

количественного спектрального анализа лежит явление того, что с концентрацией определяемого элемента в образце связана интенсивность его спектральных линий. Стоит учитывать, что интенсивность таких линий находится в дополнительной зависимости и от ряда иных факторов, которые не всегда возможно учитывать.

Крайне трудно измерить абсолютную интенсивность спектральных линий. Кроме того, нельзя назвать достаточно надежными результаты количественного анализа, которые основаны на измерении абсолютной интенсивности спектральных линий. Однако сущность практического применения количественного спектрального анализа на практике заключается в измерении относительной интенсивности линии сравнения и аналитической линии.

Метод эталонных образцов (метод трех эталонов). Сущность данного метода заключается в дополнительном снятии спектров с минимум 3 образцов сравнения. В данных спектрах производят замеры аналитических сигналов искомого элемента, для которого известно его содержание в сравнительных образцах. Затем осуществляют построение градуировочной зависимости, по которой на основании аналитического сигнала исследуемого образца определяют содержание искомого элемента.

Таким образом, метод атомно-эмиссионного спектрального анализа, несмотря на то, что применяется он уже с давних времен, не потерял своей актуальности и сейчас. Применение данного метода для исследования ювелирных изделий как отечественного, так и зарубежного производства прочно вошло в практику таких исследований. Ключевое достоинство метода АЭСА – возможность исследования материалов и веществ в любых агрегатных состояниях.

Однако следует помнить, что данный метод имеет разрушающий характер. Для его использования при исследованиях ювелирных изделий из драгоценных металлов зарубежного производства обязательно наличие

разрешения на видоизменение либо уничтожение исследуемых объектов. Данное разрешение эксперт должен получить в установленном законом порядке у лица, назначившего проведения такого исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Криминогенная ситуация, складывающаяся в настоящее время в сфере оборота драгоценных металлов и драгоценных камней, определяется ослаблением государственного контроля за добычей, переработкой и реализацией этих ценностей. Все это создало условия для количественного и качественного роста различных преступлений, связанных с данными ценностями – хищений, контрабанды, незаконного оборота драгоценных металлов и драгоценных камней.

Следует подчеркнуть, что тема, рассмотренная в выпускной квалификационной работе специалиста, актуальна на данный момент времени. Действительно, анализ рынка драгоценных металлов и драгоценных камней России дает данные, достаточные для вывода о том, что промышленность РФ находится в хорошем состоянии. Это обусловлено высоким качеством материалов и исполнения ювелирной продукции, а также отлаженной системой государственного пробирного надзора.

Диспозицию ст. 191 УК России, устанавливающая уголовную ответственность за незаконный оборот драгоценных металлов и драгоценных камней следует охарактеризовать как бланкетную и альтернативную, поскольку она описывает признаки двух составов преступлений. Представляется, что эти составы объединены признаками объекта, субъекта и субъективной стороны, но существенно различаются между собой по признакам объективной стороны. Оба состава сконструированы законодателем как формальные.

Непосредственный объект преступления можно определить как порядок обращения драгоценных металлов и драгоценных камней (порядок совершения сделок, хранения, перевозки и пересылки), установленный в Российской Федерации. Посягательство на объект осуществляется посредством воздействия на предмет преступления, которым могут быть

драгоценные металлы или драгоценные камни в любом виде, состоянии, за исключением ювелирных и бытовых изделий и лома таких изделий. Уникальные янтарные образования могут быть предметом преступления, предусмотренного ст. 191 УК России, поскольку законодателем они приравнены к драгоценным камням.

Субъектом преступления может быть физическое вменяемое лицо, достигшее шестнадцатилетнего возраста. Субъективная сторона преступления характеризуется прямым умыслом, так как лицо осознавало общественную опасность своих действий и желало их совершить.

Исследование драгоценных металлов и драгоценных камней осуществляется с помощью различных методов, которые являются слиянием наработок и достижений различных естественных и технических наук. Наибольшее распространение получили следующие методы: рентгенофлуоресцентный анализа, атомно-эмиссионный спектральный анализ.

В настоящей работе были исследованы современные возможности использования основных методов аналитического контроля состава металлических материалов – а именно методы атомной спектроскопии.

Эти методы являются результатом слияния наработок и достижений различных естественных и технических наук, а также имеют большое значение в исследовании драгоценных металлов и драгоценных камней.

