ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(11-1):54-65
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622:577.4 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-54-65

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА И ЗОНАЛЬНОСТИ РУД ГЛАВНОГО И ЗАПАДНОГО РУДНЫХ ТЕЛ ДЖЕЗКАЗГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И.И. Босиков[1], А.С. Выскребенец[1], А.В. Таскин[3], Е.В. Егорова[2]

[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия;
[2] Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия
[3] Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Аннотация: Исследование направлено на оценку эффективности проведения геохимическогоанализа качества и зональности руд Главного и Западного рудных тел Джезказганского месторождения. Поставлены следующие задачи: определить геохимическое сходство или различия методом линейных геохимических спектровполезного компонента; провести геохимическуюоценкуГлавного рудного тела Джезказганского медно-свинцово-цинкового месторождения;опредлить особенности геологического строения района, месторождения, рудного поля; выявить,статистистические параметры вмещающих, измененных пород и руд,корреляционные связи между главными элементами месторождения; зональность руд Главного рудного тела; геохимические поля распределения содержаний по главным элементам месторождения. Установлено, что традиционные технологии разработки смогли в некоторой степени остановить нисходящую тенденцию в добыче полезных компонентов. Тем не менее, эффект может быть не долгим, поэтому необходимопровестикомплексныйгеохимическийанализ качества и зональности руд и взаимосвязи состава, структуры, физических свойств и генетических особенностей минерального вещества с его технологическими свойствами Главного и Западного рудных тел Джезказганского месторождения для правильного выбора новых технологий добычи, базирующихся на более глубоких фундаментальных исследованиях.

Ключевые слова: оценка, анализ качества и зональности руд, эффективность, геохимический анализ, метод линейных геохимических спектров полезного компонента, технология разработки, рудное тело, месторождение, минеральный состав руд.

Для цитирования: *Босиков И.И., Выскребенец А.С., Таскин А.В., Егорова Е.В.* Комплексный анализ качества и зональности руд Главного и Западного рудных тел Джезказганского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11-1. — С. 54–65. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-54-65.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 14.575.21.0176 от 26.11.2018 г. Уникальный идентификационный номер RFMEFI57518X0176).

© И.И. Босиков, А.С. Выскребенец, А.В. Таскин, Е.В. Егорова. 2020.

I.I. Bosikov[1], A.S. Vyskrebenets[1], A.V. Taskin[3], E.V. Egorova[2]

Integrated ash content and quality analysis of the Main and Western ore bodies in Dzhezkazgan deposit

[1] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia;
[2] Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia
[3] Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract: The purpose of research. The study is aimed at assessing the effectiveness of a geochemical analysis of the quality and zonality of the ores of the Main and Western ore bodies of the Dzhezkazgan deposit. Research Objectives: determine the geochemical similarities or differences by the method of linear geochemical spectra of the useful component;geochemical assessment of the Main ore body of the Dzhezkazgan copper-lead-zinc deposit; to determine the features of the geological structure of the region, deposits, ore fields; determine the statistical parameters of the enclosing, altered rocks and ores; correlation between the main elements of the field; zoning of ores of the Main ore body; geochemical fields of distribution of contents over the main elements of the field. Research results. Traditional development technologies, which include a standard set of geological and technical measures, were able to some extent stop the downward trend in the extraction of useful components, but the effect may not be long and therefore, the need for a comprehensive geochemical analysis of the quality and zonality of ores and the relationship of composition, structure , physical properties and genetic characteristics of the mineral substance with its technological properties of the Main and Western ore bodies of the Dzhezkazgan deposit for rights ceiling elements selection of new production technologies, based on a deep fundamental research.

Key words: assessment, analysis of the quality and zonality of ores, efficiency, geochemical analysis, method of linear geochemical spectra of a useful component, development technology, ore body, deposit, mineral composition of ores.

For citation: Bosikov I.I., Vyskrebenets A.S., Taskin A.V., Egorova E.V. Integrated ash content and quality analysis of the Main and Western ore bodies in Dzhezkazgan deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):54-65. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-54-65.

Введение

Исследование направленно на оценку эффективности проведения геохимического анализа качества и зональности руд Главного и Западного рудных тел Джезказганского месторождения.

