УДК 550.84

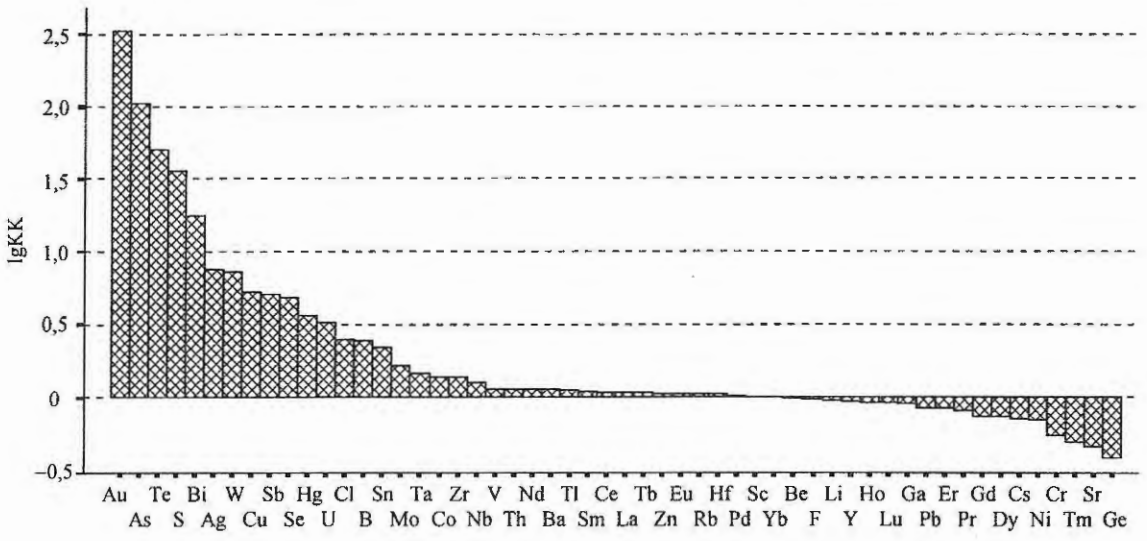
А.Ш.КАРЛОС
Геолого-разведочный факультет,
аспирант кафедры геофизических и геохимических методов поисков
и разведки месторождений полезных ископаемых

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТИПЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ФИНЛЯНДИИ И КАРЕЛИИ

Рассмотрены геохимические характеристики многочисленных золоторудных проявлений, выявленных на территории Балтийского щита, с целью их типизации по геохимическим данным и выявления группы элементов, аномалии которых могут служить индикаторами при поисках золоторудных месторождений. В качестве исходных были использованы данные о содержании широкого круга химических элементов в рудах и первичных ореолах 43 золоторудных объектов на территории Финляндии, а также, для сравнения, в некоторых месторождениях золота зеленокаменных поясов Канады и Австралии. Охарактеризованы также два объекта на территории Карелии: месторождение Майское и рудопроявление Алатту. Анализ геохимических спектров позволил установить главные индикаторные элементы докембрийской золоторудной минерализации (Au, As, Te, S, Bi, Ag, W, Cu, Sb, Se, Hg, U, Cl, B, Sn, Mo, Pb, Zn). По соотношению концентраций главных спутников золота выделено пять геохимических типов золоторудной минерализации на территории Балтийского щита. Полученные результаты могут быть использованы при проведении геохимических поисков золота в Карелии и на Кольском полуострове.

This paper describes geochemical characteristics of numerous gold deposits of the Baltic Shield with the purposes of their typification and revealing indicator chemical elements to be used in geochemical exploration for gold. The initial data were contents of wide number of elements in ores and primary halos of 43 gold-bearing objects in Finland and, for comparison, of selected gold deposits in greenstone belts of Canada and Australia. Characteristics of Mayskoye deposit and Alattu ore occurrence in Karelia are also given. Analysis of the geochemical spectra has shown that principal indicators of the Precambrian gold mineralization are Au, As, Te, S, Bi, Ag, W, Cu, Sb, Se, Hg, U, Cl, B, Sn, Mo, Pb, and Zn. According to relative concentrations of these indicator elements, five geochemical types of gold mineralization in the Baltic Shield have been found out. These results can be used in geochemical exploration for gold in Karelia and Kola Peninsula.

