

УДК 553.411:550.824

Г.П. Дворник¹, Е.В. Имамутдинов²

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ ЗОЛОТА И
СЕРЕБРА В РУДАХ АНДРЕЕВСКОЙ И ИЛЬИНСКОЙ
МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ДАЕК ГРАНИТОИДОВ
БЕРЕЗОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Золотое оруденение Березовского месторождения представлено сульфидно-кварцевыми рудами в полосовых жилах и вкрапленными рудами в обрамляющих их зонах березитов в минерализованных дайках гранитоидов. Охарактеризованы качество основных типов руд в Андреевской и Ильинской дайках месторождения, ярусная вертикальная зональность в распространении золотого оруденения в дайках в интервале глубин 112-712 метров, исследованы амплитудная и частотная изменчивость в распределении содержаний золота и серебра в рудах в эксплуатационных блоках и корреляционные связи между ними.

Ключевые слова: дайки гранитоидов, сульфидно-кварцевые жилы, зоны березитов, зональность, золото и серебро, распределение содержаний.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.55

Первое в России и самое крупное на Урале по величине запасов Березовское золоторудное месторождение представлено серией минерализованных даек гранитоидов каменноугольного возраста среди интрузивных и вулканогенно-осадочных пород ордовика и силура. Гранитоидные дайки Березовского рудного поля объединяются в три меридиональные свиты [3, 7]: западную (дайки Елизаветинская, Первоначальная, Ольгинская и др.), центральную (дайки Перво-Павловская, Андреевская, Ильинская и др.) и восточную (дайки Леонтьевская, Борисовская, Ивановская и др.). Длина даек гранитоидов достигает нескольких километров при мощности 7-20 метров.

Золотое оруденение на месторождении развито в пределах минерализованных даек гранитоидов в «полосовых» сульфидно-кварцевых жилах мощностью от нескольких см до нескольких десятков см, во вкрапленных рудах в окаймляющих их зонах березитов мощностью 0,1-1 м и в «красичных» сульфидно-кварцевых жилах мощностью от нескольких см до 1,5 метров среди лиственитизированных ультраосновных и основных пород (серпентинитов, тальк-карбонатных метасоматитов, габбро, долеритов).

© Г.П. Дворник, Е.В. Имамутдинов, 2022

Рудная минерализация в сульфидно-кварцевых жилах представлена пиритом, блеклыми рудами, халькопиритом, галенитом, айкинитом, золотом, во вкрапленных рудах в березитах – пиритом и золотом. В кварцевых жилах Березовского месторождения выделяют четыре минеральные ассоциации: 1) анкерит-кварцевую; 2) золото-пирит-кварцевую; 3) золото-полиметаллически-кварцевую; 4) карбонатную [9, 13]. В распределении этих минеральных ассоциаций в пределах Березовского рудного поля установлена вертикальная эндогенная зональность [1, 15].

По сложности геологического строения Березовское золоторудное месторождение относится к 3 группе по классификации ГКЗ [14]. Балансовые запасы золота категорий C_1 и C_2 на месторождении были сосредоточены в полосовых сульфидно-кварцевых жилах (54 %), во вкрапленных рудах в березитах (43 %) и в красичных сульфидно-кварцевых жилах (3 %). По величине запасов золота Березовское месторождение относится к крупным объектам, за 250 лет эксплуатации на нем было добыто 340 тонн золота [2].

Объектом наших исследований являются рудные тела, оконтуренные в пределах Андреевской и Ильинской минерализованных даек гранитоидов. Для изучения качества основных типов руд (жильного и вкрапленного) были использованы данные геологической документации и эксплуатационного опробования в разведочных штреках, пройденных на разных горизонтах по простиранию даек в интервале глубин от 112 до 712 метров (табл. 1-2). Отбор проб на пробирный анализ на золото и серебро проводился на месторождении задириковым, точечным и бороздовым способами с учетом мощности руд при определении средних содержаний этих компонентов в эксплуатационных блоках. Оконтуривание подсчетных блоков производилось по бортовому содержанию золота 0,5 г/т при минимальном промышленном содержании – 1,3 г/т.