Для достижения цели решались следующие задачи: определить геохимическое сходство или различия методом линейных геохимических спектровполезного компонента; провести геохимическую оценку Главного рудного тела Джезказганского медно-свинцово-цинкового месторождения;опредлить особенности геологического строения района, месторождения, рудного поля; выявить,статистистические параметры вмещающих, измененных пород и руд, корреляционные связи между главными элементами месторождения; зональность руд Главного рудного тела; геохимические поля распределения содержаний по главным элементам месторождения.Техническая часть.Для сравнения руд участка Кресто и Анненский применялся метод линейных геохимических спектров. Исходными данными для построения спектров явились содержания в медноми свинцовом концентратах и рудах, определенных рентгенофлюорисцентным анализом [1 — 3].

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа по этим пробам приведены в табл. 1. По данным таблицы построены линейные геохимические спектры и проведено их сравнение (рис. 1, 2, 3). За эталон принят участок

Кресто, сравниваютсяспектры по главным элементам месторождения:в медном концентрате сравниваются по Cu, в свинцовом концентрате — по Pb, в руде — по Cu.

По данным спектрам видно, что Pb концентрат Главного рудного тела относительно Западного рудного тела обогащен Ag, S, Cd и обеднен Fe, Si, Zn, Mg, Mn, Ca, Al, Na, K, Ti, P, Cu.

Таблица 1

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

Table 1

Theresultsofx-rayfluorescenceanalysis

Медный концентрат			Свинцовый концентрат			Руда		
Элемент	Кресто	Аннен-ское	Элемент	Кресто	Аннен-ское	Элемент	Кресто	Аннен-ское
	содер.	содер.		содер.	содер.		содер.	содер.
Pb	53,42	46,37	Zn	41,9	49,49	Si	34,44	31,4
Ag*	21,92	16,7	Fe	14,51	15,03	Fe	29,12	25,59
Fe	16,11	17,59	Si	4,16	4,22	Pb	4,33	2,95
Si	7,99	7,72	Cu	4,03	4,79	Zn	3,06	2,8
Zn	6,15	7,04	Ag*	3,41	3,35	Mn	2,47	2,72
Mg	0,89	1,01	Mn	0,35	0,42	Mg	2,2	2,44
Mn	0,88	0,98	S	0,32	0,62	Ca	1,9	3,45
S	0,68	0,11	Mg	0,31	0,47	Ag*	1,63	1,14
Ca	0,66	1,1	Ca	0,16	0,54	Al	1,25	1,68
Al	0,27	0,5	Al	0,11	0,27	K	0,38	0,5
Na	0,1	0,78	Na	0,1	0,1	Na	0,1	0,1
K	0,1	0,13	K	0,1	0,1	S	0,077	0,18
Ti	0,041	0,11	Ti	0,018	0,028	Ti	0,063	0,066
Gd*	0,02	0,002	Gd*	0,01	0,012	P	0,01	0,044
P	0,01	0,038	P	0,01	0,03	Gd*	0,001	0,001
As	0,009	0,01	Re*	0,01	0,006	Re*	0,001	0,001
Re*	0,005	0,005	As	0,001	0,001	As	0,001	0,001
Примечание: все элементы содержание в %, со* г/т								

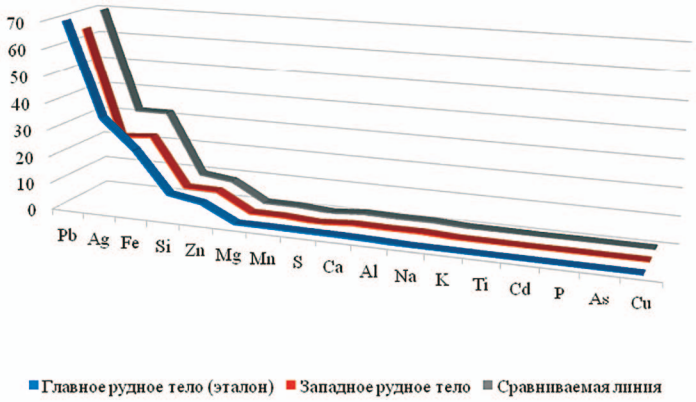

Рис. 1. Геохимические спектры Главного и Западного рудных тел (свинцовый концентрат)
Fig. 1. GeochemicalspectraoftheMainandWesternorebodies (leadconcentrate)

