

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОПУТСТВУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ФИЛИЗЧАЙСКОГО КОЛЧЕДАН-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ СКЛОН БОЛЬШОГО КАВКАЗА)

Н. А. Имамвердиев*, Н. А. Саттар-заде

Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан

Geochemical peculiarities of accompanying elements Filizchai pyrite-polymetallic deposit
(southern slope of the Greater Caucasus)

N. A. Imamverdiyev*, N. A. Sattar-zade

Baku State University, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

The article considers the distribution of accompanying elements (cadmium, indium, selenium, tellurium, bismuth, etc.) in pyrite-polymetallic ores of the Filizchay deposit. It was found that there is a high correlation between the concentrations of cadmium, zinc and lead ($r=+0.790$ and $r=+0.616$). The relationship between the contents of cadmium and copper is negative ($r=-0.414$). Indium - correlated with zinc and cadmium. In the Filizchaya ore deposit, a relatively high amount of indium is present in the upper depth horizons and the western flank of the deposit. The mineral-concentrator of the element is zinc sulfide. A high correlation was established between antimony and arsenic ($r=+0.663$). There is a significant correlation coefficient of these elements with zinc, lead, silver, bismuth and cadmium. In connection with the regular arrangement of natural types of ores in the composition of a single ore deposit of the deposit, a regular change in the concentrations of these elements is established. In general, there is a vertical and horizontal zonality in the distribution of harmful impurities in the ore deposit. It has been established that the content of antimony and arsenic gradually decreases from the upper to deep horizons. The concentration of antimony and arsenic decreases from the western flank to the east, and the content of mercury from the western flank to the central part increases slightly, and on the eastern flank its concentration decreases to a minimum, selenium is more concentrated from the central part of the ore deposit of the deposit. It was revealed that the formation of the Filizchay deposit was accompanied by a zonal distribution of chemical elements, consistent with the general scheme of mineralogical zoning.

KEYWORDS:

Accompanying elements;
Correlation;
Zonality;
Distribution of chemical elements.

*e-mail: inazim17@yahoo.com

<https://doi.org/10.53404/Sci.Petro.20230100035>

Филизчайское колчеданно-полиметаллическое месторождение являющееся ценным объектом для добычи цинка, свинца, меди, серебра, а также для извлечения попутных компонентов – золота, кадмия, индия, олова, висмута, сурьмы, селена, теллура и др. Руды Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения характеризуются широким спектром химических элементов. Важнейшими промышленно ценными компонентами руд являются цинк, свинец, медь и серебро. К сопутствующим примесным компонентам, заслуживающим попутного извлечения, относятся кадмий, индий, селен, теллур, висмут и др. Геохимические особенности распределение главных рудообразующих элементов в рудах Филизчайского месторождения нами рассматривалось ранее [1, 2]. В данной статье главное внимание будет удалено распределению сопутствующих элементов.

Элементы плеяды индия. Элементы плеяды индия исключительно в изоморфной форме распределены в сульфидных минералах. При этом наибольшие концентрации кадмия, индия, галлия и германия приурочены к сфалериту, а таллия – галениту. Кадмий содержится обычно на один-два порядка больше, чем другие элементы плеяды индия.

Кадмий является характерным примесным компонентом руд исследуемого месторождения. Благодаря общности геохимических свойств с цинком наибольшее количество элемента в рудах связана со сфалеритом. Этот минерал является концентратором и носителем кадмия в филизчайских рудах. Установлена высокая корреляционная связь между кадмием и цинком в рудах. Кларки концентрации кадмия в рудах месторождения выше, чем цинка. Величина индикаторного цинк-кадмиевого отношения в колчеданно-поли-

металлических рудах закономерно уменьшается с западного фланга рудной залежи к восточному (табл.1). В условно выделенных горизонтах глубинности установлена закономерность, выраженная в увеличении величины Zn/Cd отношения: верхние горизонты – 585, средние – 703, глубокие – 956 [3, 4]. При этом наивысшее значение этого параметра (1283) отмечается на горизонте 500-400 м. В пространственной локализации кадмий следует за цинком, так как наибольшая концентрация элемента накоплена в верхних горизонтах стратиформной залежи. Среднее содержание кадмия в сфалерите больше 0.1%. В этом минерале, а также в пирите наибольшая концентрация кадмия отмечается в центральной части рудной залежи, соответственно 2660 г/т и 53.7 г/т (табл. 2).

