

Заборовская Л.П.¹, Фомин Ю.А.¹, Заборовский В.С.¹, Покалюк В.В.¹, Братчук О.Н.²

¹ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

²КП «Геологоразведочная экспедиция»

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГУБОВСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЗОЛОТА УКРАИНСКОГО ЩИТА

Выявлены геохимические особенности поведения основных рудогенных элементов (Au, As, Bi, Ag, Ni, Co, Cu, Pb, Zn) главного рудного тела Губовского рудопроявления золота на основе методов многомерной статистики (ранговая корреляция и кластерный анализ). Установлено, что самыми продуктивными на золото являются участки телескопирования двух разновременных минеральных ассоциаций – ранней (арсенопирит-лёллингитовой с тонкодисперсным низкопробным золотом) и поздней (полисульфидной со свободным высокопробным золотом).

Введение

Методы многомерной статистики (корреляционный и кластерный анализ) весьма актуальны при обработке данных геохимических исследований. Они позволяют: выявлять элементы-индикаторы рудоносных систем; оценивать пространственное положение рудных тел; характеризовать особенности генезиса геологических образований. Опыт изучения рудных месторождений различных формационных типов убедительно показывает, что максимальной продуктивностью обычно обладают те интервалы рудных тел, в пределах которых с наибольшей полнотой реализуется эффект пространственного совмещения (телескопирования) разностадийных минеральных ассоциаций [1]. Статистически такие обогащенные участки выявляются по наличию наиболее жестких и всесторонних связей между индикаторными элементами оруденения, которые уверенно фиксируются методами корреляционного анализа. По мере удаления от обогащенного рудного интервала круг геохимических связей закономерно сужается с одновременным уменьшением величины парных коэффициентов корреляции. Величина алгебраической суммы парных коэффициентов корреляции каждого рудогенного элемента ($\sum R_n$) выражает полноту его геохимических связей в каждом сечении рудного тела или его эндогенного ореола. В свою очередь, величина алгебраической суммы парных коэффициентов корреляции матрицы (\sum), включающей весь спектр интересующих нас элементов, может служить показателем интенсивности оруденения [1]. Подобные исследования позволяют решить актуальную практическую задачу выбора направления дальнейших геологоразведочных работ.

Данная статья посвящена выявлению закономерностей поведения основных рудогенных элементов Губовского золоторудного проявления на основе методов многомерной статистики (ранговая корреляция и кластерный анализ) с целью определения наиболее продуктивных на золото участков главного рудного тела.

Объект исследования

Губовское золоторудное проявление расположено в центральной части Кировоградского (Ингульского) блока Украинского щита. Рудопроявление локализуется в восточном контакте крупного Новоукраинского массива микроклиновых гранитов, в окаймляющей его гнейсовой толще. В тектоническом отношении – это зона субмеридионального Кировоградского глубинного разлома. Губовское рудопроявление и находящееся севернее него Клинцовское золоторудное месторождение объединяются в единое Клинцовское рудное поле и принадлежат к так называемому клинцовскому типу рудообразования [2]. Для данного типа характерно развитие своеобразных околорудных метасоматитов амфибол-слюдистого состава – «клинцовитов» [3]. Хотя Губовское рудопроявление по большинству

признаков подобно Клинцовскому месторождению, тем не менее, отличается от него некоторыми особенностями – более щелочным составом вмещающих пород и метасоматитов, вплоть до появления в последних щелочных амфиболов и пироксенов; наличием до-рудных метасоматитов роговообманково-плагиоклаз-кварцевого и роговообманково-кварцевого состава с биотитом; присутствием на Губовском рудопроявлении в составе рудных минералов теллуридов висмута (при наличии висмута в самородной форме на обоих рудопроявлениях) [2].

Губовское рудопроявление представляет собой линейно вытянутую в меридиональном направлении тектоно-метасоматическую зону, выделяемую по повышенному содержанию в породах золота (более 0,01 г/т) (рис. 1). Прослеженная длина зоны составляет около 2000 метров, ширина – несколько десятков метров. Вмещающими породами для рудных тел являются различные по составу гнейсы и кристаллосланцы чечелевской свиты палеопротерозойского возраста, согласно инъецированные пегматоидными и аплито-пегматоидными гранитами кировоградского комплекса (~2 млрд лет). Околорудные метасоматические изменения выражаются в развитии клинцовитов – куммингтонит-биотитовых или амфибол-биотитовых метасоматитов. Рудные тела представляют собой крутопадающие, согласные с вмещающими породами, зоны развития кварцевых, полевошпат-кварцевых прожилков.

Сульфидная минерализация скудна (первые проценты) и проста по составу (пирит, арсенопирит, лёллингит, пирротин, халькопирит). Реже встречаются галенит, сфалерит, пентландит $Ni(Fe,Ni,Co)_8S_8$, брейтгауптит $NiSb$, кобальтин $(Co,Ni,Fe)AsS$. Самородные элементы представлены золотом, висмутом, мышьяком и сурьмой. Характерно присутствие теллуридов висмута – пильзенита, хедлейита (определения сделаны микрозондовым методом, В.С. Монахов, С.Н. Бондаренко).