Оценка вариации качества золотого оруденения в эксплуатационных блоках по падению и простиранию минерализованных даек гранитоидов Березовского месторождения включала выделение по концентрации золота промышленных типов руд: богатых (более 10 г/т), рядовых (3-10 г/т) и бедных (0,5-3 г/т), определение значений золото-серебряного отношения и коэффициентов богатства, как отношения средних содержаний золота в основных типах руд и блоках к минимальному промышленному содержанию [4].

Для исследования амплитудной изменчивости концентраций золота и серебра в эксплуатационных блоках месторождения

использовалась вероятностно-статистическая модель, основной характеристикой которой является коэффициент вариации оценочного параметра. Оценка частотной изменчивости в распределении содержаний золота и серебра в блоках проводилась в результате сглаживания исходных данных опробования разведочных штреков с помощью пятичленного интерполяционного полинома по программе «Аппроксимация» и определения значений радиуса автокорреляции по геостатистической модели при преобладании случайной составляющей изменчивости концентраций полезных компонентов в рудах над ее закономерной составляющей [6, 10].

В пределах Андреевской и Ильинской минерализованных даек гранитоидов наилучшим качеством золотого оруденения, судя по процентному соотношению в блоках богатых, рядовых и бедных руд и значениям коэффициентов богатства, характеризуются полосовые сульфидно-кварцевые жилы (табл. 1). А для вкрапленного типа золотого оруденения в березитах свойственно резкое преобладание в процентном отношении бедных руд, более низкие значения коэффициентов богатства.

Характерным признаком многих гидротермальных золоторудных месторождений является вертикальная минералого-геохимическая зональность в размещении золотого оруденения [11-13]. Ее выявление имеет как научный интерес, так и практическое значение для прогнозирования и поисков золотого оруденения. В распределении параметров золотого оруденения (концентраций золота и серебра, продуктивности руд, мощности рудных тел) и окolorудных метасоматитов на 15 золоторудных месторождениях основных геолого-промышленных типов выделены три типа вертикальной рудно-метасоматической зональности: контрастный и неконтрастный градиентный и ярусный [8]. В результате проведенных нами ранее исследований в распределении золотого оруденения в минерализованных дайках гранитоидов Березовского месторождения (Елизаветинской, Перво-Павловской, Второ-Павловской, Соймановской и Соединенной), наиболее продуктивных по количеству разведанных запасов золота (68,8 %), была установлена ярусная вертикальная зональность [5]. По падению этих рудоносных даек в интервале глубин 112-712 метров по значениям рассчитанной для отдельных горизонтов месторождения линейной продуктивности выделяются от 2 до 3 уровней наибольшего площадного распространения промышленного золотого оруденения: в Перво-Павловской дайке на 262, 412 и 512 горизонтах, во Второ-Павловской дайке на 212 и 512 горизонтах, в Елизаветинской дайке на 162 и 262 горизонтах, в Соймановской и

Соединенной дайках на 212 и 512 горизонтах. А по простиранию рассмотренных даек гранитоидов в меридиональном направлении наилучшее качество золотого оруденения в них, исходя из процентного соотношения промышленных типов руд, средних значений коэффициентов богатства и золото-серебряного отношения, установлено в северной части месторождения.

Таблица 1
Качественная характеристика жильного и вкрапленного типов руд в дайках гранитоидов Березовского месторождения