Между концентрациями кадмия и цинка отмечается высокая корреляционная связь ($r=+0.790$). Значимый коэффициент корреляции существует также между кадмием и свинцом ($r=+0.616$) (табл. 3). Связь между содержаниями кадмия и меди отрицательная ($r=-0.414$). Уравнения регрессии между кадмием и цинком, кадмием и свинцом соответственно выражаются следующими: $Cd = 26.7698 + 10.4864 \cdot Zn$ и $Cd = 49.8201 + 15.6183 \cdot Pb$.

Таллий характеризуется крайне неравномерным распределением. Отмечается как в отдельных типах руд, так и во вмещающих песчано-глинистых породах. Среди рудосоставляющих минералов по таллиенности отличаются галениты. В связи с этим, слоисто-полосчатые колчеданно-полиметаллические руды содержат сравнительно повышенные количества элемента. Заслуживает внимание также содержание таллия в массивных и прожилково-вкрапленных рудах колчеданно-полиметаллического состава [5]. Среди горизонтов глубинности залежи Физизчайского месторожде-

| Элементы | Западный фланг (проф. IV-XI) | Центральная часть (проф. XII-XIX) | Восточный фланг (проф. XX-XXVI) |
|----------|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Bi | 102.4 (93) | 83.7 (130) | 70.8 (82) |
| Cd | 78 (114) | 73.5 (113) | 53 (79) |
| Se | 5.5 (113) | 7.0 (135) | 6.3 (85) |
| Te | 2.0 (130) | 1.4 (156) | 1.7 (110) |
| Sb | 0.031 (132) | 0.023 (165) | 0.022 (108) |
| As | 0.25 (137) | 0.20 (171) | 0.15 (111) |
| Zn:Cd | 717 | 658.5 | 660 |

ния сравнительно высокие концентрации таллия приурочены к верхним и средним горизонтам. По простиранию рудной залежи наблюдается закономерное уменьшение среднего содержания таллия в колчеданно-полиметаллических рудах с западного фланга через центральную часть на восточный (соответственно 17 г/т, 13 г/т, 10 г/т). Аналогичное закономерное распределение концентраций таллия наблюдается в пирите и сфалерите (табл. 2).

Галлий и германий относятся к характерным примесям руд исследуемого месторождения. Эти элементы обычно обнаруживаются в колчеданных рудах и в рудовмещающих песчано-глинистых отложениях примерно в одинаковых количествах. Поскольку количества галлия и германия в рудах и вмещающих породах Физизчайского месторожде-

| Элементы-примеси | Западный фланг (профили IV-XI) | | Центральная часть (профили XII-XIX) | | Восточный фланг (профили XX-XXVI) | |
|------------------|--------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|
| | Пирит | Сфалерит | Пирит | Сфалерит | Пирит | Сфалерит |
| Cd | 49.7(3) | 640(3) | 53.7(3) | 2660(6) | 45.5(8) | 1198(10) |
| In | 2.2(3) | 45.3(3) | 5(3) | 35(6) | 4.8(8) | 66.5(10) |
| Ga | - | 5(3) | - | 12.8(6) | - | 10.3(10) |
| Te | 8.3(3) | 17.2(3) | 6.7(7) | 13(6) | 3.7(21) | 7.8(10) |
| Ge | 0.9(3) | 1(3) | 2.2(9) | 4.1(6) | 1.3 (19) | 2.9(11) |
| Bi | 43.5(3) | 22.7(3) | 87.7(8) | 50.4(6) | 51.7(21) | 42.2(9) |
| Se | 10(3) | 3.5(3) | 22.3(9) | 7.8(6) | 39.7(22) | 7.5(6) |
| Ta | 2.2(3) | 1(3) | 2.3(9) | 2(6) | 3.4(22) | 3.5(6) |

