

В. ПЕТЕРСЕЛЛЬ

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ГЕНЕЗИСЕ СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ЯГАЛАСКОЙ ТОЛЩИ

В метаморфизованных и мигматизированных первично-осадочно-вулканогенных породах ягалаской толщи широко распространена сульфидная минерализация (Петерселль, 1974). Она представлена сингенетической вкрапленностью и ее перекристаллизованными и переотложенными в процессах метаморфизма разновидностями первой стадии, а также секущими прожилками второй стадии. Сульфидная минерализация образована пирротинном, пиритом, реже халькопиритом, сфалеритом, редко галенимом, молибденитом, марказитом и другими минералами и обычно сопровождается аномальными содержаниями в породе Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Mo, F, Au и других элементов.

Фоновые содержания микроэлементов в разновидностях пород ягалаской толщи близки к кларковым (Кивисилла и др., 1974, табл. 1). В них нередко преобладает свойственная для спилит-кератофировой формации ассоциация элементов. В первично-вулканогенных породах толщи выделяются более основные разновидности — биотит-амфиболовые гнейсы — с аномальным содержанием и дисперсией Cr, Co, Ni, Cu и других элементов, а также более кислые разновидности — кварц-полевошпатовые, биотитовые и частично амфибол-биотитовые гнейсы — с аномальным содержанием Cu, Mo, Zn и иногда Au.

В более кислых разновидностях пород содержания Ni и Co становятся фоновыми, а их отношение уменьшается. Аномальные содержания микроэлементов в основном приурочены к отдельным пластам или участкам гнейсов, в которых нередко наблюдается сингенетическая вкрапленность сульфидов или ее перекристаллизованные и переотложенные разновидности. Аномальные содержания Ni, Co, Mo и других элементов не всегда сопровождаются вкрапленностью сульфидов. В ряде случаев эти аномалии, в первую очередь Cr, Ni и Co, вызваны прослоями более основных пород, но в некоторых скважинах аномальное содержание Ni, Mo и других элементов нельзя объяснить изменчивостью кислотности пород. Как показали анализы мономинеральных фракций биотитов из пород таких скважин, большая часть рудных элементов сконцентрирована здесь именно в биотитах.

Слои вулканогенных пород, в которых геохимические аномалии Ni, Cu, Zn, Mo, реже Co, Pb и Au сопровождаются явной сингенетической вкрапленностью сульфидов или концентрацией их в биотите, как правило, не отличаются гидротермальными или другими изменениями пород, свидетельствующими о наложенном характере минерализации. Содержание микроэлементов в пирротине и пирите из этих пород приведено в табл. 1, откуда видно, что различия содержаний микроэлементов в

Содержание микроэлементов в мономинеральном пирротине и пирите из пород ягалаской толщи