Рудные тела	Горизонты, м	Блоки	Природные типы руд	Кол-во проб	Промышленные типы руд, %			Коэф-фициент богат-ства	Золото-се-ребряное отношение		
					бога-тые	рядо-вые	бедные				
Андреевская дайка	412	108	Жильный	54	35	30	35	17,50	-		
			Вкрапленный	24	-	-	100	0,96	-		
			Среднее	78	24	21	55	1,38	0,58		
		110	Жильный	26	39	46	15	15,90	-		
			Вкрапленный	38	-	-	100	0,33	-		
			Среднее	64	16	19	65	1,01	0,49		
		111	Жильный	73	21	23	56	8,35	-		
			Вкрапленный	26	-	-	100	0,33	-		
			Среднее	99	15	17	68	0,89	0,59		
		113	Жильный	23	40	30	30	12,32	-		
			Вкрапленный	19	-	-	100	0,56	-		
			Среднее	42	21	17	62	1,10	0,71		
		114	Жильный	27	48	11	41	16,51	-		
			Вкрапленный	24	-	-	100	0,41	-		
			Среднее	51	25	6	69	1,25	0,44		
		Ильинская дайка	314	102	Жильный	30	73	20	7	16,75	-
					Вкрапленный	19	-	16	84	1,75	-
					Среднее	49	45	17	38	2,92	0,53
				103	Жильный	38	68	24	8	16,12	-
					Вкрапленный	28	4	4	92	2,70	-
					Среднее	66	41	15	44	2,92	0,53
104	Жильный			45	60	33	7	20,74	-		
	Вкрапленный			35	-	3	97	0,96	-		
	Среднее			80	34	20	46	3,07	0,56		
105	Жильный			39	72	21	7	14,37	-		
	Вкрапленный			34	-	-	100	0,88	-		
	Среднее			73	38	11	51	1,95	0,56		
106	Жильный			29	31	14	55	11,84	-		
	Вкрапленный			30	-	3	97	0,46	-		
	Среднее			59	15	8	77	1,16	0,50		

Двухъярусная вертикальная зональность выявлена нами и в распределении золотого оруденения на 412 и 512 горизонтах в Андреевской дайке и на 314 и 512 горизонтах в Ильинской дайке (табл. 2), а отношение между максимальной и минимальной линейными продуктивностями руд на горизонтах в них составляет от 15,6 до 7,4. Среднее значение золото-серебряного отношения в рудах с увеличением глубины их залегания уменьшается. Распределение концентраций золота и серебра Березовского месторождения в пределах Андреевской и Ильинской минерализованных даек гранитоидов по амплитудной изменчивости, выраженной в значениях коэффициентов вариации изменяется от весьма неравномерного до крайне неравномерного (табл. 3, 4). Это обусловлено сложным характером проявления золотого оруденения в дайках гранитоидов, постоянным чередованием в разведочных штреках более богатых сульфидно-кварцевых руд в полосовых жилах и более бедных вкрапленных руд в березитах. В распределении содержаний золота и серебра в рудах в большинстве эксплуатационных блоков преобладает случайная составляющая изменчивости концентраций этих компонентов над ее закономерной составляющей. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокой частотной изменчивостью в распределении содержаний золота и серебра в разведочных штреках в пределах Андреевской и Ильинской даек, выраженной средними значениями их радиусов автокорреляции, выделяются горизонты с наибольшей концентрацией золотоносных сульфидно-кварцевых жил в эксплуатационных блоках и максимальной линейной продуктивностью руд (табл. 2-4).

Таблица 2

Качественная характеристика руд в дайках гранитоидов на разных горизонтах Березовского месторождения

Рудные тела	Горизонты	Количество проб	Промышленные типы руд, %			Кoeffициент богатства	Линейная продуктивность, г/т	Золото-серебряное отношение
			богатые	редкие	бедные			
Андреевская дайка	142	219	42	22	36	1,28	0,49	0,62
	175	172	37	20	43	1,12	0,24	0,37
	412	426	22	16	62	1,07	1,34	0,55
	462	593	22	19	59	1,29	0,78	0,58
	512	1019	16	16	68	1,02	1,56	0,48
	712	38	3	11	86	1,36	0,10	0,17
Ильинская дайка	112	107	24	18	58	0,93	0,24	0,54
	314	327	34	15	51	2,40	1,25	0,54
	412	134	26	31	43	1,12	0,28	0,27
	512	519	22	15	63	1,17	1,07	0,33
	712	110	4	11	85	1,24	0,17	0,17

Таблица 3

*Изменчивость распределения содержаний золота в рудах
на разных горизонтах Березовского месторождения*