Таблица 3

Оценки коэффициентов корреляции между компонентами в колчеданно-полиметаллических рудах Филизчайского месторождения (n=97)

| | Zn | Pb | S | Au | Ag | Bi | Cd | Sb | As |
|----|---------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Cu | -0.4092 | -0.3148 | -0.0508 | 0.0131 | 0.0859 | -0.0132 | -0.4140 | -0.1902 | -0.1793 |
| Zn | | 0.8642 | 0.3730 | -0.1027 | 0.5683 | 0.0048 | 0.7899 | 0.5348 | 0.4304 |
| Pb | | | 0.4023 | 0.0093 | 0.6277 | 0.1030 | 0.6163 | 0.6584 | 0.5256 |
| S | | | | -0.0594 | 0.2210 | -0.1766 | 0.2449 | 0.3580 | 0.1726 |
| Au | | | | | 0.0498 | 0.3384 | -0.0450 | 0.1324 | 0.0848 |
| Ag | | | | | | 0.0812 | 0.4756 | 0.3803 | 0.2811 |
| Bi | | | | | | | 0.0623 | 0.2020 | 0.2321 |
| Cd | | | | | | | | 0.4628 | 0.3809 |
| Sb | | | | | | | | | 0.6628 |

Примечание: Значимые величины коэффициентов корреляции выделены

ния повсеместно одинаково, можно предполагать, что они не привносились рудообразующими растворами. По-видимому, в процессе рудообразования эти элементы заимствовались из вмещающих пород. Среди сульфидных минералов сравнительно повышенные количества этих элементов отмечаются в сфалерите.

Индий устанавливается в рудах, во вмещающих породах он не фиксируется. Относительно повышенное количество индия отмечается в слоистополосчатых и массивных колчеданно-полиметаллических рудах. В других типах руд его содержание в несколько раз ниже. Концентрация индия в текстурно-минералогических типах руд и сульфидных минералах на один-два порядка ниже кадмия. Индий – коррелируется с цинком и кадмием. В рудной залежи Филизчая сравнительно повышенное количество индия присутствуют в верхних горизонтах глубинности и западном фланге месторождения. Минералом-концентратором элемента является сульфид цинка.

Висмут относится к типоморфным примесям руд исследуемого месторождения и является одним из характерных элементов-примесей главной рудной залежи Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения. Присутствуют несколько собственных минералов элемента. По классам крупности относительно запасов висмута в рудах Филизчайское колчеданно-полиметаллическое месторождение по масштабу, по мнению Н. А. Новрузова [6], вполне соответствует крупным висмутосодержащим месторождениям. Повышенная висмутоносность руд колчеданно-полиметаллического состава в основном связана с присутствием многочисленных висмутовых минералов (висмут самородный, висмутин, теллуrowисмутит, тетрадимит, элеплектит, козалиит и др.). Широко извест-

ны соединения висмута с серой, селеном, теллуrom, медью, свинцом, серебром, золотом, сурьмой, мышьяком и др. [7]. Пространственное распределение висмута в колчеданно-полиметаллических рудах, являющихся главным текстурно-минералогическим типом руд месторождения, выражается закономерным уменьшением концентраций элемента с западного фланга месторождения на восточный (табл. 1), что связывается с минералогической зональностью в рудной залежи. Также с глубиной наблюдается постепенное падение количества висмута в рудах. В пирите и сфалерите повышенное количество элемента обнаруживается в центральной части рудной залежи (табл. 2). Среди сульфидных минералов наибольшее содержание висмута обнаружено в галените и халькопирите из колчеданно-полиметаллических руд. Среди рудообразующих минералов наибольшее содержание элемента приурочено к сульфиду свинца. Между концентрациями висмута и свинца отмечена слабая корреляционная связь (табл. 3), а уравнение регрессии между ними имеет следующее значение: $Bi = 68.8874 + 3.3735 \cdot Pb$.

Характер распределения вредных примесей – ртути, сурьмы и мышьяка в технологических типах руд Филизчайского месторождения изучен достаточно полно. Согласно полученным данным (табл. 4), для указанных элементов устанавливается закономерное увеличение их концентраций от первичных к окисленным рудам. Это связано с геохимическими особенностями распределения ртути, сурьмы и мышьяка и миграционными способностями соединений этих элементов в зоне окисления.

Сурьма и мышьяк – повсеместно встречающиеся примесные компоненты руд Филизчайского месторождения. При этом мышьяк обычно содержится на порядок больше сурьмы. Наряду с изоморф-

ным нахождением в рудосоставляющих минералах, встречаются в многочисленных собственных соединениях (арсениопирит, блеклые руды, бурнонит, буланжерит, гудмундит, джемсонит, менегенит и др.). Между сурьмой и мышьяком установлена высокая корреляционная связь ($r=+0.663$). Существует значимый коэффициент корреляции этих элементов с цинком, свинцом, серебром, висмутом и кадмием (табл. 3).