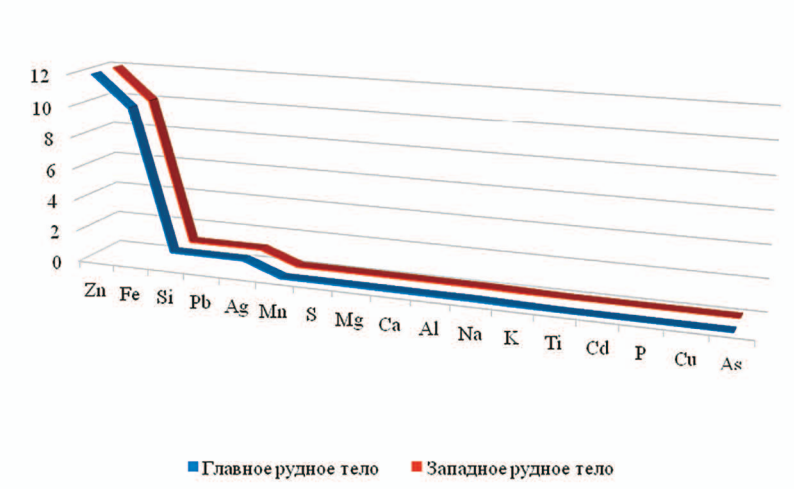

Рис. 2. Геохимические спектры Главного и Западногорудных тел (цинковый концентрат)
Fig. 2. GeochemicalspectraoftheMainandWesternorebodies(zincconcentrate)

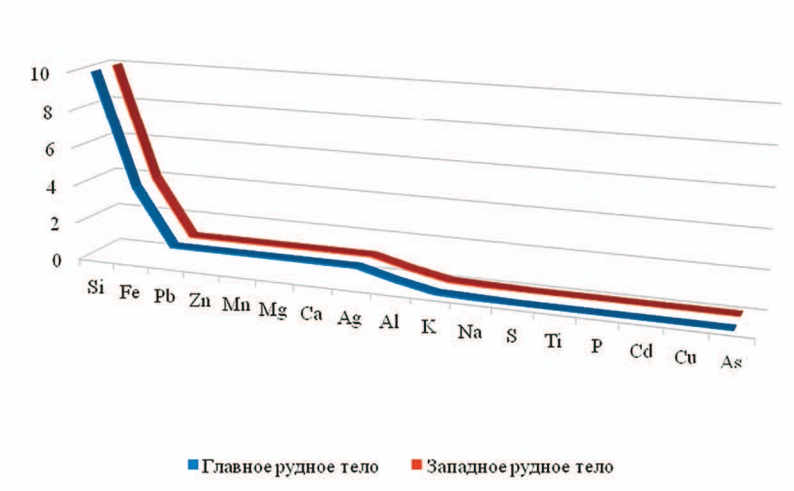

Рис. 3. Геохимические спектры рудГлавного и Западного рудных тел
Fig. 3. Geochemical spectra of ores of the Main and Western ore bodies

Данные спектры показывают, что Zn концентрат Главного рудного тела относительно Западного рудного тела практически не отличается. Концентрат Главного рудного тела обогащен Cu, и обеднен S, Mg, Ca, а такие элементы как Cd,Fe, Si, Zn, Mn, Ag, Al, Na, K, Ti, P находятся в одинаковом количестве.

На рис. 3 видно, что руда Главного рудного тела относительно Западного рудного тела практически не отличается. Руда Главного рудного тела обогащена Fe, S, и обеднена P, Ca, а такие элементы как Cd, Mg, Si, Zn, Mn, Ag, Zn, Al, Na, K, Ti, находятся в одинаковом количестве.

Главное рудное тело имеет более высокие содержания Cu и Ag и повышенные содержания Zn, то есть оно расположено преимущественно в пес-

чаниках. В Западном рудном теле наблюдаются повышенные содержания таких элементов, как Cu,Pb, Zn, следовательно, оно приурочено к карбонатным вмещающим породам.

Геохимическая зональность руд. Для расчета рядов зонального отложения используется метод расчета зонального отложения при помощи ранжирования элементов по средним центрам тяжести графиков парных отношений продуктивности [1—6].

Для выявления зональности по горизонтам в пределах Главного рудного тела были посчитаны средние содержания элементов (табл. 2).

Затем по формуле $Z_{\upsilon} = \frac{\sum_{i=1}^{f} \upsilon_i Z_i}{\sum_{i=1}^{f} \upsilon_i}$ посчитаны центры тяжести графиков парных отношений элементов:

$$Z_{Cu} = \frac{1\cdot 9.43 + 2\cdot 9.91 + 3\cdot 9.29 + 4\cdot 11.67 + 5\cdot 15.37 + 6\cdot 10.28 + 7\cdot 8.51 + 8\cdot 10.18}{9.43 + 9.91 + 9.29 + 11.67 + 15.37 + 10.28 + 8.51 + 10.18} = 4.52$$