Рудные тела	Горизонты, м	Блоки	Длина профиля (L, м)	Кол-во проб	Коэффициент вариации (V, %)	Изменчивость		Радиус автокор- реляции (Ra, м)	
						Законо- мер-ная	Случай- ная		
Андреевская дайка	175	106	96	74	206	0,34	0,49	2,1	
		107	76	62	196	0,23	0,56	1	
		Среднее		136	196-206			1,6	
	412	108	139	81	324	0,25	0,56	0,9	
		110	143	64	246	0,23	0,57	0,7	
		111	140	99	214	0,21	0,6	0,5	
		113	117	42	173	0,26	0,62	0,4	
		114	75	51	228	0,36	0,41	1	
		Среднее		337	173-324			0,7	
	462	111	137	181	225	0,33	0,48	0,4	
		112	108	131	285	0,38	0,39	1,7	
		113	119	155	199	0,29	0,55	0,4	
		114	78	79	170	0,24	0,62	1,8	
		Среднее		546	170-285			1,1	
	512	108	157	108	388	0,25	0,55	1,3	
		109	113	84	185	0,28	0,55	0,6	
		110	141	170	211	0,26	0,58	1,6	
		111	144	83	195	0,21	0,63	1,8	
		112	112	83	209	0,25	0,57	1	
		113	122	64	150	0,24	0,59	0,7	
		114	75	101	185	0,35	0,33	-	
		115	93	99	216	0,3	0,54	0,4	
		116	46	74	235	0,2	0,58	1	
		117	100	153	210	0,29	0,54	0,6	
		Среднее		588	150-388			0,9	
	112	96	69	30	148	0,5	0,37	-	
		97	99	77	206	0,38	0,52	1	
		Среднее		107	148-206			1	
	314	103	71	66	141	0,3	0,55	0,6	
		104	74	80	180	0,3	0,48	0,8	
		105	108	72	182	0,2	0,61	2,1	
		106	88	59	191	0,36	0,5	1,2	
		Среднее		277	141-191			1,2	
	Ильинская дайка	412	119	95	73	149	0,23	0,58	1,6
			107	95	94	221	0,36	0,51	1,8
		512	110	143	69	184	0,33	0,49	1,3
			112	125	112	213	0,32	0,51	0,4
			113	123	80	212	0,28	0,57	0,7
			117	82	100	193	0,28	0,57	0,4
			Среднее		455	184-221			0,9

Таблица 4

Изменчивость распределения содержаний серебра в рудах на разных горизонтах Березовского месторождения

Рудные тела	Горизонты, м	Блоки	Длина профиля (L, м)	Кол-во проб	Коэффициент вариации (V, %)	Изменчивость		Радиус автокорреляции (Ra, м)
						Закономерная	Случайная	
Андреевская дайка	412	108	139	56	116	0,28	0,53	1,3
		110	143	63	138	0,24	0,55	1,2
		111	140	85	111	0,28	0,56	0,6
		113	117	41	137	0,41	0,30	-
		114	75	51	136	0,22	0,58	1,0
		Среднее		296	111-138			1,0
	462	111	137	145	130	0,30	0,53	2,5
		112	108	111	143	0,27	0,52	1,4
		113	119	117	252	0,28	0,56	0,6
		Среднее		373	130-252			1,5
	512	108	157	76	226	0,28	0,55	0,7
		109	113	53	155	0,24	0,58	1,3
		110	141	114	269	0,25	0,54	1,3
		111	144	64	370	0,25	0,55	0,5
		112	112	75	272	0,24	0,55	2,5
		113	122	58	193	0,27	0,57	0,4
		114	75	53	382	0,43	0,25	-
		115	93	49	136	0,36	0,48	4,2
		117	100	112	164	0,22	0,59	1,6
	Среднее		654	136-382			1,4	
	Ильинская дайка	314	103	71	98	164	0,36	0,47
104			74	97	220	0,41	0,30	-
105			108	116	351	0,25	0,54	1,8
Среднее				311	164-351			2,3

Анализ корреляционных связей между содержаниями золота и серебра в рудах Андреевской и Ильинской даек (табл. 5.) показал, что характер зависимости между концентрациями этих компонентов в блоках изменяется в широких пределах от слабой до сильной положительной связи. Это обусловлено развитием в дайках гранитоидов двух продуктивных минеральных ассоциаций: ранней пирит-кварцевой и более поздней полиметаллически-кварцевой, различающихся по уровню концентрации в них золота и серебра.