В работе использованы результаты спектральных, пробирных, спектрозолотометрических анализов 324 проб из 25 скважин, пересекающих главное рудное тело №1 (на данном этапе поисково-оценочных работ) по 14 профилям на 4 горизонтах. Пробы отобраны геологами Черкасской экспедиции в порядке плановых поисково-оценочных работ.

Теоретические предпосылки

Для правильной постановки задачи статистических исследований и дальнейшей интерпретации результатов необходим тщательный анализ минералогических предпосылок. Детальная схема последовательности минералообразования для Губовского рудопроявления пока еще не разработана. По минеральному составу и некоторым другим признакам Губовское рудопроявление, как мы считаем, можно отнести к самостоятельному золото-мышьяковому типу рудообразования, относительно недавно выделенному для золоторудных проявлений западной части Украинского щита [4]. Типоморфными минералами этого типа считают арсенопирит и лёллингит. По отношению ко времени образования золота, на данных золотопроявлениях выделяются три стадии рудного процесса, которые по порядку кристаллизации, от ранних до более поздних, характеризуются набором стойких минеральных ассоциаций:

- дорудная (оксидная) представлена ильменитом;
- собственно золоторудная (продуктивная) состоит из арсенидов и сульфоарсенидов железа, кобальта, а также сульфидов, самородного золота, теллуридов и самородных элементов;
- пострудная определяется развитием сульфидов, карбонатов, гидроксидов железа и титана [4].

Более дробного деления стадий на ступени развития процесса, вещественным выражением которых являются парагенетические минеральные ассоциации или парагенезисы (в представлении Н.В. Петровской), для подобных рудопроявлений еще не сделано. Поэтому для исключения сугубо формального подхода к анализу статистических данных, что может повлечь за собой принципиально ошибочные геологические выводы, возникла

необходимость в более детальном разделении процесса рудообразования на Губовском рудопроявлении.