$$Z_{Zn} = \frac{1\cdot 275.2 + 2\cdot 170.36 + 3\cdot 79.3 + 4\cdot 22.46 + 5\cdot 19.75 + 6\cdot 10.28 + 7\cdot 23.21 + 8\cdot 8.83}{275.2 + 170.36 + 79.3 + 22.46 + 19.75 + 10.28 + 23.21 + 8.83} = 2.2$$

$$Z_{Ag} = \frac{1\cdot 0.36 + 2\cdot 0.37 + 3\cdot 0.37 + 4\cdot 0.49 + 5\cdot 0.89 + 6\cdot 0.31 + 7\cdot 0.35 + 8\cdot 0.53}{0.36 + 0.37 + 0.37 + 0.49 + 0.89 + 0.31 + 0.35 + 0.53} = 4.5$$

$$Z_{Pb} = \frac{1\cdot 4.94 + 2\cdot 4.71 + 3\cdot 5.16 + 4\cdot 3.77 + 5\cdot 10.79 + 6\cdot 13.86 + 7\cdot 8.03 + 8\cdot 14.43}{4.94 + 4.71 + 5.16 + 3.77 + 10.79 + 13.86 + 8.03 + 14.43} = 5.44$$

$$Z_{Re} = \frac{1\cdot 35885.23 + 2\cdot 13036.89 + 3\cdot 14653.6 + 4\cdot 16275.39 + 5\cdot 6523.34 + 6\cdot 4185.77 + 7\cdot 1287.68 + 8\cdot 1046.86}{35885.23 + 13036.89 + 14653.6 + 16275.39 + 6523.34 + 4185.77 + 1287.68 + 1046.86} = 2.34$$

$$Z_{Sr} = \frac{1\cdot 29699.09 + 2\cdot 12503.26 + 3\cdot 27911.57 + 4\cdot 22349.44 + 5\cdot 6056.78 + 6\cdot 4900.57 + 7\cdot 1088.34 + 8\cdot 1422.92}{29699.09 + 12503.26 + 27911.57 + 22349.44 + 6056.78 + 4900.57 + 1088.34 + 1422.92} = 2.89$$

$$Z_{Zr} = \frac{1\cdot 11785.56 + 2\cdot 12340.95 + 3\cdot 25465.58 + 4\cdot 15130.22 + 5\cdot 6146.70 + 6\cdot 5360.57 + 7\cdot 1650.95 + 8\cdot 1548.12}{11785.56 + 12340.95 + 25465.58 + 15130.22 + 6146.70 + 5360.57 + 1650.95 + 1548.12} = 3.27$$

$$Z_{Ba} = \frac{1\cdot 11759.16 + 2\cdot 224917.7 + 3\cdot 785.98 + 4\cdot 841.45 + 5\cdot 254.27 + 6\cdot 229.95 + 7\cdot 94.52 + 8\cdot 258.53}{11759.16 + 224917.7 + 785.98 + 841.45 + 254.27 + 229.95 + 94.52 + 258.53} = 1.97$$

В результате расчетов выявлен ряд осевой зональности сверху вниз:

Ba	1.97
Zn	2.20
Rb	2.64
Sr	2.89
Zr	3.27
Ag	4.50
Pb	4.52
Fe	5.44

Для проверки выявленной зональности аналогичным способом рассчитается зональность по поперечному разрезу №4 Главного рудного тела. Исходные данные представлены в табл. 3.

Таблица 2

Средниесодержанияпогоризонтам

Table 2

The average content of the horizons

Гори-зонт	Cu %	Pb %	Zn %	Ag г/т	Re г/т	Sr г/т	Zr г/т	Ba г/т
270	1,05	1,12	0,79	4,5	116,38	85,64	78,72	469,9
220	1,15	0,42	1,28	7,92	81,76	101,56	64,56	1350,91
180	2,9	2,62	2,2	24,87	78,24	66,83	61,09	1418,27
120	1,9	1,5	11,12	16,39	47,57	51,23	50,48	1215,79
90	5,44	2,94	14,43	45,99	42,32	30,82	45,52	817,64
40	7,08	0,91	11,82	52,99	49,75	26,12	28,63	926,4
10	5,78	0,37	11,05	45,93	48,44	50,5	51,17	994,46
–25	7,77	0,29	13,64	59,38	22,6	27,31	68,81	68,96

Таблица 3

Среднее содержание по горизонтам по третьему поперечному разрезу Главного рудного тела

Table 3

The average content of the horizons for the third cross section of the main ore body

Горизонт	Cu, %	Pb%	Zn%	Agг/т	Re г/т	Sr г/т	Zr г/т
220	5.2987	0.1253	12.53	11.61	37.92	10.93	48.23
180	3.8741	0.2292	35.14	13.25	32.23	25.24	40.61
120	3.8352	0.3632	48.46	11.61	37.63	19.83	48.9

