

УДК 543.2; 553.3

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДИК АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ****<sup>1</sup>Глызина Т.С., <sup>1,2</sup>Матюгина Э.Г., <sup>1</sup>Шеховцова Н.С., <sup>3</sup>Горчаков Э.В.**<sup>1</sup>ФГАОУ «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,  
*e-mail: inosine@yandex.ru;*<sup>2</sup>ФГАОУ «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск,  
*e-mail: emk512542@mail.ru;*<sup>3</sup>ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь,  
*e-mail: gorchakovedvard@mail.ru*

Статья посвящена проблемам, связанным с оценкой современных способов поиска и разведки запасов благородных металлов в Российской Федерации. Предложены к рассмотрению направления в геологии и химии, позволяющие проводить данные исследования с использованием инновационных методов. К таким методам относится инверсионная вольтамперометрия. Метод характеризуется высокой чувствительностью и селективностью (избирательностью), это достигается за счет использования классических методов разложения, разделения и концентрирования. Наиболее ценными полиметаллическим сырьем считаются руды комплексных месторождений. Они содержат минералы золота, платины с примесями минералов палладия, представлены самородным золотом, чистыми металлическими платиной, палладием, родием и осмием. Рассмотрено ряд проблем, связанных с забором проб, их исследованием и анализом с прогнозированием содержания запасов золота и металлов платиновой группы.

**Ключевые слова:** благородные металлы, золото, платиновые металлы, поиск, разведка, инверсионная вольтамперометрия

**THE TRENDS OF DEVELOPMENT OF METHODOLOGIES FOR ANALYSIS OF NOBLE METALS IN MINERAL RAW MATERIALS****<sup>1</sup>Glyzina T.S., <sup>2</sup>Matyugina E.G., <sup>1</sup>Shekhovtsova N.S., <sup>3</sup>Gorchakov E.V.**<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, *e-mail: inosine@yandex.ru;*<sup>2</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, *e-mail: emk512542@mail.ru;*<sup>3</sup>Stavropol State Agrarian University, Stavropol, *e-mail: gorchakovedvard@mail.ru*

The article is devoted to the problems related to the assessment of modern methods for the prospecting and exploration of stock of precious metals in the Russian Federation. Proposed for consideration the areas of geology and chemistry, allowing to carry out this research using innovative methods. These methods include inversion voltammetry. The method is characterized by high sensitivity and selectivity, which is accomplished by using the classical methods of degradation, separation and concentration. The most valuable polymetallic raw materials are considered ores of complex deposits. They contain minerals of gold, platinum with palladium mineral impurities, represented by native gold, pure metallic platinum, palladium, rhodium and osmium. Considered a number of issues related to sampling, their research and analysis with the prediction of stocks of gold and platinum group metals.

**Keywords:** precious metals, gold, platinum metals, prospecting, exploration, inversion voltammetry

Интерес государства к вопросу обеспечения национальной экономики достаточным количеством запасов благородных металлов прослеживается на протяжении всей истории человечества. И это связано не только с хозяйственной сферой, где уникальные физические и химические свойства металлов находят применение в производстве благ. Это и своего рода «гарант» благосостояния общества – причем, проверенный самым строгим экспертом, – временем. Вот почему вопрос разведки запасов благородных металлов не теряет свою актуальность продолжительное время и, судя по складывающейся в мировой экономике ситуации, сохранит свою злободневность и в перспективе. Решение его лежит в плоскости таких наук, как геология – получения кернов раз-

личных пластов залегания пород и руд, химия – аналитическая химия совершенствует методы и методики определения благородных металлов, экономика – организация производства как способа получения, последующее использование в производстве в качестве сырья и, еще один значимый аспект, – формирование и пополнение золотовалютных резервов страны.