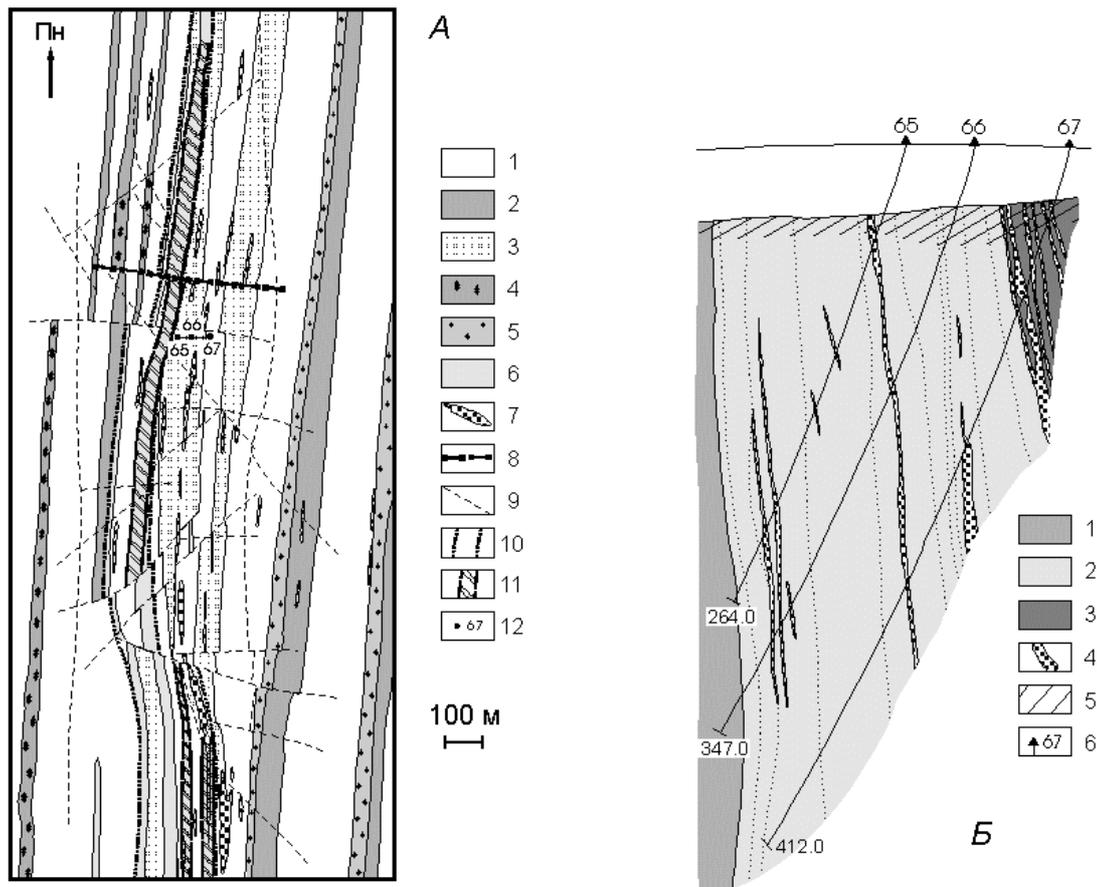


Рис. 1. Геологический план и разрез Губовского рудопроявления с первичными ореолами золота [2]: **А:** 1 – биотитовые гнейсы, 2 – гранат-биотитовые гнейсы, 3 – биотитовые с прослойками гранатсодержащих (граната до 5 %) гнейсы, 4 – графит-биотитовые и биотитовые гнейсы, 5 – кордиерит-биотитовые гнейсы, 6 – амфибол-биотитовые гнейсы, 7 – пегматоидные и аплит-пегматоидные граниты кировоградского комплекса, 8 – дайки диабазов, 9 – тектонические нарушения по данным магнито-, грави- и электро-разведки, 10 – тектоно-метасоматическая зона, 11 – рудная зона, выделенная по содержаниям золота выше 0,01 г/т и вторичным изменениям, сопутствующим золоторудному процессу, 12 – профиль скважин, по которым строили разрез (см. рис. 1,Б); **Б:** 1 – толща пород, которые не содержат амфибола, 2 – амфиболсодержащие породы, 3 – биотит-кордиеритовые гнейсы, 4 – пегматоидные и аплит-пегматоидные граниты кировоградского комплекса, 5 – кора выветривания, 6 – скважины.

Учитывая всю совокупность известных на данное время данных по минералогии Губовского рудопроявления [2, 3], подобного ему Клиновского месторождения [2, 3, 5], однотипных золото-мышьяковых проявлений западной части Украинского щита [4], теоретические представления о последовательности минералообразования в золоторудном процессе [6, 7, 8], а также некоторые собственные минералогические наблюдения образцов с Губовского рудопроявления, на данном этапе исследований на Губовском рудопроявлении мы можем предположить существование двух главных последовательных минеральных ассоциаций:

- 1) ранней, арсенопирит-лёллингитовой с тонкодисперсным низкопробным золотом, теллуридами висмута и самородным висмутом;
- 2) поздней, полисульфидной (пирротин-халькопирит-сфалерит-галенитовой) со свободным высокопробным золотом, теллуридами висмута и самородным висмутом.

Низкопробное золото в ассоциации с теллуридами висмута и самородным висмутом образует мельчайшие выделения в матрице минералов-хозяев – арсенопирите и лёллингите. Высокопробное золото также в ассоциации с теллуридами висмута и самородным висмутом наблюдается в виде тончайших самостоятельных выделений непосредственно среди жильных минералов.

Результаты исследований и их обсуждение

В качестве профилирующих элементов, характеризующих рудный процесс на рудопроявлении, выбраны Au, As, Bi, Ag, Ni, Co, Cu, Pb, Zn. Статистической обработке были подвергнуты результаты анализов проб из рудных интервалов (с содержанием золота выше 0,01 г/т). Определение As, Bi, Ag, Ni, Co, Cu, Pb, Zn выполнено спектральным методом, Au – пробирным и спектрозолотометрическим. Все результаты приводились к общей шкале измерения – $n \times 10^{-3}$ % масс. Для нивелирования различий в характере распределения элементов, обусловленных использованием разных видов анализа, был применен метод ранговой (порядковой) корреляции [9].

Для рудного интервала каждой скважины отдельно вычислялась корреляционная зависимость между рудогенными элементами. В результате выделились 4 группы рудных интервалов, которые отличаются между собой характером корреляционных связей золота:

- 1 – сильная связь Au и As;
- 2 – сильная связь Au с Bi и As одновременно;
- 3 – сильная связь Au и Bi;
- 4 – отсутствие отчетливой связи Au с Bi и As.

Далее для каждой из выявленных четырех групп рудных интервалов вновь вычислялась корреляционная зависимость между рудогенными элементами. Полученные корреляционные матрицы представлены в таблице 1. Анализ этих матриц позволяет предположить следующее.

1. Пробы из рудных интервалов скважин с сильной корреляционной связью Au с As характеризуют, по-видимому, интервалы рудного тела, в которых происходит преимущественное отложение ранней арсенопирит-лёллингитовой ассоциации с теллуридами висмута, самородным висмутом и тонкодисперсным низкопробным золотом.

2. Пробы из рудных интервалов скважин с сильной корреляционной связью Au одновременно с Bi и As, характеризуют, по-видимому, участки рудного тела, в которых происходит телескопирование (пространственное совмещение) двух последовательных минеральных ассоциаций – ранней, арсенопирит-лёллингитовой ассоциации с теллуридами висмута и тонкодисперсным низкопробным золотом, и поздней, полисульфидной ассоциации с теллуридами висмута, самородным висмутом и высокопробным золотом.

3. Пробы из рудных интервалов скважин с сильной корреляционной связью Au с Bi характеризуют, вероятно, участки рудного тела, в которых происходит преимущественное отложение поздней полисульфидной ассоциации с теллуридами висмута, самородным висмутом и высокопробным золотом.