Несмотря на то, что планомерные поиски золота проводятся на территории российской части Балтийского щита с 70-х гг. прошлого века, крупных месторождений этого металла до настоящего времени не выявлено. Вместе с тем в Карело-Кольском регионе и соседней Финляндии обнаружен ряд проявлений и небольших по запасам золоторудных месторождений [1, 2, 8]. Учитывая, что месторождения других докембрийских щитов являются главным источником золота, добываемого за рубежом, задачу поисков золоторудных месторождений в восточной части Балтийского щита следует признать более чем актуальной. Поставлена задача создать условия для реализации золоторудного потенциала Карелии, создать новую сырьевую базу золоторудной промышленности в европейской части России [5]. В последние годы ряд новых золоторудных объектов был выявлен в Финляндии, которая сходна по своему геологическому строению с Карело-Кольским регионом, а анализ истории их обнаружения показал, что важнейшую поисковую роль сыграли геохимические методы [6, 7]. Эти методы применяются и в Карело-Кольском регионе. Чтобы использовать их более эффективно, нужно лучше знать характеристики искомых объектов, в том числе вещественный состав различных золоторудных проявлений и наборы



Обобщенный геохимический спектр изученных докембрийских золоторудных объектов

химических элементов, являющихся спутниками золота в рудах и их геохимических ореолах. На решение именно этой задачи была нацелена работа, результаты которой рассматриваются в настоящей статье.

В качестве основных исходных данных были использованы опубликованные в литературе результаты геохимических поисков и изучения коренных месторождений и рудопроявлений золота на территории Финляндии, дополненные данными по некоторым известным золоторудным месторождениям Канады и Австралии [6, 7, 8]. Всего исследовалось 53 зарубежных золоторудных объекта, охарактеризованных результатами количественных определений породообразующих оксидов и 54 микроэлементов.

Чтобы исключить влияние различий состава неизмененных пород и выделить эпигенетическую составляющую, связанную с золотоносной минерализацией, на начальном этапе работы были учтены фоновые содержания химических элементов в различных породах. Для этого были вычислены коэффициенты концентрации элементов в пробах (KK) как отношения содержаний элемента в пробах к фоновым содержаниям в породах данного типа. По средним значениям lgKK был построен обобщенный геохимический спектр по всем объектам исследования в порядке убывания средних значений коэффициентов концентрации элементов (см. рисунок).

В этом спектре выделяется группа элементов с существенно повышенными коэффициентами концентрации: Au, As, Te, S, Bi, Ag, W, Cu, Sb, Se, Hg, U, Cl, B, Sn и Mo. Именно эти элементы можно рассматривать как главные, наиболее типичные спутники золота в докембрийских золоторудных проявлениях. С другой стороны, видно, что Ge, Sr, Cs, Cr и Ni чаще всего выносятся из золоторудных зон.

По всем объектам с их подразделением на рудные и ореольные интервалы был выполнен факторный анализ по 54 химическим элементам (включая рудные, редкоземельные и другие микроэлементы). Чтобы снизить влияние степени концентрирования различных элементов и выявить, главным образом, взаимосвязи элементов и их ассоциации, факторный анализ выполнялся по корреляционной матрице с варимаксным вращением осей. По результатам этого анализа (см. таблицу) выделяется фактор 2 с высокими нагрузками на Au, Ag, As, Bi, Cu, Hg, Se, Te, Zn, S и Pb. Как видно, в эту группу входят элементы, выделившиеся и на общем геохимическом спектре, но к ним добавляются свинец и цинк.

Таким образом, можно сделать вывод, что главными, наиболее характерными элементами-индикаторами докембрийской золоторудной минерализации могут служить Au, As, Te, S, Bi, Ag, W, Cu, Sb, Se, Hg, U, Cl, B, Sn, Mo, Pb и Zn, степень накопления которых в проявлениях разных типов может, однако, различаться.