Таким образом, задачи выпускной квалификационной работы выполнены. Цель - изучение и анализ непосредственного исследования драгоценных металлов и драгоценных камней, его методов, практического применения, изучение актуальных проблем данного исследования и поиск путей их решения - достигнута.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

РАЗДЕЛ I НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ И ИНЫЕ
ОФИЦИАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- 1 Конституция Российской Федерации, принята всенародным голосованием 12 декабря 2020 // Российская газета. 25.12.2020. № 237.
- 2 Кодекс административного судопроизводства Российской Федерации от 8 марта 2015. № 21-ФЗ // СЗ РФ. 2015. № 10. Ст. 1391.
- 3 Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации от 14 ноября 2002. № 138-ФЗ // СЗ РФ. 2002. № 46. Ст. 4532.
- 4 Гражданский кодекс РФ (Ч. II) от 26 января 1996. № 14-ФЗ // СЗ РФ. 1996. № 5. Ст. 410.
- 5 Уголовно-процессуальный кодекс РФ (УПК РФ) от 18 декабря 2001 № 174-ФЗ// СЗ. РФ. 2001. № 52. Ст. 4924.
- 6 Гражданский процессуальный кодекс РФ (ГПК РФ) от 14 ноября 2002. № 138-ФЗ// СЗ. РФ. 2002. № 46. Ст. 4532.
- 7 Федеральный закон от 31 мая 2001. № 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» // СЗ. РФ. 2001. № 23. Ст. 2291.
- 8 Федеральный закон «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» от 26 марта 1998. № 41-ФЗ // СЗ РФ. 1998. № 13. Ст. 1463.
- 9 Постановление Правительства РФ «Об утверждении правил учета и хранения драгоценных металлов драгоценных камней и продукции из них, а также ведения соответствующей отчетности» от 28 сентября 2000. № 731 // СЗ РФ. 2000. № 41. Ст. 4077.
- 10 Постановление Правительства РФ «О сертификации драгоценных металлов, драгоценных камней и продукции из них» от 05 апреля 1999. № 372 // СЗ РФ:1999. № 15.Ст. 1822.

РАЗДЕЛ II ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Аверьянова, Т.В. Криминалистика: учебник / Т.В Аверьянова, Р.С.Белкина. М.:НОРМА-ИНФРА-М, 2011. 990 с.
- 2 Аграфенин, А.В. Основы криминалистической экспертизы материалов, веществ и изделий/А.В. Аграфенин, В.Г. Савенко. М.:ЭКЦ МВД России, 2013. 420 с.
- 3 Аверьянова, Т.В. Криминалистика: учебник / Т.В Аверьянова, Р.С.Белкина. М.:НОРМА-ИНФРА-М, 2011. 990 с.
- 4 Аграфенин, А.В. Основы криминалистической экспертизы материалов, веществ и изделий/А.В. Аграфенин, В.Г. Савенко. М.:ЭКЦ МВД России, 2013. 420 с.
- 5 Александрова, Э. А. Аналитическая химия в 2 книгах. Книга 2. Физико-химические методы анализа : учебник и практикум для вузов / Э. А. Александрова, Н. Г. Гайдукова. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 344 с.
- 6 Беккер, Ю. Спектроскопия: учебник/ Ю. Беккер. М.: Техносфера, 2017. 528 с.
- 7 Бекман, И. Н. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения: учебник для вузов / И. Н. Бекман. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 493 с.
- 8 Бекман, И. Н. Неорганическая химия. Радиоактивные элементы : учебник для вузов / И. Н. Бекман. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 399 с.
- 9 Буйволова, М.А., Воронцова Н.В. Технология изготовления ювелирных изделий: учебник / М.А. Буйволова, Н.В. Воронцова. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2012. 212 с.

- 10 Грибунов, О.П., Трубкина, О.В. Назначение судебных экспертиз учеб. / О.П. Грибунов, О.В. Трубкина. Иркутск: Иркутский институт, 2014. С. 140-152.
- 11 Денисова, Л.Т. Применение серебра / Л.Т. Денисова // Сибирский федеральный университет. Красноярск. 2012. №3. С. 250-277.
- 12 Ельяшевич, М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия: учебник/ М.А. Ельяшевич. М.:Либроком, 2018. 416 с.
- 13 Золотова, С.В. Ювелирный рынок РФ в условиях вступления в ВТО / С.В. Золотова, С.А. //Федерализм. 2014. №2. С. 143-154.
- 14 Калмин, Н.Н. Фальсификация качества товаров на ювелирном рынке РФ / Н.Н. Калмин // Вестник российского экономического университета. Москва. 2014. №3-4. С. 56-63.
- 15 Камнева, С.Е., Свекольникова, О.Ю. Оценка качества товаров и основы экспертизы: учеб. / С.Е. Камнева, О.Ю. Свекольникова. М.: 2016. С. 217-222.
- 16 Королева, А.С. Современные тенденции развития мирового рынка драгоценных камней и ювелирных изделий из них / А.С. Королева // Правовые и экономические исследования. Санкт-Петербург. 2016. №1. С. 131-136.
- 17 Краткая характеристика состояния преступности в Российской Федерации за январь - декабрь 2019 года. Официальный сайт МВД РФ. URL: <https://мвд.рф/reports/item/19412450/> (дата обращения 25.04.2021).
- 18 Латышенко, К. П. Технические измерения и приборы в 2 т. Том 2 в 2 кн. Книга 2: учебник для вузов / К. П. Латышенко. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 232 с.
- 19 Латышенко, К. П. Технические измерения и приборы в 2 т. Том 2 в 2 кн. Книга 1: учебник для среднего профессионального образования / К. П. Латышенко. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 292 с.