Затем по формуле $Z_{\upsilon} = \dfrac{\sum_{i=1}^{f} \upsilon_i Z_i}{\sum_{i=1}^{f} \upsilon_i}$ посчитаны центры тяжести графиков парных отношений элементов:

$$Z_{Cu} = \frac{1 \cdot 15.76 + 2 \cdot 12.52 + 3 \cdot 2.24}{15.76 + 12.52 + 2.24} = 2.55$$

$$Z_{Zn} = \frac{1 \cdot 176 + 2 \cdot 253.51 + 3 \cdot 136.05}{176 + 253.51 + 136.05} = 1.99$$

$$Z_{Ag} = \frac{1 \cdot 0.32 + 2 \cdot 42.66 + 3 \cdot 136.05}{0.32 + 42.66 + 136.05} = 2.75$$

$$Z_{\mathrm{Re}} = \frac{1 \cdot 17214.97 + 2 \cdot 16687.48 + 3 \cdot 4598.968}{17214.97 + 16687.48 + 4598.968} = 1.66$$

$$Z_{Sr} = \frac{1 \cdot 64587.52 + 2 \cdot 24691.08 + 3 \cdot 17256.53}{64587.52 + 24691.08 + 17256.53} = 1.54$$

$$Z_{Zr} = \frac{1 \cdot 13356.75 + 2 \cdot 1100.897 + 3 \cdot 3568.082}{13356.75 + 1100.897 + 3568.082} = 1.55$$

В результате выявлен ряд осевой зональности с верху вниз, который сравнивается сранее полученным рядом зональности, табл. 4.

Таблица 4

Рассчитанные ряды зонального отложения

Table4

The calculate dseriesof zonal deposits

Ряд 1		Ряд 2	
Элемент	**Уровень**	**Элемент**	**Уровень**
Ba	1.97	Sr	1.54
Zn	2.2	Zr	1.55
Re	2.64	Re	1.66
Sr	2.89	Zn	1.99
Zr	3.27	Pb	2.55
Ag	4.5	Ag	2.75
Pb	4.52	Fe	3.66
Fe	5.44		

При расчетах рядов зонального отложения получены 2 ряда: первый ряд рассчитанпо горизонтам на площади всего Главного рудного тела, а второй по определенному разрезу в этом же рудном теле. В итоге получены однотипные ряды зонального отложения, для эталонного типа был выбранпервый выявленный ряд, так как он имеет более масштабное значение[3 – 5]. Затем полученный ряд зональности сравнивается с рядом, выделенным Л.Н. Овчиниковым и С.В. Григоряном по гидротермальным. Результат представлен в табл. 5.

На этом основании можно сделатьвывод о том, что рассчитанная вертикальная зональность сходна с рядом Григоряна-Овчинникова, но имеет некоторые отклонения.

Задача геохимической зональности является решенной, если величина геохимического показателя ν однонаправленно меняется на протяжении всей рудной зоны.

Рассчитаны показатели первого порядка I.

На протяжении всей изучаемой глубины карьера отношения свинца к цинку монотонно увеличивается с глубиной, о чем свидетельствуют показатели первого порядка (табл. 6).

Таблица5

Ряды зонального отложения

Table 5

Zonal Deposition Rows

Ряд расчитанный	Ряд Григоряна-Овчинникова
Ba	Ba
Zn	Hg, As2, Sb
Re	Cu2
Sr	Cd
Zr	Ag
Ag	Pb
Pb	Zn
Fe	Sn2
	Au
	Cu1
	Bi
	Ni
	Co
	Mo
	U
	Sn1
	As1
	Be
	W

Примечание. Индексы 1 и 2 при символах химических элементов означают, что в зональном ряду эти элементы могут занимать различное положение в зависимости от минеральных форм.

На трех нижних горизонтах по данным атомно-эмиссионного спектрального анализа был выявлен 41 монотонно возрастающий с глубиной показатель первого порядка ν_I и 16 монотонно убывающих. Наиболее представительные показатели представлены в табл. 7.

Анализ данных результатов позволяет утверждать, что последовательная смена минеральных ассоциаций связана прежде всего с падением температуры и давления гидротермальных растворов.

Следующим шагом выносятся результаты опробования содержаний Pb, Zn, Agв период с 1.01.2012 до 1.09.2012.