Факторные нагрузки по результатам факторного анализа объединенной выборки данных

Химический элемент	Фактор						Химический элемент	Фактор					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
Au		0,71					Ta		–0,35				–0,46
Ag		0,86					Te		0,61				0,48
As		0,59				–0,41	Th	0,67					0,35
B				0,35		0,42	Tl			0,85			
Ba			0,52		0,31		U	0,44			–0,36		0,61
Be	0,38				0,34	–0,32	V	0,39			0,58		
Bi		0,67					W				–0,48		
Co			–0,39	0,31		0,31	Y	0,92					
Cr			–0,36	0,73			Zn		0,63				
Cs			0,78				Zr	0,54				0,43	
Cu		0,78					S		0,72				
Ga	0,57		0,33		0,37		F	0,32				0,78	
Ge			–0,31		0,33	–0,52	Cl					0,55	
Hf	0,58		0,45				La	0,84					
Hg		0,49			–0,38		Ce	0,86					
Li			0,76				Pr	0,68				0,58	
Mo						0,66	Nd	0,87					
Nb					0,82		Sm	0,90					
Ni			–0,39	0,74			Eu	0,82					
Pb		0,33				0,46	Gd	0,91					
Pd				0,55	–0,46		Tb	0,95					
Rb	0,41		0,69				Dy	0,94					
Sb			0,49		–0,31		Ho	0,80					
Sc	0,40			0,62			Er	0,91					
Se		0,60		–0,33			Tm	0,49		0,32	–0,51		
Sn				–0,42			Yb	0,91					
Sr			0,62		0,50		Lu	0,89					
Вес фактора, %	25,9	9,7	9,4	7,7	7,7	6,7	Вес фактора, %	25,9	9,7	9,4	7,7	7,7	6,7

Примечание. Показаны только нагрузки, превышающие по абсолютной величине 0,30.

Чтобы выявить различия между изученными золоторудными объектами и типизировать их по геохимическим данным, по этим главным индикаторным элементам был выполнен факторный анализ методом главных компонент по ковариационной матрице логарифмов коэффициентов концентрации, в результате которого выделилось несколько главных факторов. Фактор 1 с высокими нагрузками на золото и его главные спутники (As, Te, S, Bi, Ag, Se, Hg, Zn, Pb и Sb) является фактором интенсивности золоторудной минерализации. Его значения зависят, главным образом, от того, насколько богатые интервалы руд или первичных ореолов были опробованы, поэтому этот фактор неудобен для разделения объектов на типы по геохимическим характеристикам. Напротив, совместное рассмотрение нагрузок на факторы 2 и 3 и численных значений этих факторов позволяет подразделить изученные золоторудные объекты на пять групп (типов) по соотношениям главных рудных элементов.

Первая группа объединяет объекты с относительно повышенными, по сравнению с обобщенным спектром, концентрациями Te, Mo, W, U (а также Th, Ce и La) и относительно пониженными содержаниями As и Ag. Объекты этой группы можно отнести по геохимическим характеристикам к золото-теллуровому типу минерализации. В геохимическом спектре второй группы, который ближе всего к обобщенному спектру, выделяются относительные концентрации As, Te, S, в меньшей степени Ag, Sb, Ba, Pb и Zn. Группу можно отнести к золото-мышьяк-теллур-полиметаллическому типу. Можно отметить определенное сходство ранее изученной золоторудной минерализации Костомукшской зеленокаменной структуры Карелии [3] с объектами первой и второй групп (при более высоких концентрациях свинца и более низких – мышьяка). Третья группа включает объекты с резким накоплением As и Sb, а также S, Ag и Hg. Эту группу можно охарактеризовать как комплексный золото-мышьяк-сурьмяно-серебряный с ртутью тип минерализации. Объектам четвертой группы свойственны высокие содержания мышьяка, отмечаются повышенные концентрации таллия и, что интересно, палладия. Группа отнесена к золото-мышьяковому, возможно, с таллием и палладием, типу. Наиболее характерными элементами проявлений пятой группы являются As, Bi и Cu, в то время как содержания Sb и Pb понижены. Тип минерализации – золото-мышьяковый с висмутом.