- 20 Литвин, Ф.Ф., Дубровский, В.Т. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: учебное пособие / Ф.Ф. Литвин, В.Т. Дубровский / под ред. Ф.Ф.Литвина. Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2014. 263 с.
- 21 Международный финансовый рынок : учебник и практикум для вузов / М. А. Эскиндаров [и др.] ; под общей редакцией М. А. Эскиндарова, Е. А. Звоновой. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 453 с.
- 22 Методика решения экспертных задач при производстве судебно-товароведческой экспертизы ювелирных изделий: гос. учреждение Рос. фед. центр судебной экспертизы при Министерстве юстиции РФ. Москва. 2011. С. 44-61.
- 23 Методическое пособие. Предмет, объекты и задачи судебно-товароведческой экспертизы: методическое пособие // Минюст России Российский федеральный центр судебной экспертизы. Москва. 2012. С. 5-36.
- 24 Митричев, В.С. Основы криминалистического исследования материалов, веществ и изделий из них / В.С. Митричев. СПб.: Питер, 2013. 591 с.
- 25 Мони́на, Л.Н. Рентгенография. Качественный рентгенофазовый анализ: учебное пособие/ Л.Н. Мони́на. М.: Проспект, 2017. 120 с.
- 26 Мосичев, В.И., Николаев, Г.И., Калинин, Б.Д. Металлы и сплавы. Анализ и исследование. Методы атомной спектроскопии. Атомно-эмиссионный, атомно-абсорбционный и рентгенофлуоресцентный анализ: справочник / В. И. Мосичев, Г. И. Николаев, Б. Д. Калинин. СПб.: Проффессионал, 2007. 716 с.
- 27 Наниева, Д.Г. О влиянии лигирующих компонентов на свойства сплавов золота для ювелирного производства / Д.Г. Наниева // Международный студенческий вестник. Пенза. 2016. №3. С. 461-462.

- 28 Омаркадиева, К.М. Правовое регулирование сферы производства и продажи ювелирных изделий: сб. ст. / под ред. К.М. Омаркадиева. Москва: РПА Минюста, 2016. С. 365-372.
- 29 Пьяникова, З.А Идентификация и фальсификация ювелирных изделий: научная статья./ Пьяникова З.А., Пьяникова Е.С.; Курск: Молодежь и 21 век, 2012. С. 100-104.
- 30 Рахматуллин, Р.Р., Романов В.И. Криминалистическая экспертиза: учебное пособие / Р.Р. Рахматуллин, В.И. Романов. М.: Проспект, 2016. 578 с.
- 31 Архипова, М.В. Уголовно-правовая и криминологическая характеристика незаконного оборота драгоценных металлов, природных драгоценных камней или жемчуга: дис. канд. юрид. наук / М. В. Архипова // Иркутск, 2008. 187 с
- 32 Ларичев, В. Д. Расследование хищений и незаконного оборота драгоценных металлов. / В. Д. Ларичев, В. В. Улейчик, И. А. Цоколов, О. И. Цоколова, П. М. Серов, А. А. Дементьев. М.: ВНИИ МВД России, 2006. – 242 с.
- 33 Кудрявцев, В.Н. Общая теория квалификации преступлений. / В.Н. Кудрявцев М., 1999. С. 313
- 34 Борисов, А. Б. Действие законодательства по драгоценным металлам и драгоценным камням/ Б.Борисов // Драгоценные металлы. Драгоценные камни. 2001. № 11. С.23 – 27
- 35 Арзамасцев, М. В. Валютные преступления (уголовно-правовая характеристика преступлений против установленного порядка обращения валютных ценностей) / М. В. Арзамасцев, К. В. Бессонов, К. В. Михайлов. Челябинск, 2003. 217 с.
- 36 Петрунин, В. В. Добыча и производство золота : особенности исчисления НДС ПИ Т/ В. В. Петрунин // Налоговая политика и практика. 2008. № 9. С. 34-43.

- 37 Расследование преступлений в сфере экономики: сб. метод, рекомендаций. М.: ВНИИ МВД России, 2008. 220 с.
- 38 Уголовное право Российской Федерации. Особенная часть: учебник / под ред. А. И. Рарога. М.: Юристъ, 2004. 240 с
- 39 Уголовное право России. Общая часть. / под ред. А. И. Рарога. М.: Эксмо, 2009. 496 с.
- 40 Яни, П.С. Экономические и служебные преступления / П. С. Яни. М.: Интел-Синтез, 1997. 208 с.