4. Пробы из рудных интервалов скважин со слабой корреляционной связью Au как с As, так и с Bi, характеризуют, по-видимому, интервалы со слабой рудоносностью.

Как отмечалось выше, сумма парных коэффициентов корреляции матрицы (Σ) может служить показателем интенсивности оруденения, то есть самыми продуктивными участками на рудопроявлении являются интервалы рудных тел, для которых характерны наиболее высокие значения данной величины.

В таблице 1 жирным шрифтом обозначены величины коэффициентов корреляции, достоверные при 5 % (и выше) уровне значимости; н. с. – связь не существенна; ΣR_n – сумма парных коэффициентов корреляции для конкретного рудогенного элемента; Σ – сумма парных коэффициентов корреляции матрицы, включающей весь спектр рудогенных элементов.

Таблица 1. Корреляционные матрицы четырех групп рудных интервалов с различными связями золота

Группа 1 – с сильной связью Au-As										
	Au	As	Bi	Ag	Cu	Co	Pb	Ni	Zn	ΣRn
Au		0,61	0,22	0,11	0,35	0,04	-0,14	0,13	-0,05	1,27
As	99		0,21	0,14	0,29	0,37	0,23	0,27	0,10	2,21
Bi	н. с.	н. с.		0,26	0,39	0,29	-0,23	0,29	0,06	1,49
Ag	н. с.	н. с.	95		0,61	0,60	0,24	0,43	0,53	2,92
Cu	98	95	99	99		0,46	-0,09	0,43	0,39	2,83
Co	н. с.	99	95	99	99		0,40	0,57	0,55	3,27
Pb		н. с.	н. с.	90	н. с.	99		0,19	0,40	0,99
Ni	н. с.	95	95	99	99	99	н. с.		0,53	2,84
Zn	н.с.	н. с.	н. с.	99	99	99	99	99		2,51
										$\Sigma = 20,33$
Группа 2 – с сильной связью Au одновременно с As и Bi										
	Au	As	Bi	Ag	Cu	Co	Pb	Ni	Zn	ΣRn
Au		0,50	0,37	0,13	0,24	0,25	0,00	0,10	0,13	1,73
As	99		0,22	0,14	0,14	0,30	-0,09	0,11	0,01	1,35
Bi	99	95		0,24	0,34	0,34	0,20	0,24	0,20	2,15
Ag	н. с.	н. с.	97		0,62	0,50	0,37	0,18	0,38	2,57
Cu	97	н. с.	99	99		0,53	0,23	0,43	0,40	2,93
Co	99	99	99	99	99		0,29	0,50	0,47	3,19
Pb	н. с.	н. с.	95	99	97	99		0,32	0,48	1,80
Ni	н. с.	н. с.	95	90	99	99	99		0,54	2,44
Zn	н. с.	н. с.	95	99	99	99	99	99		2,62
										$\Sigma = 20,78$
Группа 3 – с сильной связью Au-Bi										
	Au	As	Bi	Ag	Cu	Co	Pb	Ni	Zn	ΣRn
Au		0,21	0,46	-0,09	0,07	0,05	-0,04	-0,04	0,20	0,83
As	95		-0,03	0,05	-0,04	0,45	-0,16	-0,11	0,20	0,58
Bi	99	н. с.		0,17	0,15	0,16	0,18	0,27	0,32	1,69
Ag	н. с.	н. с.	90		0,50	0,60	0,36	0,55	0,30	2,45
Cu	н. с.	н. с.	н. с.	99		0,20	0,18	0,11	0,16	1,33
Co	н. с.	0,45	н. с.	99	95		0,38	0,60	0,53	2,97
Pb	н. с.	н. с.	90	99	90	99		0,63	0,33	1,86
Ni	н. с.	н. с.	99	99	н. с.	99	99		0,54	2,54
Zn	95	95	99	99	н. с.	99	99	99		2,56
										$\Sigma = 16,81$
Группа 4 – со слабой связью Au как с As, так и Bi										
	Au	As	Bi	Ag	Cu	Co	Pb	Ni	Zn	ΣRn
Au		0,27	0,05	-0,09	-0,06	0,12	0,14	0,04	0,16	0,63
As	98		-0,08	-0,19	-0,17	0,33	-0,21	0,10	-0,22	-0,17
Bi	н. с.	н. с.		-0,12	0,20	0,23	0,11	0,34	0,19	0,91
Ag	н. с.	н. с.	н. с.		0,68	0,33	0,31	0,25	0,21	1,38
Cu	н. с.	н. с.	90	99		0,35	0,13	0,36	0,16	1,63
Co	н. с.	99	95	99	99		0,22	0,59	0,40	2,56
Pb	н. с.	н. с.	н. с.	99	н. с.	90		0,50	0,32	1,51
Ni	н. с.	н. с.	99	98	99	99	99		0,54	2,73
Zn	н. с.	н. с.	90	90	н. с.	90	99	99		1,76
										$\Sigma = 12,94$

Значение ΣRn также является достаточно важным информативным показателем, так как характеризует полноту связей каждого рудогенного элемента в определенной выборке

проб. Для лучшего представления этих данных значения Σ и ΣR_n для четырех групп интервалов (выборок) сведены в отдельную таблицу (табл. 2), а величины ΣR_n отображены также на диаграмме (рис. 2).