В качестве первого шага необходима организацию перманентного и точного учета количественного содержания благородных металлов в геологических объектах и объектах антропогенного происхождения. Залогом увеличения производства благородных металлов с экономической точки зрения выступает рациональная организация данного процесса, предполагающая привле-

чение квалифицированных специалистов геологической службы, выбор технологии, обеспечивающей требуемый уровень переработки различного рода пород и руд, степени комплексности их использования, а также использование инновационных методик извлечения золота и платиновых металлов. [1] Последнее является залогом эффективности проводимых работ, поскольку значимость развития методик выявления новых источников благородных металлов, обеспечение надежности подсчета запасов этих металлов не вызывает сомнений. Тем не менее, хотелось бы отметить, что инвестиционная привлекательность разведки запасов благородных металлов находится в прямой зависимости не только от степени чувствительности и точности, используемых аналитических методов, но и от целесообразности их применения в экономическом, финансовом, технологическом и ряде других аспектов.

Начиная с конца XX века, в рудной геологии все более прослеживается тенденция к изучению, систематизации и дальнейшему комплексному освоению известных и новых типов рудных и нерудных месторождений. Ранее же недостаточное развитие новых технологий изучения и промышленного освоения минеральных ресурсов, не позволяло более полно использовать полезные ископаемые [2,3].

Наиболее перспективными рудными проявлениями для промышленного освоения оказались золотые, золото-серебряные, золото-медно-порфиновые, золотоносные вольфрамовые и основные руды главные содержатели платиновых металлов. Редко-металлосодержащие комплексные руды установлены среди золото-скарновой, золото-сульфидной, золото-платино-сульфидной, золото-медно-порфировой. В этих месторождениях и рудопроявлениях золото, платина, серебро являются главными рудными компонентами, а висмут, медь, теллур, олово, палладий, родий, иридий, осмий – попутными компонентами [4].

Проблема ограниченности запасов минеральных ресурсов еще более обостряет вопросы организации рационального использования полезных ископаемых, что обуславливает необходимость выявления и внедрения инновационных технологий, обеспечивающих более полную переработку полезных ископаемых. Решение задачи более полного извлечения необходимых компонентов минерального сырья предполагает проведение регулярных комплексных исследований и создание более совершенных (по сравнению с существующими) геологических классификаций руд и объектов,

а также получение и использование более точных и надежных физико-химических методов анализа [5].

Руды комплексных месторождений, являющиеся ценными полиметаллическим сырьем, сложены минералами золота, платины с примесями минералов палладия и представлены самородным золотом, чистыми металлическими платиной, палладием, родием, осмием встречающемся в виде отдельных зерен в рудах, а также в виде сплавов друг с другом или другими металлами в рудах входящих в состав различных минералов.

Согласно физико-химическим исследованиям платина или золото редко сопутствуют друг другу, однако известно множество руд, где оба металла находятся совместно. Так же исследования показывают, что палладий сопутствует не только основному по свойствам элементу – платине, но и золоту. Аномальное соседство палладия золоту можно объяснить образованием различного состава минералов. Легкость образования минералов различных по составу связана с неограниченной растворимостью металлов друг в друге. Золото, платина и палладий относятся к переходным металлам, которые характеризуется высокой прочностью межатомной связи. Они обладают наиболее плотной атомной упаковкой в кристаллической структуре.

Объекты исследований, содержащие золото и платиновые металлы, отличаются широким диапазоном концентраций определяемых элементов, разным их соотношением и большим многообразием сопутствующих компонентов, концентрация которых также может изменяться в широких пределах. К ним относятся: концентраты обогатительных фабрик, хвосты и отвальные шлаки, штейны, сульфатные и отвальные растворы, огарки, золоторудные и платиновые концентраты, медные и никелевые шламы и другие полупродукты переработки сырья, обогащенные благородными металлами.

В анализе благородных металлов существует много методов, которые применяются для качественного и количественного их определения в минеральном сырье. Основные из методов: пробирный, гравиметрический, атомно-абсорбционный, эмиссионный, колориметрический, атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой, различные виды хроматографии, титриметрический, электрохимические различные варианты и другие.

В большинстве перечисленных методах определения проводят с предварительным разделением компонентов. Указанные

методы различаются чувствительностью, точностью, а также большим временем проведения анализа. Большинство методов при анализе руд и пород на содержание золота и платиноидов предусматривает переведение анализируемого объекта в раствор с использованием кислотного разложения. Это связано с неравномерностью распределения металлсодержащих фракций по анализируемому образцу. Образование различных по составу минералов приводит к отклонениям в точности определения благородных металлов в анализируемых материалах, в связи с наложением аналитических сигналов и неполным их разделением в ходе потокового анализа на стадии подготовки проб. Данный факт не позволяет более точно определить процентное содержание или процентный состав изучаемых минералов и систем [6].