Сурьма, являясь характерной примесью в исследуемых рудах, встречается в качестве изоморфной примеси в главных рудосоставляющих минералах и индивидуализированных минералах – сульфосолях (бурнонит, тетраэдрит, буланжерит, джемсонит, фаматинит и др.). Характер распределения сурьмы в текстурно-минералогических типах руд и пространственное распределение ее в залежи аналогичен мышьяку, однако, сурьма содержится на порядок ниже (табл. 1). Среди сульфидных минералов наибольшая концентрация сурьмы обнаруживается в галените, а среди текстурно-минералогических типов руд – в колчеданно-полиметаллических рудах. Распределение содержания сурьмы находится в прямой зависимости от интенсивности проявления свинцово-цинковой минерализации. В медно-пирротиновых, пятнисто-брекчиевидных и прожилково-вкрапленных типах руд уровень концентрации сурьмы значительно снижается.

Мышьяк является одним из типоморфных элементов-примесей руд Фелизчайского месторождения, где наряду с собственными минералами (арсениопирит, теннантит), изоморфно входит в кристаллическую решетку сульфидных минералов. В колчеданно-полиметаллических рудах месторождения отмечается отчетливая зональность в распределении мышьяка в горизонтах глубинности (верхние горизонты – 0.25%, средние – 0.20%, глубокие – 0.15%) и по простиранию залежи с западного фланга через центральную часть на восточный (соответственно 0.26%, 0.19% и 0.15%). В целом, мышьяк концентрируется в верхних (фронтальных) зонах главной рудной залежи.

Ртуть является характерной типоморфной примесью колчеданно-полиметаллических руд слоисто-полосчатого и массивного сложения. Сравнительно повышенные концентрации ртути в этих типах руд связаны наряду с большим количеством сфалерита, присутствием сульфосолей, обычно содержащих высокие концентрации элемента [9, 10, 11]. Повышенные содержания ртути в исследуемых рудах характерны для сфалерита клейофанового типа. В вертикальном разрезе залежи ртуть больше содержится в верхних горизонтах. Ртуть являясь характерной примесью исследуемых руд распределена крайне неравномерно. Сравнительно

| Элементы | Разновидности руд | | |
|--------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | Первичные | Смешанные | Окисленные |
| Ртуть, 10^{-4} % | $\frac{n/o - 53.0}{7.15(447)}$ | $\frac{0.2 - 60.0}{9.0(52)}$ | $\frac{3.3 - 17.0}{11.8(3)}$ |
| Сурьма, % | $\frac{0.001 - 0.087}{0.026(510)}$ | $\frac{0.001 - 0.13}{0.038(55)}$ | $\frac{0.005 - 0.177}{0.076(15)}$ |
| Мышьяк, % | $\frac{0.001 - 0.73}{0.17(557)}$ | $\frac{0.09 - 0.57}{0.35(55)}$ | $\frac{0.057 - 1.0}{0.42(15)}$ |

повышенные содержания ртути в этих рудах связаны с присутствием блеклых руд, обычно содержащих самые высокие концентрации элемента, а также широким развитием сульфида цинка.

Наибольшее содержание ртути ($6.0 \times 10^{-3}\%$) выявлено в отдельных пробах смешанных руд, однако среднее содержание этого элемента (в г/т) в первичных (0.71), смешанных (0.9) и окисленных (1.2) следует считать относительно невысоким. Среди первичных руд ртуть, сурьма и мышьяк больше содержатся в полосчатых и массивных колчеданно-полиметаллических рудах: Hg в среднем $7.5 \times 10^{-4}\%$; Sb-0.027%; As-0.21%.