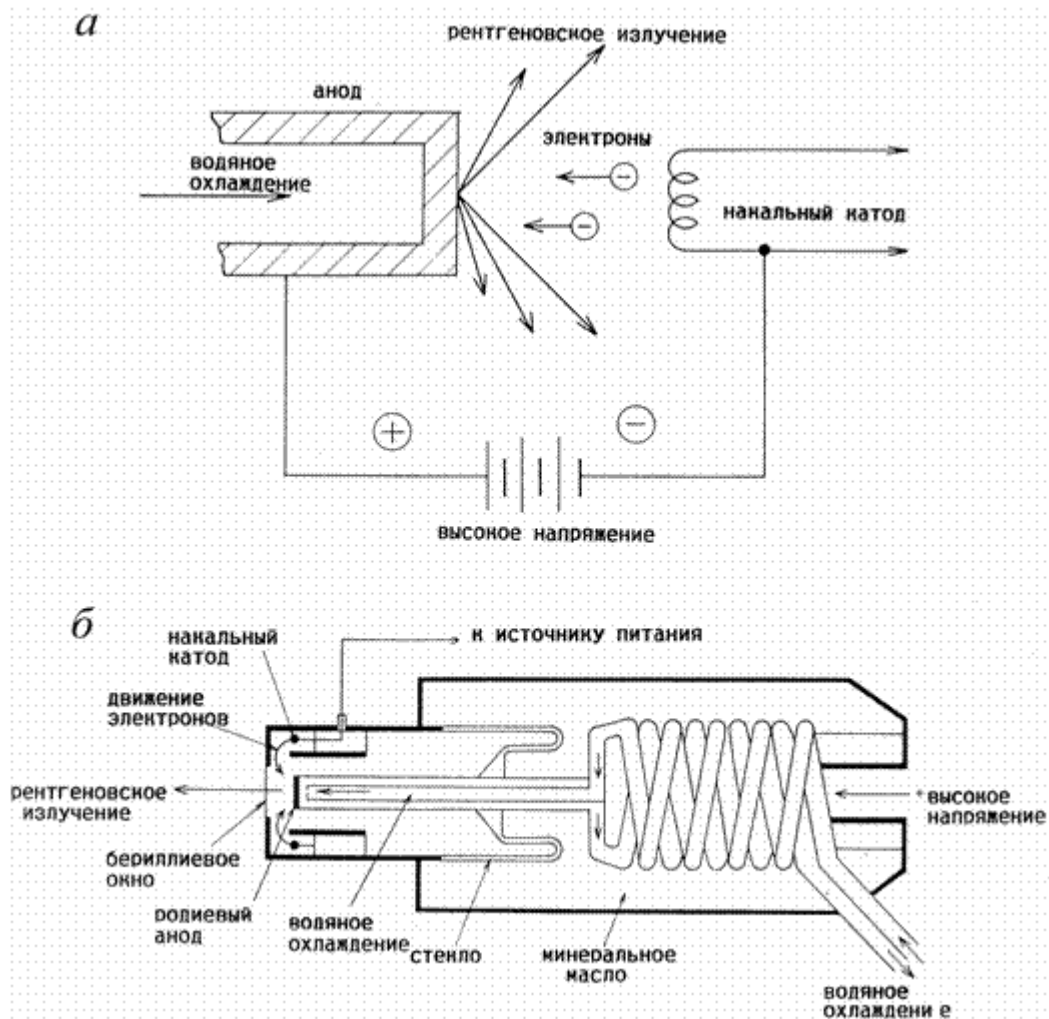


Рисунок 1.1 - а) схема генерации рентгеновского излучения, б) конструкция рентгеновской трубки с торцевым окном

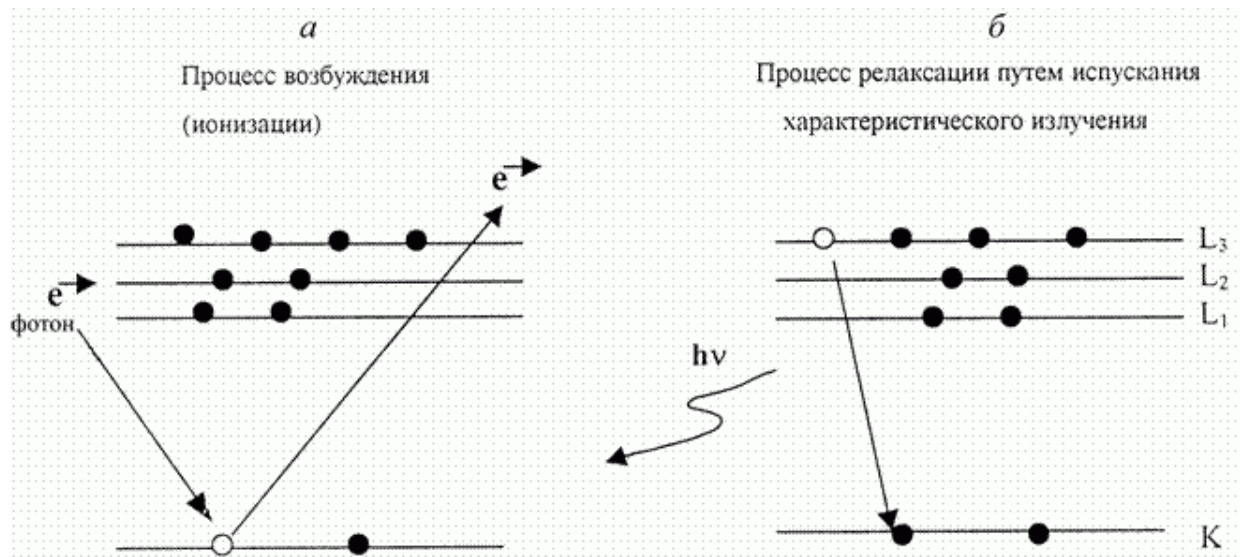


Рисунок 1.2 - Схема возникновения характеристического рентгеновского излучения:

- a*) в результате выбивания электрона на К-уровне образуется вакансия;
б) дырка на К-уровне заполняется электроном с L_3 -подуровня, что приводит к выделению энергии, которая уносится рентгеновским квантом

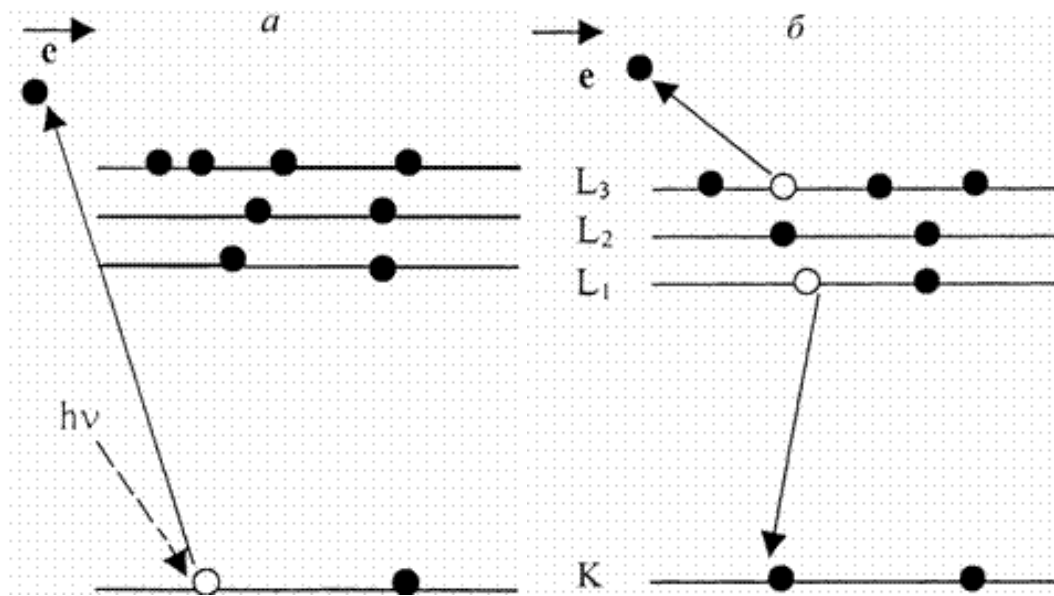


Рисунок 1.3 - Схема процесса Оже-эмиссии:

- a)* фотон $h\nu$ с энергией, достаточной для ионизации К-оболочки, выбивает электрон. В результате на К-уровне образуется вакансия;
- б)* дырка в К-оболочке заполняется электроном из L₁-подоболочки, а выделившаяся энергия передается другому электрону из L₃-подоболочки. Этот второй электрон может испускаться с энергией $E_{L_3} - E_{L_1} - E_K$. В результате образуется дважды ионизированное конечное состояние