Номера скважин	Минералы	Стадия	Количество анализов	Элементы, г/м																								
				Ni			Co			Cu			Pb			Zn			Ag			As			Cr			Ni : Co
				от	до	\bar{x}	от	до	\bar{x}	от	до	\bar{x}	от	до	\bar{x}	от	до	\bar{x}	от	до	\bar{x}	от	до	\bar{x}	от	до	\bar{x}	
Ф-110	Пирротин из мелкозернистых графитсодержащих гнейсов	Сингенетическая вкрапленность I генерации	3	70	300	160	40	60	49	80	100	86	0,9	2	1,2	60	200	130	0,5	1	0,71	—	30	—	100	200	160	3,3
Ф-110	Пирротин из мигматизированных графитсодержащих гнейсов	Сингенетическая вкрапленность II генерации	6	200	500	350	15	60	40	20	300	72	0,2	20	0,56	100	800	240	0,6	3	1,1	—	—	—	10	400	66	8,8
Ф-102, Ф-113	"	"	2	50	500	160	40	50	45	200	400	280	0,1	0,8	0,28	80	100	89	0,5	1	0,71	30	30	30	60	100	78	3,6
Ф-108	Пирротин из биотит-амфиболовых гнейсов	Сингенетическая вкрапленность I и II генераций	2	40	40	40	10	10	10	40	200	89	0,1	0,1	0,1	80	100	89	0,4	0,4	0,4	—	—	—	10	60	24	4,0
Ф-107	"	"	2	90	600	230	60	80	69	400	400	400	0,2	0,7	0,38	40	100	64	0,6	0,9	0,73	—	30	—	100	300	170	3,3
Ф-104	"	"	1	—	—	200	—	—	100	—	—	60	—	—	1	—	—	600	—	—	0,9	—	—	—	—	—	700	2,0
Ф-113	Пирротин из мигматизированных глиноземистых гнейсов	Секущие прожилки рудной генерации	1	—	—	1000	—	—	30	—	—	500	—	—	400	—	—	700	—	—	1	—	—	—	—	—	10	33,3
Ф-113	Пирит из мигматизированных глиноземистых гнейсов	"	1	—	—	200	—	—	50	—	—	200	—	—	600	—	—	80	—	—	4	—	—	—	—	—	300	4
Ф-108	Пирит из амфибол-биотитовых гнейсов	Секущие прожилки и вкрапленность рудной генерации	2	20	100	47	30	50	39	200	600	380	90	200	130	100	200	140	1	10	3,2	—	5000	—	200	200	200	1,2
Ф-112	Пирит из пегматонидных гранитов	"	1	—	—	50	—	—	90	—	—	60	—	—	400	—	—	5000	—	—	40	—	—	200	—	—	100	0,56
Ф-110	Пирит из глиноземистых гнейсов	Секущие прожилки «безрудной» генерации	7	10	300	81	15	40	21	1	6	1,4	1	20	8,1	—	40	~ 3,2	0,5	2	0,78	—	—	—	90	200	110	3,8

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории ТПИ на спектрографе ДФС-8 ответственным аналитиком Хельви Хёдреярв.

Содержание микроэлементов в основных типах пород ягалаской толщи

Породы	Номера скважин	Количество проб	Cr		Co		Ni		Cu		Pb		Zn		Mo	
			\bar{x}	ε	\bar{x}	ε	\bar{x}	ε	\bar{x}	ε	\bar{x}	ε	\bar{x}	ε	\bar{x}	ε
А. Первично-вулканогенные																
Гнейс кварц-полевошпатовый от мелко- до среднезернистого	Ф-111	79	13	1,31	—	—	—	—	13	1,62	19	1,42	51	1,51	3,3	2,55
Гнейс биотитовый среднезернистый, участками с амфиболом	Ф-104	23	39	1,29	11	1,17	~ 10	—	12	1,67	8,7	1,30	210	1,32	16	3,34
Гнейс амфибол-биотитовый среднезернистый	Ф-104	29	33	1,16	12	1,09	~ 11	—	17	1,59	10	1,74	160	1,30	2,0	2,00
Гнейс биотитовый среднезернистый	Ф-108	22	18	1,39	8,8	1,36	12	1,17	33	2,00	8,7	1,26	86	1,28	~ 3	—
Гнейс амфибол-биотитовый среднезернистый	Ф-108	30	27	1,33	10	1,30	13	1,23	21	2,00	8,3	1,21	100	1,40	~ 2	—
Гнейс биотитовый от мелко- до среднезернистого	Ф-116	27	120	3,24	9,5	1,32	16	1,93	21	1,93	16	1,44	73	1,26	—	—
Гнейс амфибол-биотитовый от мелко- до среднезернистого	Ф-116	78	420	2,45	14	1,28	58	1,90	23	2,17	12	1,33	85	1,14	—	—
Гнейс биотит-амфиболовый от мелко- до среднезернистого	Ф-116	25	660	2,58	20	1,40	120	2,33	23	1,82	13	1,31	83	1,20	—	—
Б. Первично-осадочные																
Гнейс биотитовый мелкозернистый	Ф-102 Ф-113	86	130	1,38	15	1,27	28	1,46	31	2,30	18	1,61	190	1,31	—	—
Гнейс биотитовый, участками графит-содержащий мелкозернистый	Ф-110	27	70	2,00	11	1,36	32	2,06	43	1,87	16	2,62	220	2,14	2,2	2,95
Гнейсы графит- и сульфидсодержащие от мелко- до среднезернистых	Ф-110	21	91	1,41	21	1,72	122	1,67	105	1,29	22	2,44	310	1,27	17	2,96
Гнейсы графит- и сульфидсодержащие, с кордиеритом, сильно мигматизированные	Ф-110	9	73	1,39	17	1,66	114	1,81	88	1,38	25	1,77	261	1,90	16	2,52
В. Черные сланцы Фенно-скандии																
а) района Куопио (Lonka, 1967)		10	167		29		101		90		16		93		—	
б) Лампинсаарского рудного комплекса (Wennervirta и др. 1970)*																
пр. 90		2	—		20		100		76		11		220		—	
пр. 2100		12	—		28		260		150		48		700		—	