В связи с закономерным расположением прирудных типов руд в составе единой рудной залежи месторождения, устанавливается закономерное изменение концентраций этих элементов. В целом, можно говорить о наличии вертикальной и горизонтальной зональности в распределении вредных примесей в рудной залежи. Установлено, что содержание сурьмы и мышьяка от верхних к глубоким горизонтам плавно убывает. Средние содержания сурьмы и мышьяка на верхних (абсолютные отметки 1300-1000 м), средних (1000-700 м), глубоких (700-400 м) горизонтах составляют, %: 0.027 и 0.21; 0.023 и 0.15; 0.017 и 0.10 соответственно. Содержание ртути на верхних и глубоких горизонтах одинаково (соответственно, в среднем $5.6 \times 10^{-4}\%$ и $5 \times 10^{-4}\%$), а в средних (7.8×10^{-4}) несколько увеличивается. Наблюдается и некоторая горизонтальная зональность в распределении вредных примесей. Концентрация сурьмы и мышьяка уменьшается от западного фланга к восточному, а содержание ртути от западного фланга к центральной части, несколько увеличивается, а на восточном фланге концентрация его уменьшается до минимума (в среднем $4.1 \times 10^{-4}\%$). Как было указано выше, среди первичных руд наибольшим содержанием вредных примесей отличаются полосчатые и массивные колчеданно-полиметаллические руды.

Повышение концентрации ртути в этих рудах, по-видимому, связано с присутствием именно в них блеклых руд. Последние, как известно, во многих месторождениях обогащены этим элементом. Кроме того, наличие ртути в рудах Фелизчайского месторождения обусловлено широким развитием сфалерита, в котором, по данным Н. А. Новрузова и С. А. Агаева [12], ртуть присутствует в тысячных долях процента. В рассматриваемых природных типах руд встречаются собственные минералы сурьмы (тетраэдрит, бурнонит, буланжерит, гудмундит, менегинит, геокронит и другие сульфосоли). Среди главных сульфидных минералов сурьма больше концентрируется в галените.

В целом, уровни концентрации вредных примесей (ртути, сурьмы и мышьяка) в рудах Фелизчайского месторождения невысокие. В этой связи они не окажут существенного влияния на качество выделяемых из этих руд селективных концентратов цветных металлов.

В колчеданных рудах Фелизчайского месторождения селен присутствует исключительно в форме изоморфной примеси в сульфидных минералах, что связано близостью химических и кристаллохимических свойств селена и серы. Однако прямой зависимости между концентрациями этих элементов в рудах не отмечается. Следует отметить, что халькопирит-пирротиновые руды исследуемого месторождения, являющиеся по сравнению с серноколчеданными (пиритовыми) рудами малосернистыми, характеризуются сравнительно более высокими содержаниями селена. Аналогичное наблюдалось также в колчеданных месторождениях Приорское, Озерное, Ново-Сибайское и др. [13].

По мнению Н. Д. Синдеевой [14], количество селена, изоморфно входящего в состав сульфидов, зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются: 1) общее содержание селена в рудоносном растворе; 2) особенности кристаллической решетки минерала-хозяина и существование у серы и селена однотипных изоструктурных соединений; 3) характер катионной части минерала – хозяина; 4) места минерала-хозяина в процессе минералообразования.

По степени обогащенности сульфидных руд селеном текстурно-минералогические типы руд Фелизчайского месторождения сильно различаются. Минералы, входящие в состав определенной минеральной ассоциации, различаются по уровню концентрации селена и по удельной обогащенности серы селеном (Se/S). Отмечается сравнительно высокая удельная обогащенность сульфидов (пирита и пирротина) из медно-пирротинового оруденения. По этому показателю медно-пирротиновые руды являются более богатыми селеном

по сравнению с колчеданно-полиметаллическими.

В условно-выделенных горизонтах глубинности наибольшая концентрация селена (в среднем 22 г/т) наблюдается в нижней части верхнего горизонта (горизонт 1100-1000 м) и верхней части глубоких горизонтов (горизонт 700-600 м) в массивных серноколчеданных рудах. Следует отметить, что на этих же горизонтах установлены наибольшие средние содержания кобальта (560-570 г/т) и меди (1.10-1.20%). Как видно из таблицы 1, в главном текстурно-минералогическом типе руд – в колчеданно-полиметаллических рудах селен больше концентрируется из центральной части рудной залежи месторождения. Устанавливается закономерное увеличение концентрации селена в пирите с западного фланга через центральную часть рудной залежи к восточному (табл. 1) 10 г/т – 22.3 г/т – 39.7 г/т. Сходная картина обнаруживается и в сульфиде цинка. На восточном фланге рудной залежи отмечается закономерное уменьшение содержания пиритной серы с глубиной (табл. 2).