Таблица 2. Величины парных коэффициентов корреляции каждого рудогенного элемента (ΣR_n) и величины их сумм (Σ)

№ группы	ΣR_n Au	ΣR_n As	ΣR_n Bi	ΣR_n Ag	ΣR_n Cu	ΣR_n Co	ΣR_n Pb	ΣR_n Ni	ΣR_n Zn	Σ
1	1,27	2,21	1,49	2,92	2,83	3,27	0,99	2,84	2,51	20,33
2	1,73	1,35	2,15	2,57	2,93	3,19	1,80	2,44	2,62	20,78
3	0,83	0,58	1,69	2,45	1,33	2,97	1,86	2,54	2,56	16,81
4	0,63	-0,17	0,91	1,38	1,63	2,56	1,51	2,73	1,76	12,94

Примечания: **группа 1** – рудные интервалы скважин с сильной корреляционной связью Au с As; **группа 2** – рудные интервалы скважин с сильной корреляционной связью Au как с Bi, так и с As одновременно; **группа 3** – рудные интервалы скважин с сильной корреляционной связью Au с Bi; **группа 4** – рудные интервалы скважин со слабой корреляционной связью Au как с Bi, так и с As. Жирным шрифтом отмечены максимальные значения ΣR_n рудогенных элементов из рудных интервалов.

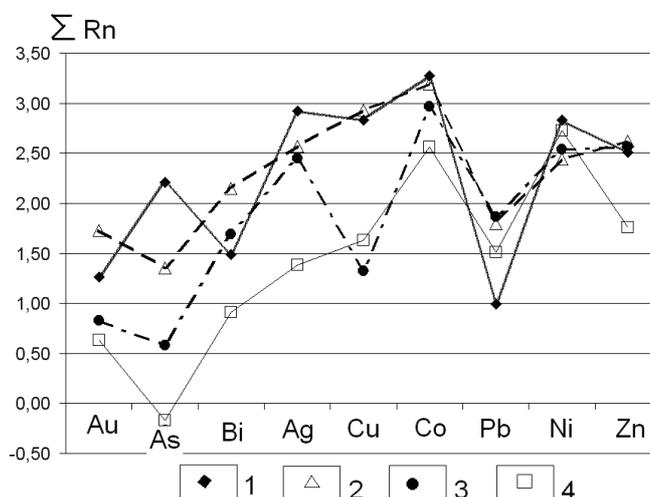


Рис. 2. Диаграмма распределения сумм парных коэффициентов корреляции (ΣR_n) рудогенных элементов для выявленных четырех групп рудных интервалов с различной связью золота: группы 1–4 – см. в примечании к таблице 2.

Наибольшее значение параметра Σ (20,78) (см. табл. 2) фиксируется для рудных интервалов, в которых наблюдается сильная связь золота с мышьяком и висмутом одновременно, то есть там, где, на наш взгляд, происходит телескопирование двух минеральных ассоциаций. Кроме того, интервалы с наибольшим значением Σ , по сравнению с другими рудными интервалами, характеризуются также максимальными значениями ΣR_n Au = 1,73 и ΣR_n Bi = 2,15; причем висмут образует сильные связи со всеми рудогенными элементами (см. табл. 1, группа 2)). Висмут присутствует в составе минералов обеих минеральных ассоциаций и, следовательно, его сильные связи со всеми рудогенными элементами также свидетельствуют в пользу того, что эти интервалы являются участками телескопирования минеральных ассоциаций. Эти же интервалы характеризуются наибольшим количеством сильных корреляционных связей (25 из 36 (см. табл. 1, группа 2)).

Интервалы рудных тел, в которых отмечается сильная связь золота с мышьяком, то есть там, где, по-видимому, происходит отложение более ранней арсенопирит-лёллингитовой ассоциации с телуридами висмута, самородным висмутом и тонкодисперсным низкопробным золотом, характеризуются меньшим значением Σ (20,33) (см. табл. 2). Сильных корреляционных связей в корреляционной матрице рудогенных элементов из этих интервалов также меньше – всего 16 (см. табл. 1, группа 1). Для мышьяка, по сравнению с

рудными интервалами других групп, наблюдается самое высокое значение $\sum R_n$ (2,21). Мышьяк входит в состав арсенопирита и лёллингита. Кроме мышьяка, самые высокие значения $\sum R_n$ в данной группе интервалов отмечаются для никеля (2,84), кобальта (3,27) и серебра (2,92). Высокие значения $\sum R_n$ никеля и кобальта именно для данной группы интервалов говорят о том, что часть никеля и кобальта в виде изоморфной примеси также входит в состав тех же арсенопирита и лёллингита. Следует отметить, что для рудопроявлений золото-мышьякового типа на Украинском щите, к которым, как мы уже отмечали, по ряду признаков может быть отнесено Губовское золоторудное проявление, вообще характерна «зараженность» никелем и кобальтом. Они могут образовывать как самостоятельные минералы (кобальтин, брейтгауптит, пентландит), так и входить в виде изоморфной примеси в породообразующие и рудные минералы.