* Среднеарифметическое содержание.

пирротинах объясняется в первую очередь неоднородностью первичного состава рудного вещества, а также перераспределением его в процессах метаморфизма. Если сопоставить содержания микроэлементов в этих пирротинах с их содержанием в пирротинах из сингенетических высокометаморфизованных руд и из субвулканических гидротермальных руд (Цамбел и др., 1971), то выясняется, что они занимают промежуточное положение между этими типами пирротинов. Имея в виду сказанное, а также учитывая характер сульфидной минерализации, вполне правдоподобно объяснить, что накопление рудного вещества в вулканогенных породах происходило одновременно с вулканической деятельностью.

Уровень содержаний Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Zn и Mo в первично-осадочных гнейсах толщи обычно занимает промежуточное положение между содержанием этих элементов в более основных и в более кислых разновидностях вулканогенных пород. Исключение составляют только графит- и сульфидсодержащие гнейсы, в которых содержание указанных элементов явно аномальное и наиболее близко к содержанию их в глубоководных глинистых осадках (табл. 2). Аналогично породам вулканогенного ряда в осадочных гнейсах выделяются слои и участки с аномальным содержанием элементов, которые в большинстве случаев сопровождаются явной сульфидной вкрапленностью или прожилками.

Содержание и распределение микроэлементов в графит- и сульфидсодержащих разновидностях глиноземистых гнейсов изучены в скважине Ф-110 (Ягала). Здесь в темно-серых микро- и мелкозернистых (0,1—0,5 мм) гнейсах (табл. 2) количество микроэлементов превышает фоновое в 2—3 и более раз и приближается к содержанию этих элементов в черных сланцах открытой части Балтийского щита. Повышенные концентрации Cr, Co, Ni, Cu, Zn и Mo отмечаются в микро- и мелкозернистых немигматизированных разновидностях пород, т. е. в слоях с развитой сингенетической сульфидной минерализацией первой генерации первой стадии (Петерселль, 1974).

В мигматизированных разновидностях, где преобладает перекристаллизованная и переотложенная сингенетическая сульфидная минерализация, содержание этих элементов несколько ниже, а содержание Pb и Ba несколько выше. Такое распределение элементов, увеличение дисперсии и отношения Ba : Sr с одновременным повышением содержания Ba и уменьшением Sr в мигматизированных разновидностях графитсодержащих гнейсов позволяет предполагать, что мигматизация происходила с привносом щелочно-кислого материала из более глубоких зон гранитизации или из других источников и вызывала уменьшение или увеличение содержаний и перераспределение элементов. Вероятность такого предположения подтверждается также различиями в содержании микроэлементов в пирротине первой и второй генераций (табл. 1). Увеличение отношения Ni : Co в пирротине второй генерации в скважине Ф-110 указывает, по-видимому, на тот факт, что образование сульфидов шло путем метаморфогенной перекристаллизации и перераспределения сульфидов первой генерации при более высоких температурах, в результате чего Ni сконцентрировался в пирротине (Цамбел, и др., 1971). Метаморфической перекристаллизацией и перераспределением объясняется, видимо, также образование редких включений пентландита в пирротине второй генерации и крайне неравномерное содержание халькопирита, сфалерита и других сульфидов в породе. Вполне вероятно, что образование кристаллов молибденита связано также с метаморфической перекристаллизацией и перераспределением рудного вещества.