Каждый метод, применяемый для определения золота и платиновых металлов в минеральном сырье, имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее часто для определения благородных металлов используют атомно-абсорбционные методы (ААС), характеризующиеся низкими пределами обнаружения в диапазоне 0,07...0,10 мкг/кг. Однако метод ААС не позволяет определять металлы без его отделения от матрицы пробы. Существует большое число методик предварительного концентрирования металла, поскольку этот метод очень чувствителен к влияниям основы пробы, вызывающим изменение в образовании свободных атомов. Наиболее значительным недостатком метода является высокая стоимость атомизатора.

Нейтронно-активационный метод характеризуется высокой точностью и позволяет определять одновременно с основными компонентами большое число других элементов в диапазоне 0,5...50 мкг/кг. Радиоактивационный метод анализа основан на регистрации излучения радиоактивных ядер, образующихся в процессе протекания соответствующих ядерных реакций и сравнении данных с излучением эталонных образцов. В настоящее время использование этого метода анализа осложнено трудностью доступности источников облучения. При многоэлементном анализе требуется варьирование времени облучения и многократного цикла повторений «облучение-охлаждение». Анализ относится к трудным и длительным.

На сегодняшний день атомно-эмиссионный спектральный анализ – один из самых распространенных, информативных и простых методов анализа. Метод является многоэлементным и, в сочетании с предва-

рительным концентрированием, дает возможность определять одновременно до трех десятков элементов с низкими пределами обнаружения 0,03 ...0,20 мкг/кг. Одним из недостатков метода является его стоимость, что не позволяет проводить большое количество серийных анализов.

Перспективным методом в определении золота и металлов платиновой группы является инверсионная вольтамперометрия (ИВ). Это электрохимический метод в основе которого лежит концентрирование элементов на поверхности рабочего электрода, что позволяет проводить определения 0,01...1,0 мкг/кг вещества. Высокая чувствительность и селективность (избирательность) метода достигается за счет использования классических методов разложения, разделения и концентрирования. Например, при определении платины методом ИВ [7] осуществляют ее электроосаждение совместно с более неблагородным металлом: медью, свинцом, ртутью и др. Обычно платина на поверхности электрода образует одно или несколько интерметаллических соединений с электроотрицательным компонентом. Анодные пики, зависящие от концентрации ионов платины в растворе, обусловлены селективным электроокислением электроотрицательного компонента сплава. Авторами были разработаны и внедрены новые современные уникальные методики определения благородных металлов в рудах с использованием метода инверсионной вольтамперометрии. [8-13]

### Заключение

Таким образом, используя различные физические и физико-химические методы для определения содержания благородных металлов в пробах собранных в ходе геологических изысканий, можно провести примерную оценку запасов. Более точную оценку запасов драгоценных металлов проводят за счет бурения и получения кернов. От количества запасов месторождения полезных ископаемых и их качества зависит возможная продолжительность его эксплуатации. При выборе метода следует обратить внимание на следующие группы ограничений:

- технические – обеспечивающие необходимую точность измерений и полноту соответствия параметром исследуемого образца;
- финансовые – учитывающие стоимость исследования и, как следствие, целесообразность его проведения;
- технологические – заключающиеся в эффективной организации данных работ, включая наличие требуемого оборудования, специалистов соответствующей квалификации.

Бремя финансирования работ по анализу содержания благородных металлов в минеральном сырье преимущественно должно принимать на себя государство, как субъект, регулирующий данную стратегически важную сферу и получающий обеспечивающий социально-экономическое развитие общества, положение государства в мировой хозяйственной системе. Возможно и привлечение средств частного бизнеса.

Значимыми моментами рассматриваемой проблемы является выполнение следующих условий:

1. При подсчете запасов учитываются запасы не только по всему месторождению, но и по участкам его, отличающимся геологическим строением, условиями залегания рудных тел, качеством минерального сырья, горнотехническими или гидрогеологическими условиями.