Уровень концентрации селена, а также теллура в колчеданных рудах некоторые исследователи связывают с метаморфизмом руд. Повышенная селеноносность халькопирит-пирротиновых руд Фелизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения указывает, что метаморфизм приводит к обогащению руд селеном, как это имеет место на Приморском месторождении на Южном Урале [15, 16], а не наоборот, обеднение селеном, как это излагается М. И. Исмагиловым [17, 18] в пирротинсодержащих колчеданных залежах Южного Урала.

В колчеданных рудах Фелизчайского месторождения *теллур* присутствует как в виде изоморфной примеси в сульфидах, так и в форме индивидуальных минералов-теллуридов золота, серебра, висмута и свинца (тетрадимит, теллуrowисмутит, гессит, алтаит, петцит, нагиагит и др.). С элементами высоких порядковых номеров (Bi, Pb, Hg, Au, Ag, Sb, Cu, Ni и др.) теллур образует гипогенные минералы. Некоторыми исследователями [19] установлен ряд возрастающего сродства этих элементов к теллуру: Cu – Pb – Ni – Bi – Hg – Au. Теллуриды легких металлов в природе не известны.

Среди текстурно-минералогических типов руд сравнительно повышенные содержания теллура обнаруживаются в халькопирит-пирротиновых рудах, где теллуриноносностью отличается халькопирит, являющийся рудосоставляющим минералом. Концентрация теллура в этом минерале из медно-пирротиновой руды, как и в ряде месторождений [13, 20] превалирует над селеном. На основании аналитических данных были рассчитаны коэффициенты удельной обогащенности сульфидов

теллуrom (Te/S). Установлено, что наибольшими значениями этого коэффициента обладают халькопирит и галенит, наименьшими показателями - пирит и пирротин. В пирите и сфалерите сравнительно повышенное количество теллура обнаруживается на восточном фланге рудной залежи (табл. 1), а в колчеданно-полиметаллических рудах – на западном фланге (табл. 1). В этих же рудах из центральной части залежи устанавливается высокое значение селен-теллурового отношения, равного 5-ти (табл. 2).

По величине коэффициентов корреляции с помощью кластер-анализа в колчеданно-полиметаллических рудах рассматриваемого месторождения выявлены две ассоциации элементов: Cu-Bi-Sb-Co-Se и Zn-S-Au-Pb-As-Ag-Cd.

Из приведенной краткой характеристики распределения основных и примесных компонентов

в рудах Филізчайского колчеданно-полиметаллического месторождения можно заключить, что формирование залежи исследуемого месторождения сопровождалось зональным распределением химических элементов, согласным общей схемой минералогической зональности. Существует мнение о том, что зональность распределения элементов-примесей не зависит от того, находятся ли эти компоненты в форме индивидуализированных минералов или же изоморфно входят в кристаллическую решетку рудосоставляющих минералов. Следует отметить, что от тыловых зон к фронтальным увеличивается количество элементов-примесей и их концентрация. Фронтальные зоны во многих колчеданных месторождениях являются, по существу, полиминеральными рудами, где устанавливаются повышенные содержания цинка, свинца, кадмия, таллия, ртути, сурьмы и др.

Литература

1. Саттар-заде, Н. А., Новрузов, Н. А. (2022). Характеристика минералого-геохимических особенностей стратиформного колчеданного месторождения Филізчай (Большой Кавказ, Азербайджан). *Вестник Владикавказского научного центра РАН*, 22(1), 69-79.
2. Саттар-заде, Н. А., Имамвердиев, Н. А. (2022). Геохимические особенности и зональность залежи Филізчайского колчедан-полиметаллического месторождения (Южный склон Большого Кавказа). *Известия ВУЗ, Северо-Кавказский регион*, 4(2), 60-76.
3. Новрузов, Н. А., Саттар-заде, Н. А. (2018). К распределению элементов-примесей в продуктах обогащения руд Филізчайского месторождения. *Вестник БГУ. Серия естественных наук*, 3, 73-76.
4. Новрузов, Н. А., Саттар-заде, Н. А. Мурадханова, Г. А. (2015). О типоморфном значении примесей редких и благородных металлов в колчеданных месторождениях Восточного Кавказа. *Материалы международной научно-практической конференции «Геология, минерагения и перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов Республики Казахстан»*. Алматы.
5. Новрузов, Н. А., Агаев, С. А. (2012). Минералого-геохимическая зональность колчеданных залежей Восточного Кавказа на примере Филізчайского месторождения. *Известия НАН Азербайджана*, 1, 13-20.
6. Новрузов, Н. А. (2005). Редкие и рассеянные металлы / в кн. Геология Азербайджана. Полезные ископаемые. Баку: Nafta-Press.
7. Минцер, Э. Ф. (1982). Висмут в месторождениях цветных металлов металлов и золота / в кн. Комплексные месторождения халькофильных редких элементов. Москва: Недра.