Наиболее контрастные аномалии Ni, Cu, Pb, Zn, Mo, а нередко также F и Au сопровождают интервалы керна с прожилковым типом оруденения или отдельные участки графитсодержащих гнейсов с высокой, явно наложенной, концентрацией сульфидов (Петерсэль, 1974). Содержания элементов в отдельных пробах из этих интервалов превышают в десять и более раз фоновое содержание и хорошо соответствуют составу рудной минерализации. Эти геохимические аномалии нередко имеют сложное строение. В их пределах график распределения элементов во вмещающих породах имеет зигзагообразную форму и им свойственно зональное распределение элементов. Последнее выражается прежде всего в изменчивости величины отношений линейной продуктивности Cu, Zn, Ni, Mo, F и других элементов, а также в зональном изменении контрастности аномалии. Обычно Zn образует наиболее широкие, но менее контрастные аномалии по сравнению с Cu, Pb и Mo. Аномалии F, хотя и контрастные, наиболее узкие и не всегда сопровождают аномалии упомянутых элементов.

Секущие прожилки сульфидов в зависимости от минералогического состава подразделяются на пиритовые и рудные (Петерсэль, 1974). Анализы мономинеральных фракций показывают, что пириты из «рудных» прожилков выделяются высоким содержанием Cu, Pb, Zn и Ag, а также As и более низким отношением Ni : Co (табл. 1). По этим показателям пириты наиболее близки к магматогенным гидротермальным пиритам и существенно отличаются от пиритов высокометаморфогенного генезиса (Цамбел и др., 1971). Несколько отличные содержания микроэлементов наблюдаются в пирите из скважины Ф-113 (табл. 1). Они наиболее близки к содержаниям этих элементов в пирротине из прожилков той же скважины. Если учесть, что в пирите из рудных прожилков этого района установлены реликты пирротина (Петерсэль, 1974), то вполне вероятно предположение об отнесении этих прожилков к высокометаморфогенным сульфидам, генетически связанным с перераспределением рудного вещества в ходе последней фазы метаморфизма и мигматизации.

При сопоставлении характера сульфидной минерализации (Петерсэль, 1974), средних содержаний и ассоциаций микроэлементов в вулканогенных породах и в немигматизированных или слабомигматизированных гнейсах осадочного генезиса видно их сходство друг с другом. Эти показатели в гнейсах осадочного генезиса занимают, за редкими исключениями, промежуточное положение между характерными для более основных и более кислых разновидностей вулканогенных пород. Принимая во внимание различия в характере миграции микроэлементов в процессах осадконакопления, напрашивается вывод, что основным источником рудного вещества в первично-осадочных породах ягальской толщи служила также вулканическая деятельность геосинклинальной стадии развития района. Принципиально к аналогичному выводу в смежных районах пришли П. Хегеманн (Vähätalo, 1953) при исследовании черных сланцев на территории Финляндии и А. А. Предовский и др. (1967) при изучении рудной минерализации в метаморфических толщах Приладожья.

В процессе метаморфизма и мигматизации, в зависимости от конкретных термодинамических условий и подвижности элементов (Чернов и др., 1970), это рудное вещество в пределах толщи перекристаллизовывалось и перераспределялось. Такой вывод подтверждается наличием пирротиновых прожилков, непосредственно связанных с перекристаллизованными сингенетическими скоплениями сульфидов и вкрапленностью сульфидов в мигматитобразующих гранитах.

Несколько иной характер носит прожилковый тип оруденения. Непосредственная связь прожилков с сингенетической вкрапленностью или другими источниками рудного вещества не установлена. Безрудные пиритовые прожилки, которые широко распространены и с которыми не связаны или развиты крайне слабо типичные околорудные изменения, видимо, приурочены к последним стадиям метаморфизма и мигматизации. Практической ценности они не представляют.