Таблица 6

Показатели первого порядка v_I

Table 6

Indicator soft he first order v_I

Горизонт/ показатель v_I	270	220	180	120	90	60	20	–10
Pb/Zn	26,47	15,69	7,80	1,85	1,27	1,11	1,05	0,88

Таблица 7

Показатели первого порядка v_I

Table 7

Indicatorsofthefirstorder v_I

Убывающий показатель				**Возрастающий показатель**			
Горизонт/ показатель v_I	**220**	**180**	**120**	**Горизонт/ показатель v_I**	**220**	**180**	**120**
Ag/Ti	4,41	2,07	0,73	Ag/Cd	10,3	23,5	51,3
Ba/Ni	2,8	1,73	1,2	As/Mn	1,17	2,13	58,82
Ni/Fe	2,8	1,2	0,8	Fe/Be	1,07	2,75	4,83
V/Zr	2,62	1,78	0,73	Be/Zr	3,57	5,10	9,71

По результатам опробования обнаруживается, что содержания Pb, Zn, Ag постепенно увеличиваются с глубиной и в восточной части карьера наиболее высокие, так как лежачий бок Главного рудного тела находится именно с этой стороны карьера и отрабатывается в данный момент.

Самый большой скачек содержаний по Pb наблюдается с 15 на 5 горизонт, здесь отчетливо видно, что содержания с 1 % повышаются до 5 % и к нижнему –25 горизонту достигают 25 — 30 %.

Не наблюдается резкого перехода-содержаний по Zn: они не равномерно увеличиваются с глубиной. Так, на 15 и 5 горизонтах содержания достигают 10 %, а на –5 и –15 горизонтах варьируют от 3 % до 5 %, но на –25 горизонте содержания вновь увеличиваются до 10 %.

На данном месторождении Ag тесно связано с Pb, поэтому ведет себя аналогично. С 15 горизонта содержания Agсоставляют 10 — 30 г/т, на 5 и –5 горизонтах достигает 100 г/т, а к — 25 горизонту доходит до 130 — 150 г/т.

После этого на модель карьера выносится Главное рудное тело и данные опробования непосредственно по этому телу. Строятся 4 разреза в крест простирания рудного телаи 1 разрез вдоль рудного тела так, чтобы захватить наиболее высокие содержания. В месте пересечения этих разрезов выделяетсякуб объемом 100м^3 по каждому горизонту и рассчитываетсясреднее содержание в пределах этого объема для того, чтобы узнать, как меняется содержание вдоль рудного тела. Результаты расчетов представлены в табл. 8.

Из данных таблиц видно, что содержание главных элементов увеличивается с юго-востока на северо-запад, то есть рудное тело на исследуемой глубине находится с восточной стороны карьера, что подтверждает опробования разведочных скважин из ранее проведенных работ.

Таблица 8

Среднее содержаниеглавных элементов по Главному рудному телу с юго-запада на северо-восток

Table 8

The Average content of the main elements for the main ore body from the south-west to north-east

Разрез/ элемент	1 разрез	2 разрез	3 разрез	4 разрез
Pb	4.11	6.18	8.11	10.79
Zn	1.3	2.5	4.1	3.8
Ag	24.8	45.9	52.93	59.37
Fe	1.27	2.2	8.2	13.6

Таблица 9

Результаты атомно-эмисионного спектрального анализа, химический состав халькозина и борнита Главного рудного тела, [Cu %; Ag г/т]

Table 9

Results of atomic emission spectral analysis, chemical composition of chalcosine and bornite of the Main ore body, [Cu %; Ag g/t]

Горизонт	Ag	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co
270	56	260	0,5	<6	2,8	2,4	0,89	<6	5,9
220	46	120	0,5	<6	3,5	5,2	3,3	<6	4,5
180	77	117	0,5	<6	5,1	6,4	5,4	<6	20
Горизонт	Cr	Cu	Fe	Hg	La	Mn	Mo	Nb	Ni
270	2,4	<0.4	3	<0.5	<5	140	0,1	<5	3,2
220	<2	11	6,4	<0.5	<5	1300	<0.1	<5	2,9
180	<2	<0.4	8,9	<0.5	<5	1000	<0.1	<5	2,9
Горизонт	Sb	Sn	Sr	Ti	U	V	W	Y	Zr
270	<1	1,4	<10	49	<30	6,1	0,33	<3	10
220	<1	0,32	<10	56	<30	2,5	<0.1	3,2	20
180	<1	1,2	<10	79	<30	1,5	0,19	<3	26

Лабораторные исследования

В лабораторных исследованияхбыли выделены монофракции галенита по трем нижним горизонтам, химический состав элементов-примесей определен спектральным анализом. Результаты исследований приведены в табл. 9.