Участки рудного тела, для которых отмечается сильная связь золота с висмутом, то есть там, где, по нашим представлениям, происходит отложение поздней полисульфидной ассоциации с теллуридами висмута, самородным висмутом и высокопробным золотом, характеризуются еще меньшей, по сравнению с выше охарактеризованными интервалами, величиной суммарного значения парных коэффициентов корреляции ($\Sigma = 16,81$) (см. табл. 2) и поэтому, по-видимому, являются менее продуктивными на золото. Для этих интервалов отмечается самое высокое значение $\sum R_n$ для свинца (1,86) (см. табл. 2), что также свидетельствует в пользу того, что эти участки являются местами преимущественного отложения поздней полисульфидной ассоциации, в состав которой входит сульфид свинца – галенит. Галенит же, как известно, отлагается ближе к концу процесса минералообразования, близко по времени отложения к теллуридам висмута и самородному висмуту. Самородный висмут может образовывать с поздним высокопробным золотом совместные тесные сростания, вплоть до мирмекитоподобных [2]. Количество существенных корреляционных связей между рудогенными элементами в данных интервалах также уменьшается по сравнению с вышеописанными интервалами до 15 (см. табл. 1, группа 3), что также отражает меньшую продуктивность данных участков.

И, наконец, наименьшее значение Σ , равное 12,94, отмечается для совокупной выборки интервалов с несущественной связью золота с висмутом и мышьяком, то есть, по-видимому, для участков со слабой рудоносностью. Внутри указанной выборки, после объединения интервалов с несущественной связью золота с висмутом и мышьяком, тем не менее, проявилась существенная связь золота с мышьяком (коэффициент корреляции золота с мышьяком равен 0,27) (см. табл. 1, группа 4). Это еще раз свидетельствует о том, что связь золота с мышьяком на рудопроявлениях данного типа настолько генетически глубокая, что проявляется на всех стадиях рудного процесса, включая участки слабой интенсивности оруденения. Выборка проб из интервалов с несущественной связью золота с висмутом и мышьяком характеризуется, по сравнению с предыдущими, максимальным количеством наименьших значений $\sum R_n$ для всех рудогенных элементов (см. табл. 2), что отражено на диаграмме (рис. 2).

Для наглядного представления корреляционных связей внутри выявленных четырех групп рудных интервалов построены кластерные дендрограммы (Statistica 6.0, метод полных связей) (рис. 3).

Дендрограмма на рисунке 3,а отражает четкое разделение рудогенных элементов на два главных обособленных кластера. В первый кластер входит золото, мышьяк и висмут, а во второй – медь, серебро, кобальт, никель и цинк. Наличие двух кластеров отражает существование двух разных минеральных ассоциаций: арсенопирит-лёллингитовой и полисульфидной. Золото образует наиболее сильную связь с мышьяком и несколько меньшую – с висмутом. Минералогически Au-As-Vi кластер соответствует ранней рудной ассоциации – арсенопирит-лёллингитовой с тончайшими включениями тонкодисперсного низкопробного золота, теллуридов висмута и самородного висмута. Полиметаллический кластер разделяется в свою очередь на два меньших, с сильной корреляционной связью – Zn-Ni-Co и Cu-Ag. Элементы Ni, Co, Ag и Au входят в состав минералов обеих ассоциа-

цій. Ni і Co образують ізоморфну примісь в арсенопириті, леллінгіті, халькопириті, пирротині, а також входять в склад пентландита, образуючого мельчайшие выделения (структури распада) в пирротині [2]. Вхожденіє Ni і Co в поліметаллический кластер відображає їх більше тяготеє в даній вибірці до мінералів полісульфідної асоціації. Сильна зв'язь Cu-Ag дозволяє думати про існуванні в складі руд Губовського рудопроявлення ще не діагностованого мінерала, існуючого в своєму складі мідь і срібло. Свинець однаково слабо тяготеє до вказаним двома кластерам, хоча його виділення (в складі галеніта) відбувається лише в складі пізньої асоціації. Причиною тяготеє свинця до двома кластерам, по-видимому, є зв'язь свинця з виступом, виділяючимся в формі самородного виступу і теллуридів виступу, в складі обох мінеральних асоціацій. Отсюди і зв'язь свинця з цими двома кластерами, відображаючими дві мінеральні асоціації, то є виступ «тягне» за собою свинець в несвойственный для нього кластер елементів ранньої мінеральної асоціації.