Таблица 5

Корреляционные связи между содержаниями золота и серебра в рудах в дайках гранитоидов Березовского месторождения

Рудные тела	Горизонты, м	Блоки	Количество проб	Коэффициент корреляции
Андреевская дайка	412	114	51	0,70
		113	41	0,28
		111	84	0,33
		110	64	0,76
		108	56	0,56
	462	114	63	0,29
		113	115	0,13
		112	99	0,36
		111	143	0,34
	512	117	110	0,20
		116	34	0,77
		115	48	0,40
		114	52	0,90
		113	57	0,28
		112	74	0,36
		111	65	0,10
		110	109	0,34
		109	52	0,61
		108	70	0,90
		Ильинская дайка	314	103
104	95			0,18
105	110			0,74

Библиографический список

1. Бабенко В.В. Структурные условия и зональность оруденения Березовского месторождения // Изв. АН СССР, сер. геол. 1978. № 10. С. 114-126.
2. Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Солодов Н.А. Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов. М.: НИИ-ПРИРОДА, 1999. 220 с.
3. Бородаевский Н.И., Бородаевская М.Б. Березовское рудное поле. М.: Металлургиздат, 1947. 264 с.
4. Дворник Г.П. Горнопромышленная геология: учебное пособие / Г. П. Дворник – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 212 с.
5. Дворник Г.П., Шалагинова И.А., Кубакаева И.П. Распределение содержаний золота и серебра в минерализованных дайках гранитоидов Березовского золоторудного месторождения // Вестник Уральского отделения Российской минералогического общества. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010, № 7. С. 42-52.
6. Капустин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб.: Недра, 2002. 424 с.
7. Клейменов Д.А., Альбрехт В.Г., Ерохин Ю.В., Баталин А.С., Баталина А.А. Березовское золоторудное месторождение (история и минералогия): научное издание. Екатеринбург: ФГУИПП «Уральский рабочий», 2005. 200 с.

8. Константинов М.М., Варгунина Н.П., Косовец Т.Н. Минералого-геохимическая зональность золоторудных месторождений // Геология рудных месторождений. 1998. № 1. С. 20-34.
9. Кутюхин П.И. Условия локализации оруденения в жилах Березовского месторождения // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск, 1948. С. 249-275.
10. Мягков В. Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. М.: Недра, 1984. 126 с.
11. Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Бабенко В.В. Березовское месторождение золота – уникальный объект полихронного и полигенного рудообразования: научная монография / под редакцией В. Н. Огородникова. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 150 с.
12. Рундквист Д.В., Неженский И.А. Зональность эндогенных рудных месторождений. М.: Недра, 1975. 236 с.
13. Самарцев И.Т., Захваткин В.А., Казимирский В.Ф. О зональности Березовского золоторудного месторождения на Среднем Урале // Геология рудных месторождений. 1973. № 1. С. 110-117.
14. Сборник нормативных методических документов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. М.: ГКЗ, 1998. 319 с.
15. Чесноков Б.В. Эндогенная зональность Березовского рудного поля на Среднем Урале // ДАН СССР, 1973. Т. 210. № 4. С. 915-917.

DISTRIBUTION GOLD AND SILVER CONTENT IN THE ORES
ANDREEVSKOY AND IL'INSKOY MINERALIZED DIKES
GRANITOIDS BEREZOVSKOGO DEPOSIT

G.P. Dvornik, E.V. Imamutdinov

gpdvornik@yandex.ru

Gold mineralization Berezovskogo deposit presented sulfide-quartz ores in the land veins and disseminated ores in border their zone berezites in mineralized dikes granitoids. In the Andreevskoy and Il'inskoy dikes deposit defined quality basic types of ores and tier vertical zoning in distribution gold mineralization in the dikes in the intervals of depth from 112-712 metres. In operation blocks deposit researched amplitude and frequency changenability in distribution gold and silver content in ores and their correlative connections.

Keywords: dikes granitoids, sulfide-quartz veins, zone berezites, zoning, gold and silver, distribution content.