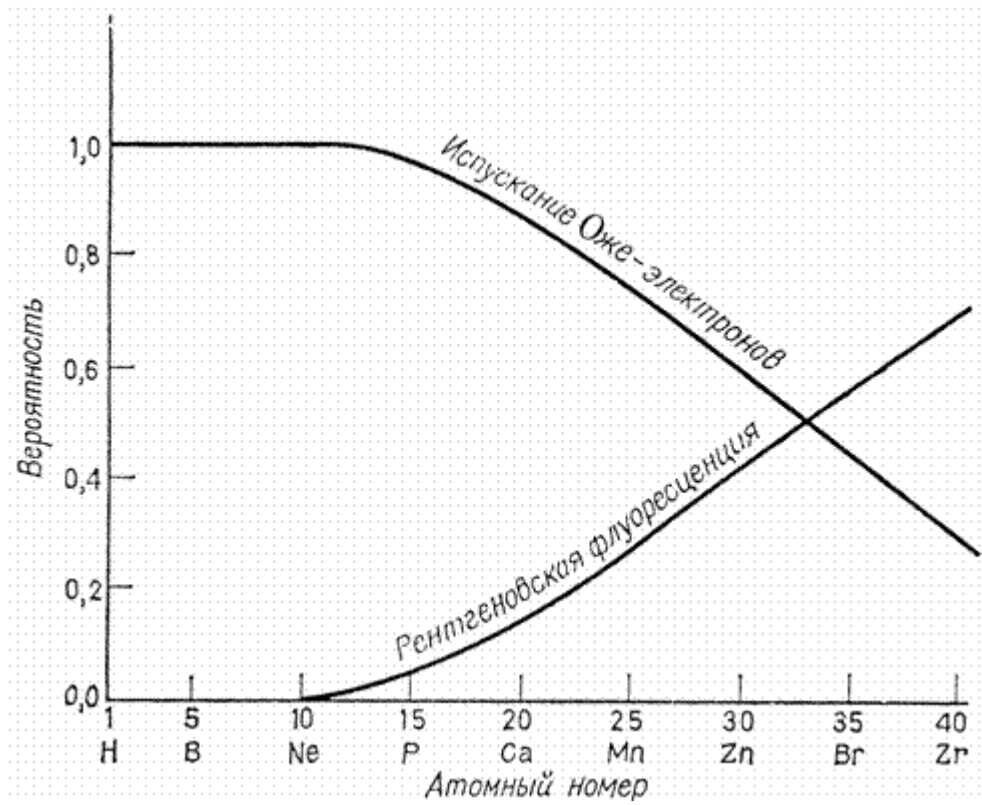


Рисунок 1.4 - Вероятность испускания Оже-электронов и рентгеновской флуоресценции в зависимости от атомного номера

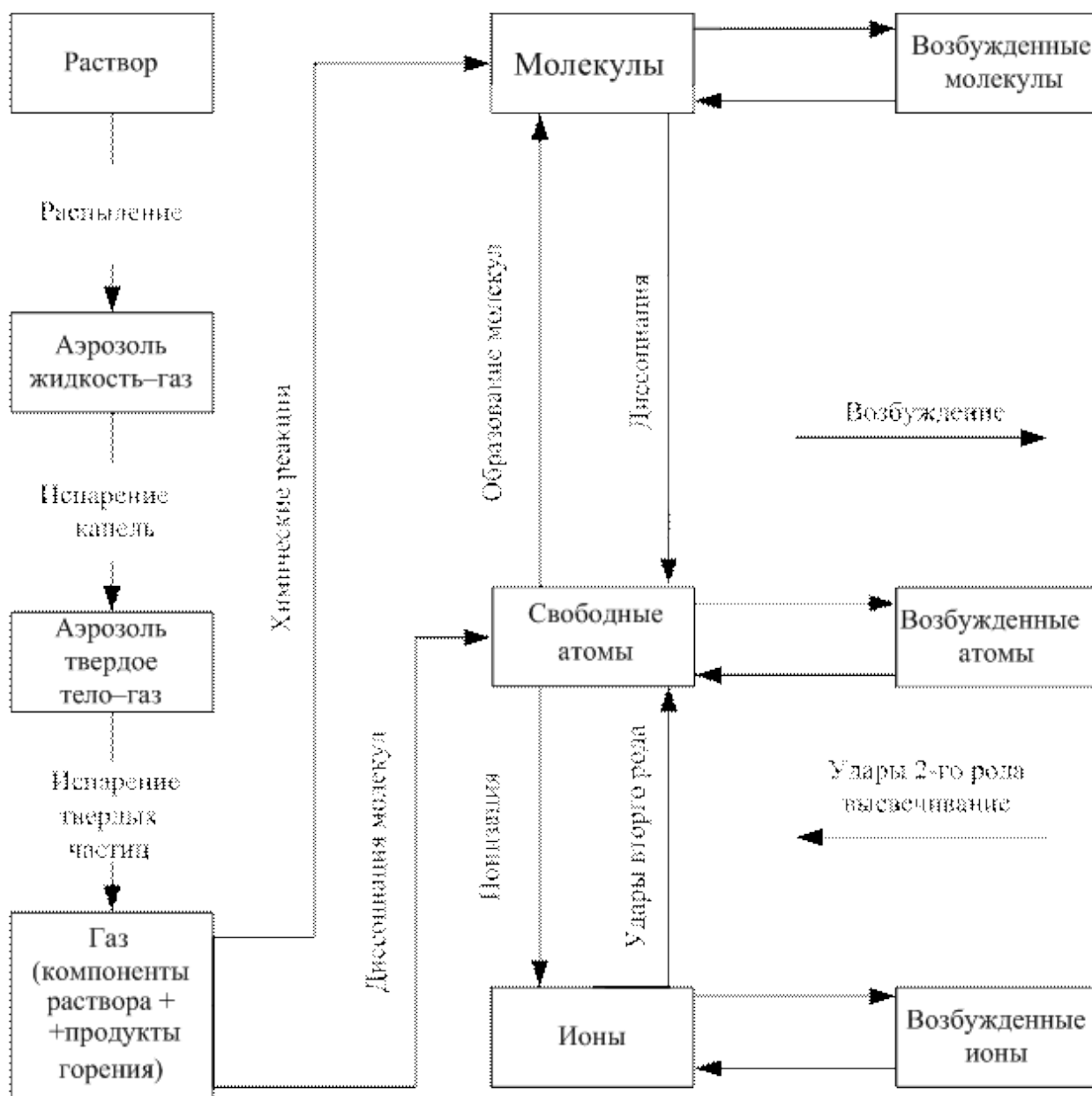


Рисунок 2.1 - Схема процессов, протекающих в пламени при введении анализируемого раствора пробы