По данным результатам видно, что примеси в галените, такие как Ag, Be, Bi, Cd, Co, Fe, Mn, Ti, Zr, постепенно увеличиваются, а As, Ni,V,W уменьшаются, содержание остальных элементов меньше чувствительности прибора [7 – 15].

Большинство примесей присутствуют вследствие микроскопических включений посторонних минералов, таких как теннантин, тетраэдрит, буланжерит, аргенит, арсенопирит, марказит, пирит, пирротин, магнетит и др.

Заключение

Целевым назначением работы является геохимическая оценка Главного рудного тела Джезказганского медно-свинцово-цинкового месторождения. Выявлены особенности геологического строения рудного поля.

Проведен анализ геохимические особенности руд Джезказганского месторождения. Рассмотрены: статистистические параметры вмещающих, измененных пород и руд; выявлены корреляционные связи между главными элементами месторождения; зональность руд Главного рудного тела; геохимические поля распределения содержаний по главным элементам месторождения.

Проведен комплексный геохимический анализ качества, зональности руд, взаимосвязи состава, структуры, физических свойств и генетических особенностей минерального вещества с его технологическими свойствами Главного и Западного рудных тел Джезказганского месторождения. Это следствие принятия эффективных технических решений и выборновых технологий добычи полезного компонента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голик В.И.*, *Разоренов Ю.И.*, *Каргинов К.Г.* Основа устойчивого развития РСО-Алания — горнодобывающая отрасль // Устойчивое развитие горных территорий. –2017. – №2. – С. 163—172.

2. *Клюев Р.В.*, *Босиков И.И.*, *Майер А.В.*, *Гаврина О.А.* Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. — №2. — С. 283—290.

3. *Кремер Н.Ш.* Теория вероятностей и математическая статистика. — Москва: ЮНИТИДАНА, 2004. — 573 с.

4. *Клюев Р.В.*, *Босиков И.И.*, *Гаврина О.А.*, *Атрушкевич В.А.* Выбор средств защиты высоковольтного двигателя экскаватора на руднике открытых работ горно-металлургического комбината // Безопасность труда в промышленности. 2020. — № 7. — С. 46—53.

5. *Поспелов П.И., Кортиев А.Л.* Нормыпроектированиядорогвгорныхусловиях с учетом обеспечения безопасности движения // Устойчивое развитие горных территорий. — 2018. – Т. 10. –№ 4. – С. 624—630.

6. *Klyuev R., Bosikov I., Gavrina O., Madaeva M., Sokolov A.* Improving the energy efficiency of technological equipment at mining enterprises // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, Vol. 1258. pp. 262—271.

7. *Yang Zhiqiang*. KeyTechnologyResearchonthe Efficient Exploitation and Comprehensive Utilization of Resources in the Deep JinchuanNickelDeposit // Engineering, 2017, Vol. 3, Issue 4, pp. 559—566.

8. *Кортиев Л.И.*, *Кортиев А.Л.*, *Тедеев А.Г.* Ландшафтное проектирование горных автомобильных дорог и их научно-техническое сопровождение // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. – Т. 11. –№ 4. – С. 498—504.

9. *Song Xingqiang, Pettersen Johan Berg, Pedersen Kristine Bondo, RøbergStian*. Comparative life cycle assessment of tailings management and energy scenarios for a copperore mine: A case study in Northern Norway // Journal of Cleaner Production, 2017, Vol. 16415, pp. 892—904.

10. *Elshkaki Ayman, Reck Barbara K., Graedel T.E.* Anthropogenicnickel supply, demand, and associated energy and water use // Resources, Conservation and Recycling, 2017, Vol. 125, pp. 300—307.

11. *Sebutsoe T.C.*, *Musingwini C.* Characterizing a mining production system for decision-making purposes in a platinum mine // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2017, Vol. 117. pp. 199 — 206.

12. *Zhukovskiy Y.*, *Batueva D.*, *Buldysko A.*, *Shabalov M.* Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform //Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1333 (6). DOI: 10.1088/1742—6596/1333/6/062033.

13. *Хетагуров В.Н.*, *Каменецкий Е.С.*, *Минасян Д.Г.*, *Гегелашвили М.В.* Исследование движения измельчаемого материала в центробежной мельнице вертикального типа при установке в ее рабочем пространстве коаксиального кольца // Устойчивое развитие горных территорий. – 2017. – №3. – С. 287—294.

14. *Дребенштедт К.*, *Голик В.И.*, *Дмитрак Ю.В.* Перспективы диверсификации технологии добычи металлов в РСО-Алания // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. –Т. 10. – № 1. – С. 125—131.