Наибольший поисковый интерес представляют «рудные» пиритовые прожилки, иногда с реликтами пирротина. Они характеризуются высокими содержаниями сульфидов Cu, Pb и Zn и обычно сопровождаются четкими гидротермальными изменениями вмещающих пород. По количественному и качественному содержанию в них микроэлементов пириты этих прожилков наиболее близки к пиритам гидротермального генезиса.

Геологи, изучавшие генезис сульфидных месторождений и рудопоявлений на открытой части Балтийского щита, не пришли в этом вопросе к единому мнению, хотя все признают наложенный характер оруденения. В частности, П. Эскола (Eskola, 1914), В. Вяхятало (Vähätalo, 1953), П. Гейер (1967), Л. Хюваринен (Hüväreinen, 1969) связывают сульфидные месторождения генетически с синорогенными гранитоидными интрузиями, Х. Веннервирта и др. (Wennervirta и др., 1970), Л. Грищенко и др. (1971) считают сульфидные руды генетически связанными с глубинными очагами, В. Мармо и др. (Marmo и др., 1951), М. Саксела (1959), Н. Магнусон (Magnusson, 1970) — с мобилизацией рассеянного рудного вещества в ходе метаморфизма и гранитизации. На основе интерпретации имеющегося материала есть основания предполагать, что наложенная сульфидная минерализация в ягалаской толще имеет сложную природу. Она связана генетически частично с мобилизацией и перераспределением рудного вещества внутри толщи, частично с более глубокими очагами метаморфизма и консолидацией ультраметаморфических гранитоидов (Глебовицкий и др., 1973) или же с нескрытыми к настоящему времени интрузиями.

ЛИТЕРАТУРА

- Гейер П. 1967. Докембрий Швеции. В кн.: Докембрий Скандинавии. М.
- Глебовицкий В. А. 1971. Проблемы эволюции метаморфических процессов в подвижных областях. Л.
- Грищенко Л. Н., Воинков Д. М., Ручкин В. Г., Тугаринов А. И. 1971. Изотопный состав серы сульфидов серноколчеданных месторождений Карелии и некоторые вопросы их генезиса. Геология рудных месторождений, XIII, № 2.
- Кивисилла Я. Я., Петерселль В. Х., Пуура В. А. 1974. О методике изучения и результатах оценки рудоносности кристаллического фундамента Эстонии по геохимическим данным, Минск, ИГГ АН БССР.
- Петерселль В. Х. О сульфидной минерализации в кристаллических породах ягалаской толщи. Изв. АН ЭССР, Хим. Геол., 23, № 2.
- Предовский А. А., Петров В. П., Беляев О. А. 1967. Геохимия рудных элементов метаморфических серий докембрия (на примере Северного Приладожья). Л.
- Саксела М. 1959. Происхождение руд Оутукумпу в свете тектонометаморфической мобилизации вещества. Новости зарубежной геологии, вып. II, ОНТИ, ВСЕГЕИ.
- Цамбел Б., Ярковский И. 1971. Геохимия никеля и кобальта в пирротинах различных генетических типов. В кн.: Геология и геохимия рудных месторождений. М.
- Чернов В. М., Инина К. А., Горьковец В. Я., Раевская М. Б. 1970. Вулканогенные железисто-кремнистые формации Карелии. Тр. Ин-та геологии Карельского филиала АН СССР, вып. 5. Петрозаводск.