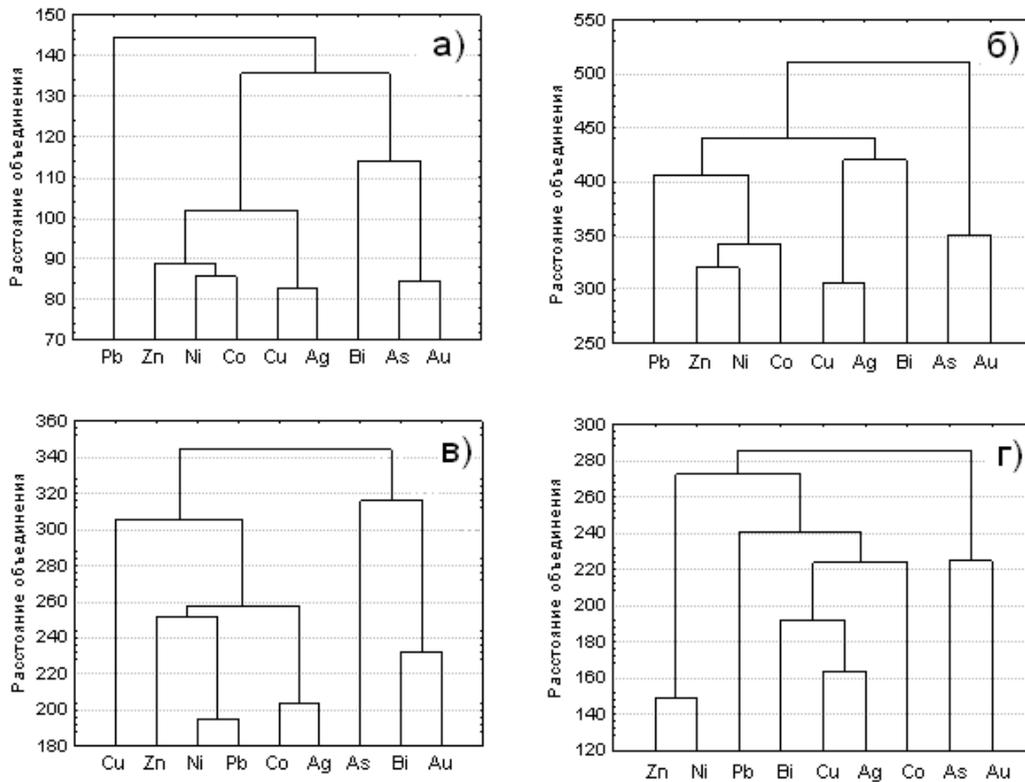


Рис. 3. Дендрограми кореляційних зв'язей рудогенних елементів Губовського золотопроявлення: *а* – група 1, з сильною зв'яззю Au-As; *б* – група 2, з сильною зв'яззю Au як з As, так і з Bi; *в* – група 3, з сильною зв'яззю Au з Bi; *г* – група 4, з несуттєвою зв'яззю Au як з As, так і з Bi.

Дендродіаграма на рисунку 3,б показує розділення на два основні кластери – Au-As і поліметаллический, з входять до нього виступом, які відображають існування двох мінеральних асоціацій. Тяготеє виступу до поліметаллическому кластеру може говорити про його переважному відкладенні саме в складі пізньої, полісульфідної асоціації. І, навпаки, обособлення золота в єдиний кластер з міддю може розглядатися на користь того, що переважаюча частина золота зв'язана з ранньою арсенопирит-леллінгітовою асоціацією. Інакше кажучи, найбільше кількість золота відклали в складі ранньої арсенопирит-леллінгітової асоціації, а найбільше кількість виступу – в складі пізньої полісульфідної асоціації.

Дендродіаграма на рисунку 3,в відображає кореляційні зв'язі всередині групи 3, яка мінералогічно відповідає ділянкам переважного відкладення пізньої полісульфідної асоціації з пізнім високопробним вільним золотом, теллурида-

ми висмута и самородным висмутом. Здесь, также как и в группе 1, наблюдается четкое разделение на два кластера – полиметаллический и Au-Bi-As, однако, в отличие от группы 1, золото имеет сильную связь с висмутом. Тяготение мышьяка к «сильному» кластеру Au-Bi может объясняться как присутствием на данных участках в подчиненном количестве минералов ранней, арсенопирит-лёллингитовой ассоциации, так и наличием генетической связи золота с мышьяком.

На дендрограмме (рис. 3,2) отображены связи рудогенных элементов внутри группы 4. Несмотря на то, что данная группа объединяет рудные интервалы со слабыми связями золота с мышьяком и висмутом, результаты анализа корреляционных связей совокупной выборки рудных интервалов этой группы выявляется достаточно значимая связь золота с мышьяком, выразившаяся в обособлении их в совместный кластер, что еще раз подтверждает генетическую связь золота с мышьяком.

Таким образом, кластерный анализ, в дополнение к корреляционному, выявил некоторые дополнительные черты поведения рудогенных элементов в процессе рудообразования.