15. *Клюев Р.В.*, *Босиков И.И.*, *Егорова Е.В.*, *Гаврина О.А.* Оценка горно-геологических и горнотехнических условий карьера «Северный» с помощью математических моделей // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — №3. — С. 418—427. ГИАБ

REFERENCES

1. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Karginov K.G. The basis of sustainable development of North Ossetia-Alania is the mining industry. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. no. 2. pp. 163—172. [In Russ]

2. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Majer A.V., Gavrina O.A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020. no. 2. pp. 283—290. [In Russ]

3. Kremer N.Sh. *Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow: YuNITIDANA, 2004. 573 p. [In Russ]

4. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Atrushkevich V.A. Selection of Protection Means for High-Voltage Excavator Engine at the Open-Pit Mine of the Mining and Metallurgical Plant. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2020. no. 7. pp. 46—53. [In Russ]

5. Pospelov P.I., Kortiev A.L. Design standards for roads in mountainous conditions with a view to ensuring traffic safety. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. T. 10. no. 4. pp. 624—630. [In Russ]

6. Klyuev R., Bosikov I., Gavrina O., Madaeva M., Sokolov A. Improving the energy efficiency of technological equipment at mining enterprises. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, Vol. 1258. pp. 262—271.

7. Yang Zhiqiang. KeyTechnologyResearchonthe Efficient Exploitation and Comprehensive Utilization of Resources in the Deep JinchuanNickelDeposit. Engineering, 2017, Vol. 3, Issue 4, pp. 559—566.

8. Kortiev L.I., Kortiev A.L., Tedeev A.G. Landshaftnoe proektirovanie gornyh avtomobil'nyh dorog i ih nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. T. 11. no. 4. pp. 498—504. [In Russ]

9. Song Xingqiang, Pettersen Johan Berg, Pedersen Kristine Bondo, RøbergStian. Comparative life cycle assessment of tailings management and energy scenarios for a copperore mine: A case study in Northern Norway. Journal of Cleaner Production, 2017, Vol. 16415, pp. 892—904.

10. Elshkaki Ayman, Reck Barbara K., Graedel T.E. Anthropogenicnickel supply, demand, and associated energy and water use. Resources, Conservation and Recycling, 2017, Vol. 125, pp. 300—307.

11. Sebutsoe T.C., Musingwini C. Characterizing a mining production system for decision-making purposes in a platinum mine. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2017, Vol. 117. pp. 199–206.

12. Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Shabalov M. Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1333 (6). DOI: 10.1088/1742 — 6596/1333/6/062033.

13. Khetagurov V.N., Kameneckij E.S., Minasyan D.G., Gegelashvili M.V. Gegelashvili M.V. Investigation of the grinding material movement in the centrifugal mill of vertical type with coaxial ring installation in its working space. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. no. 3. pp. 287 — 294. [In Russ]

14. Drebenshtedt K., Golik V.I., Dmitrak Yu.V. The prospects of diversification of technology of extraction of metals in Rso-Alaniya. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. T. 10. no. 1. pp. 125 — 131. [In Russ]

15. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Egorova E.V., Gavrina O.A. Assessment of mining-geological and mining technical conditions of the Severny pit with the use of mathematical models. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020. no. 3. pp. 418 — 427. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Босиков Игорь Иванович[1] — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Прикладная геология», igor.boss.777@mail.ru;
Выскребенец Александр Степанович[1] — докт. техн. наук, профессор, проректор по образовательной деятельности;
Таскин Андрей Васильевич[3] – канд. хим. наук, заведующий лабораторией Международного центра технологий обогащения минерального сырья;
Егорова Елена Валерьевна[2] — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»;
[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия;
[2] Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия;
[3] Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия.
Для контактов: Босиков И.И., igor.boss.777@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bosikov I.I.[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, igor.boss.777@mail.ru;
Vyskrebenets A.S.[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor;
Taskin A.V.[3], Cand.Sci. (Eng.), Head of the laboratory;
Egorova E.V.[2], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor;
[1] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), 362021, Vladikavkaz, Russia;
[2] Astrakhan State Technical University, 414025, Astrakhan, Russia;
[3] Far Eastern Federal University, 690922, Vladivostok, Russia.
Corresponding author: I.I. Bosikov, igor.boss.777@mail.ru.

Получена редакцией 26.05.2020; получена после рецензии 27.06.2020; принята к печати 10.10.2020.
Received by the editors 26.05.2020; received after the review 27.06.2020; accepted for printing 10.10.2020.