- Eskola P. 1914. On the petrology of the Orijärvi region in south-western Finland, Bull. Comm. Géol. Finl., No. 36.
- Hüvärinen L. 1969. On the geology of the copper ore field in the Virtasalmi area, eastern Finland, Bull. Comm. Géol. Finl., No. 240.
- Lonka A. 1967. Trace-elements in the Finnish Precambrian phyllites as indicators of salinity at the time of sedimentation, Bull. Comm. Géol. Finl., No. 228.
- Magnusson N. 1970. The origin of the iron ores in Central Sweden and the history of their alternations, Sveriges geol. unders., No. 643.
- Marmo V., Mikkola A. 1951. On sulphides of the sulphide-bearing schists of Finland, Bull. Comm. Géol. Finl., No. 156.
- Vähätalo V. 1953. On the geology of the Outokumpu ore deposit in Finland, Bull. Comm. Géol. Finl., No. 164.
- Wennervirta H., Rouhunkoski P. 1970. Lithogeochemical aspects of the Vihanti zinc ore deposit, Finland, Economic Geology, 65, No. 5.

Управление геологии
Совета Министров Эстонской ССР

Поступила в редакцию
14/I 1974

V. PETERSELL

JÄGALA KIHTKONNA KIVIMITE SULFIIDSE MINERALISATSIOONI GEOKEEMIAST JA GENEESIST

Jägala kihtkonna metamorfiseerunud ja migmatiseerunud settelis-vulkanogeensete kivimite mikroelementidesisaldus on lähedane klargilisele. Küllalt sageli on neis jälgitav spiliit-keratofüüformatsioonile omane elementide assotsiatsioon. Vulkanogeensete kivimite reas esineb aluselisemate erimite vahekihte kõrgendatud Cr, Co, Ni, Cu ning hapumate erimite vahekihte kõrgendatud Cu, Zn, Mo jt. elementide sisaldusega. Tavaliselt on nendes vahekihtides jälgitav ka harv süngeneetiline sulfiidkülv. Settelise geneesiga kivimikihtide reas esinevad kõrge mikroelementide kontsentratsiooniga grafiiti ja sulfiide sisaldavad erimid (tab. 1), mis on rööbistatavad Balti kilbi mustade kiltadega.

Kontrastsemad anomaalsed Co-, Ni-, Cu-, Pb-, Zn-, Mo-, F- ja Au-sisaldused on seostunud lõikuvat tüüpi sulfiidse mineralisatsiooniga. Sageli on neile anomaaliatele omane tsonaalsus.

Erinevate staadiumide pürroitiini või püriidi mikroelementidesisaldus on samuti erinev (tab. 2). Lähtudes mikroelementidesisaldusest ja jaotusest kihtkonna kivimites, pürroitiinis või püriidis ning sulfiidse mineralisatsiooni iseloomust, võime süngeneetilise mineralisatsiooni siduda vaadeldava ala geosünkliinaalsel arenguperioodil aset leidnud vulkaanilise tegevusega, lõikuvat maagistumist aga pidada hüdrotermaalsesse tüüpi kuuluvaks.

V. PETERSELL

ON THE GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF THE SULPHIDE MINERALIZATION OF THE ROCKS OF THE JÄGALA FORMATION

The content of microelements in the metamorphized and migmatized sedimentary-volcanogenic rocks of Jägala formation is approximately of the Clarke type. The association of elements proper to the spilite-ceratophyre formation is frequently to be traced. Among the vulcanogenic rocks occur intercalations of more alkaline specimens with a heightened content of Cr, Co, Ni, Cu, as well as more acid ones with a heightened content of Cu, Zn, Mo, and other elements. In those intercalations, a syngenetic scarce sulphide is usually traceable. In the rocks of a sedimentary genesis occur graphite- and sulphide-containing specimens with a high concentration of microelements (Table 1), which can be compared to the black schists of the Baltic shield.

The more striking anomalous contents of Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Mo, F and Au are connected with the sulphide mineralization of an intersecting type. Zonality is a feature often proper to these anomalies.

The content of microelements in pyrrhotine or pyrite also fluctuates in different stages (Table 2). The amounts and distribution of microelements in the rocks, in pyrrhotine and pyrite, and the character of sulphide mineralization allow us to consider the syngenetic mineralization as being connected with the volcanic activity accompanying the geosynclinal period of development of the area, whereas the intersecting mineralization is of the hydrothermal type.