Выводы

1. Выявленные при помощи корреляционного и кластерного анализов геохимические связи золота с другими элементами-индикаторами рудоносности подтверждают существование на Губовском золоторудном проявлении двух основных продуктивных на золото минеральных ассоциаций – ранней, арсенопирит-лёллингитовой с тонкодисперсным низкопробным золотом, теллуридами висмута и самородным висмутом и более поздней, полисульфидной с высокопробным свободным золотом, теллуридами висмута и самородным висмутом.

2. Исходя из значений алгебраической суммы парных коэффициентов корреляции матрицы (Σ), можно предполагать, что наиболее продуктивными на золото являются участки телескопирования двух основных разновременных минеральных ассоциаций. Для этих участков отмечается наибольшее значение Σ , равное 20,78. Менее продуктивны участки отложения ранней арсенопирит-лёллингитовой ассоциации с тонкодисперсным низкопробным золотом, теллуридами висмута и самородным висмутом ($\Sigma = 20,33$). И наименее продуктивны участки отложения поздней полисульфидной ассоциации с высокопробным свободным золотом, теллуридами висмута и самородным висмутом ($\Sigma = 16,81$).

3. Исходя из значений коэффициентов корреляции золота с висмутом и мышьяком, ΣRn золота, сумм парных коэффициентов корреляции матриц (Σ), анализа кластерных дендрограмм для разных рудных интервалов, можно предположить, что наибольшая часть золота отлагалась в составе ранней арсенопирит-лёллингитовой ассоциации и сосредоточена в виде тонкодисперсных включений в матрице минералов – арсенопирите и лёллингите. Наибольшая часть висмута, напротив, отлагалась в составе поздней полисульфидной ассоциации.

4. Само наличие участков как отдельного, так и совместного отложения разновременных минеральных ассоциаций свидетельствует о том, что рудное тело практически не эродировано и существует перспектива для его разработки на глубину.

В заключение необходимо отметить, что в данной работе использовались данные пробирного анализа золота, которые могут занижать концентрацию золота тонких классов минимум в 2,5 раза [9]. Для определения и выделения всего количества подобного золота необходимо использование соответствующих технологий.

1. Силичев М.К. Полнота геохимических связей как показатель интенсивности оруденения // Методы интерпретации результатов литохимических поисков. – М.: Наука, 1987. – С. 123–128.
2. Яценко Г.М., Гайовський О.В., Сливко Є.М. та ін. Металогенія золота протоплатформених структур Українського щита (Кіровоградський блок). – Київ: Логос, 2009 – С. 47–70.

3. Яценко Г.М., Бабынин А.К., Гурский Д.С. и др. Месторождения золота в гнейсовых комплексах докембрия Украинского щита. – Киев, Геоинформ, 1998. – 136 с.
4. Бондаренко С.М. Золоторудна мінералізація західної частини Українського щита / Дисер. на здоб. ступ. канд. геолог. наук. – Київ, 2009. – 205 с.
5. Галій С.А., Ширінбеков Н.К. Генетичні особливості золоторудної мінералізації центральної частини Українського щита // Мінерал. збірник. – 1993. – № 46, вип.1. – С. 39—50.
6. Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973. – 254 с.
7. Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. – М.: Наука, 1991 – 302 с.
8. Рундквист Д.В. Фактор времени при формировании гидротермальных месторождений: периоды, эпохи, этапы и стадии рудообразования // Геол. рудн. месторождений. – 1997. – **39**, №1. – С. 11—24.
9. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. – С. 270—274.
10. Конеев Р.И. Наноминералогия золота. – С.-П.: Дельта, 2006 – 109 с.

Заборовська Л.П., Фомін Ю.О., Заборовський В.С., Покалюк В.В., Братчук О.М. МІНЕРАЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ГУБІВСЬКОГО РУДОПРОЯВУ ЗОЛОТА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Виявлено геохімічні особливості поведінки основних рудогенних елементів (Au, As, Bi, Ag, Ni, Co, Cu, Pb, Zn) головного рудного тіла Губівського рудопрояву золота на основі методів багатовимірної статистики (рангова кореляція та кластерний аналіз). Встановлено, що найбільш продуктивними на золото є ділянки телескопування двох різночасових мінеральних асоціацій – ранньої, арсенопірит-леллінгітової з тонкодисперсним низькопробним золотом, і пізньої, полісульфідної з вільним високопробним золотом.

Zaborovskaya L.P., Fomin Yu.O., Zaborovskiy V.S., Pokalyuk V.V., Bratchuk O.N. MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF THE GUBOVKA GOLD ORE MANIFESTATION OF UKRAINIAN SHIELD

Some geochemical peculiarities of the behavior of major ore elements (Au, As, Bi, Ag, Ni, Co, Cu, Pb, Zn) of the main ore body of the Gubovka gold ore manifestation (Kirovograd block, Ukrainian shield) were determined by the methods of multivariate statistics (rank correlation and cluster analysis). It was found that the sections of telescoping of two different in time mineral associations – early, arsenopyrite-lellingite with fine low-grade gold and later, polysulfide with free high-grade gold are the most productive in gold.