2. Подсчет запасов осуществляется отдельно по каждому полезному ископаемому, входящему в состав рудной массы. Особенно это относится к комплексным или полиминеральным рудам.

3. При подсчете запасов возможные потери полезных компонентов, связанные с потерей в процессе проведения добычных работ, не учитываются.

4. Обоснование выбора методики предполагает исследование технического, финансового, технологического аспектов.

#### Список литературы

1. Боярко Г.Ю. Количественная оценка погрешности подсчета прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых / Г.Ю. Боярко // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 11-15.
2. Коробейников А.Ф. Нетрадиционные комплексные золото-платиноидные месторождения складчатых поясов / А.Ф. Коробейников. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999. – 237 с.
3. Коробейников, А.Ф. Минералогия благородных металлов нетрадиционных золото-платиноидных руд в черносланцевых формациях / А.Ф. Коробейников // Платина России Т. 4. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке. – М.: ЗАО «Геонинформмарк». 1999. – С. 40-50.
4. Коробейников, А.Ф. Комплексные месторождения благородных и редких металлов / А.Ф. Коробейников. – Томск: ТПУ, 2006. – 327 с.
5. Горчаков, Э.В. Инверсионно-вольтамперометрическое определение золота и палладия в золоторудном минеральном сырье. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук. – Томск: ТПУ, 2008.
6. Колпакова, Н.А. Оценка фазового состава электролитических осадков, содержащих платину и золото / Н.А. Колпакова, Э. В. Горчаков, Э.М. Габдрахманова, Т.С. Глызина // Журнал структурной химии. – 2010. – Т. 51. – № S7. – С. 203–208. (Kolpakova N.A., Gorchakov E.V., Gabdurahmanova E.M., Glyzina T.S. Estimation of the phase composition of electrolytic deposits containing platinum and gold // Journal of Structural Chemistry. – 2010 – №. 51 – p. 203-206)
7. Глызина Т.С., Горчаков Э.В., Устинова Э.М., Колпакова Н.А. Способ определения платины в рудах и рудных концентратах методом инверсионной вольтамперометрии по пикам селективного электроокисления висмута из интерметаллического соединения Pt<sub>x</sub>Bi<sub>y</sub>: Патент 2479837 Российская Федерация; Патентообладатель: Национальный исследовательский; Опубликовано 20.04.2013.
8. Горчаков Э.В., Устинова Э.М., Михайлов М.В., Глызина Т.С. Способ определения осмия инверсионно-вольтамперометрическим методом в природном и техногенном сырье: Патент 2486500 Российская Федерация; Патентообладатель; Опубликовано 26.06.2013
9. Колпакова Н.А., Габдрахманова Э.М., Глызина Т.С., Горчаков Э.В. Способ определения платины в рудах методом инверсионной вольтамперометрии: Патент 2426108 Российская Федерация; Патентообладатель: Томский политехнический университет, Государственное образовательное; Опубликовано 10.08.2011.
10. Нестеров А.А., Горчаков Э.В., Устинова Э.М., Колпакова Н.А., Глызина Т.С. Способ определения родия в водных растворах методом инверсионной вольтамперометрии по пикам селективного электроокисления меди из интерметаллического соединения Rh<sub>x</sub>Cu<sub>y</sub>: Патент 2498290 Российская Федерация; Патентообладатель: Опубликовано 10.11.2013
11. Габдрахманова Э.М., Глызина Т.С., Горчаков Э.В., Колпакова Н.А. Способ определения платины в водных растворах и технологических сливах методом инверсионной вольтамперометрии: Патент 2467320 Российская Федерация; Патентообладатель: ; Опубликовано 20.11.2012.
12. Shekhovtsova N.S., Glyzina T.S., Romanenko S.V., Kolpakova N.A. Estimation of the composition of electrolytically prepared intermetallic bismuth–platinum deposits // Journal of Solid State Electrochemistry. – 2012 – Vol. 16 – №. 7 – p. 2419-2423.
13. Kolpakova N.A., Gorchakov E.V., Gabdurahmanova E.M., Glyzina T.S. Estimation of the phase composition of electrolytic deposits containing platinum and gold // Journal of Structural Chemistry. – 2010 – №. 51 – p. 203-206.