Дополнительные особенности геохимической дифференциации изученных объектов по содержаниям элементов, не являющихся главными спутниками золота, были установлены по результатам факторного анализа, выполненного всем 54 микроэлементам (см. таблицу). Первый фактор интерпретируется как фактор концентрации редкоземельных элементов, третий – щелочных и щелочно-земельных элементов, четвертый – фемафильных элементов, пятый – концентрации F, Cl и редких металлов, шестой – концентрации U и Mo*. По вычисленным значениям этих факторов были проведены иерархический кластерный анализ и многомерное шкалирование с целью разделения объектов на классы по содержаниям в них элементов, не являющихся главными спутниками золота (в данном случае, второстепенных). В результате было выделено семь главных кластеров, которые соответствуют семи классам золоторудных объектов. Сравнение геохимических и геологических характеристик изученных объектов показало, что зависимости концентраций второстепенных элементов от типов вмещающих пород проявлены в целом слабо (более отчетливо для объектов Лапландской гранит-зеленокаменной области, и это дает основание полагать, что в ее пределах процессы изменения околорудных пород и перераспределения в них элементов играли более существенную роль, чем в других провинциях). Морфология золоторудных залежей практически не сказывается на концентрациях второстепенных элементов. Месторождение Хемло (Канада), данные по которому также были включены в выборку, резко отличается от других изученных объектов по содержанию редкоземельных элементов (вынос), щелочных и щелочно-земельных элементов (привнос).

Сравнение геохимических характеристик (по ограниченному набору элементов) месторождения Майское и рудопроявления Алатту в Карелии, с одной стороны, и зарубежных объектов, с другой, показало, что месторождение Майское, относимое к золото-сульфидно-кварцевой формации [4], имеет наибольшее сходство с зарубежными объектами четвертой и пятой групп. В связи с этим целесообразно исследовать Майское месторождение на содержание элементов платиновой группы. Рудопроявление Алатту ближе по геохимическим характеристикам к объектам второй группы.

Таким образом, установлены главные индикаторные элементы золоторудной минерализации Балтийского щита, определены основные геохимические типы золоторудных объектов и их характеристики. Эти результаты могут использоваться для более

* Второй фактор – фактор интенсивности рудной минерализации – для целей классификации не очень удобен, а потому в анализе опущен.

целенаправленного проведения геохимических поисков месторождений золота в восточной части Балтийского щита, в Карелии и на Кольском полуострове.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булавин А.В.* Геолого-экономические аспекты изучения и освоения месторождений благородных металлов в Карелии / А.В.Булавин, В.Т.Рябухин // Проблемы золотоносности и алмазоносности севера европейской части России / КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1997.

2. *Коровкин В.А.* Некоторые аспекты металлогении золота Карело-Кольского региона / В.А.Коровкин, Л.В.Турылева // Проблемы золотоносности и алмазоносности севера европейской части России / КарНЦ РАН Петрозаводск, 1997.

3. *Марченко А.Г.* Геохимические спектры золотоносной минерализации в Костомукшской зеленокаменной структуре Карелии / А.Г.Марченко, А.Ш.Карлос // Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ: Тезисы докладов / ИМГРЭ. М., 1997.

4. Металлогения Карелии / С.И.Рыбаков, А.И.Голубев, В.Д.Слюсарев и др. / КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1999.

5. Экономическая оценка освоения минеральных ресурсов Карелии / Ин-т экономики КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2001.

6. Geological development, gold mineralization and exploration methods in the late Archean Hattu schist belt, Ilomantsi, Eastern Finland // Geological Survey of Finland, Special Paper 17. Espoo, 1993.

7. *Nurmi P.A.* Gold exploration in Finland in the 1980s: the perspective towards 2000 a.d. // Geological Survey of Finland, Special Paper 12. Espoo, 1991.

8. *Nurmi P.A.* Geochemical characteristics of mesothermal gold deposits in the Fennoscandian Shield, and a comparison with selected Canadian and Australian deposits / P.A.Nurmi, P.Lestinen, H.Niskavaara // Geological Survey of Finland, Bull. 351. Espoo, 1991.

Научный руководитель д.г.-м.н. проф. *А.Г.Марченко*