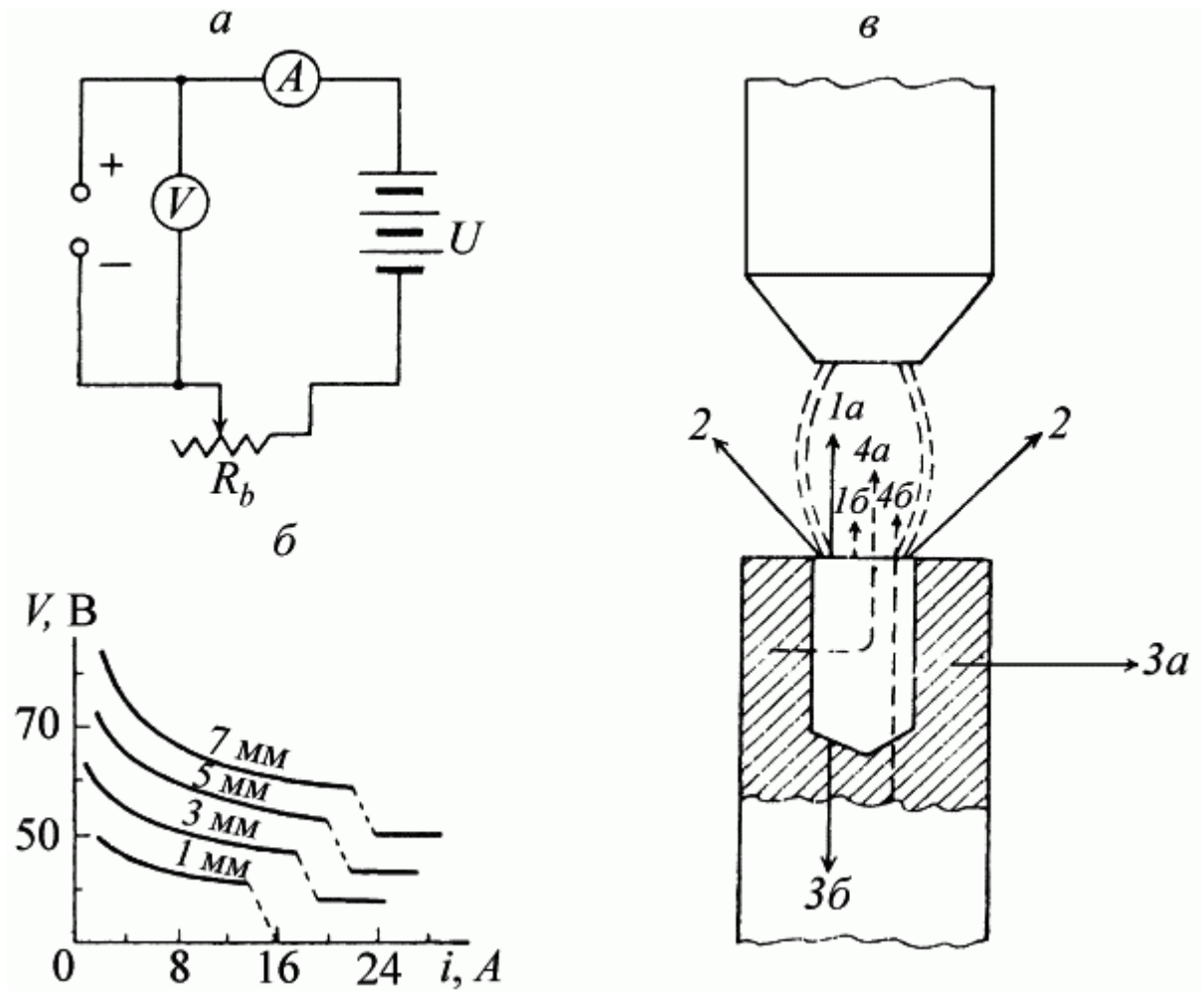


Рисунок 2.2 - Дуга постоянного тока как источник возбуждения спектров:
 а) схема питания дуги постоянного тока; б) вольт-амперная характеристика
 дугового разряда постоянного тока; в) схема переноса атомов из канала
 угольного электрода: 1 — доля атомов, участвующих в образовании
 аналитического сигнала

- ($1a$ — вынос в свободном состоянии, $1b$ — вынос в связанном состоянии в
 конденсированной фазе);
 2 — выход вещества помимо зоны возбуждения; $3a, 3b$ — диффузия в стенки и
 дно соответственно;
 $4a, 4b$ — переход вещества в зону возбуждения в виде атомов или соединений
 из стенок и дна электрода

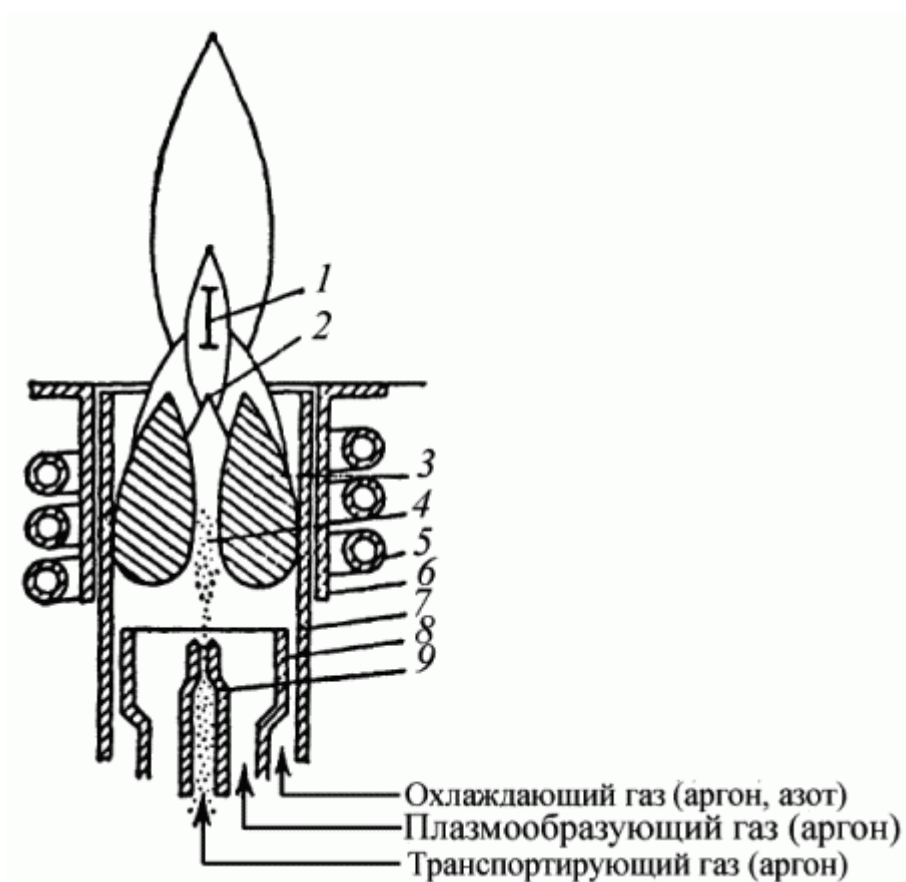


Рисунок 2.3 - Схема горелки для высокочастотного индукционного разряда:

1 — аналитическая зона; 2 — зона первичного излучения;

3 — зона разряда (скин-слой); 4 — центральный канал
 (зона предварительного нагрева); 5 — индуктор;

6 — защитная трубка, предотвращающая

пробой на индуктор (устанавливается только на коротких горелках);

7, 8, 9 — внешняя, промежуточная, центральная трубки соответственно

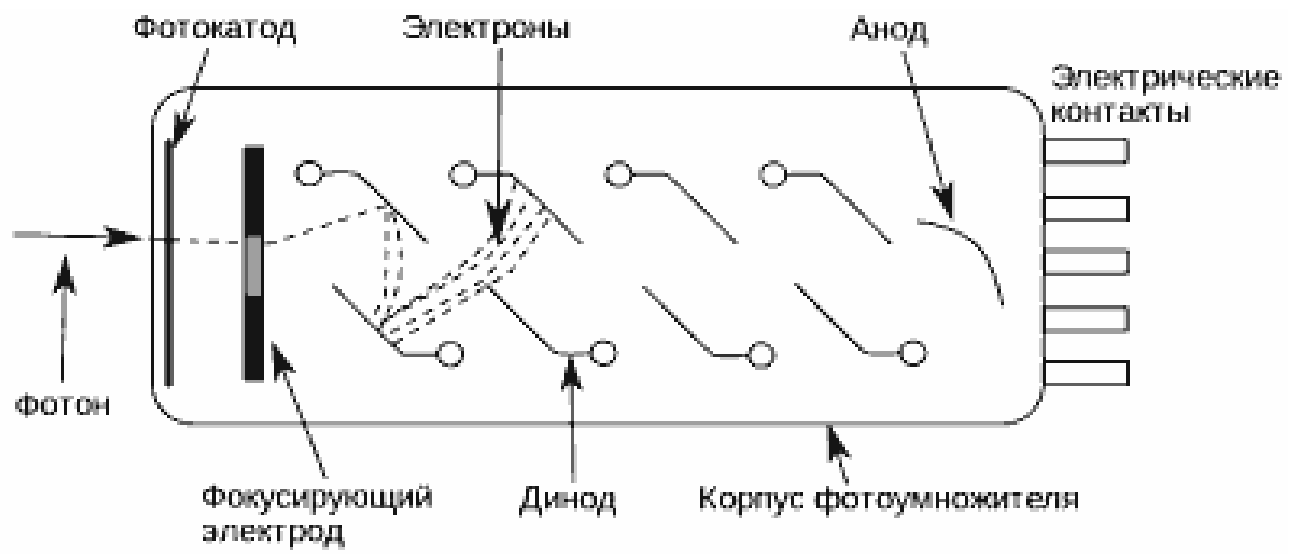


Рисунок 2.4 - Схема фотоэлектронного умножителя