References

1. Sattarzade, N. A., Novruzov, N. A. (2022). Characteristics of mineralogical and geochemical features of Filizchay stratiform pyritic field (Great Caucasus, Azerbaijan). *Vestnik Vladikavkaz Scientific Center*, 22(1), 69-79.
2. Sattarzade, N. A., Imamverdiyev, N. A. (2022). Geochemical features and zoning of the Filizchay pyrite-polymetallic deposit (southern slope of the Greater Caucasus). *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science*, 4(2), 60-76.
3. Novruzov, N. A., Sattarzade, N. A. (2018). K raspredeleniyu elementov-primesej v produktah obogashcheniya rud Filizchajskogo mestorozhdeniya. *Vestnik BGU. Seriya Estestvennyh Nauk*, 3, 73-76.
4. Novruzov, N. A., Sattar-zade, N. A. Muradkhanova, G. A. (2015). O tipomorfnom znachenii primesej redkikh i blagorodnykh metallov v kolchedannykh mestorozhdeniyakh Vostochnogo Kavkaza. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Geologiya, minerageniya i perspektivy razvoitiya mineral'no-syr'yevykh resursov Respubliki Kazakhstan»*. Almaty.
5. Novruzov, N. A., Agayev, S. A. (2012). Mineralogo-geokhimicheskaya zonal'nost' kolchedannykh zalezhey Vostochnogo Kavkaza na primere Filizchayskogo mestorozhdeniya. *Izvestiya NAN Azerbaydzhana*, 1, 13-20
6. Novruzov, N. A. (2005). Redkie i rasseyannye metally / v kn. Geologiya Azerbaydzhana. Poleznye iskopaemye. Baku: Nafta-Press.
7. Mintser, E. F. (1982). Vismut v mestorozhdeniyakh tsvetnykh metallov metallov i zlota / v kn. Kompleksnyye mestorozhdeniya khal'kofil'nykh redkikh elementov. Moskva: Nedra.

8. Новрузов, Н. А., Саттар-заде, Н. А. (2015). Особенности химизма колчеданных руд Филизчайского месторождения. *Вестник Бакинского университета. Серия естественных наук*, 1, 121-127.
9. Новрузов, Н. А. (2016). Геохимия стратиформных колчеданных месторождений Восточного сегмента Большого Кавказа. *Баку: Nafta-Press*.
10. Novruzov, N. A. (2011). Admixture-elements and their use as geochemical indicators for search of buried pyrite ores in the Greater Caucasus (Azerbaijan). *Iranian Journal of Earth Sciences*, 3(2), 91-97.
11. Novruzov, N. A. (2011). The geochemical features of terrigenous host rocks at massive sulfide deposits in the eastern Caucasus. *Lithology and Mineral Resources*, 46(5), 419-426.
12. Новрузов, Н. А., Агаев, С. А. (2012). Минералогическая зональность колчеданных залежей Восточного Кавказа на примере Филизчайского месторождения. *Известия НАН Азербайджана*, 1, 13-20.
13. Муталов, М. Г. (1977). О распределении селена и теллура в рудообразующих сульфидах некоторых месторождений Узельгинского рудного поля. *Геохимия*, 5, 748-756.
14. Синдеева, Н. Д. (1964). Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. *Москва: Наука*.
15. Вахрушев, М. И., Дейнекина, Л. М. (1978). Зональность и метаморфизм колчеданной залежи Приморского месторождения. *Геология рудных месторождений*, 20(2), 52-63.
16. Прокин, В. А., Иванов, К. С., Маслов, В. А. и др. (1992). Медноколчеданные месторождения Урала. *Условия формирования*, 308.
17. Исмагилов, М. И. (1986). Закономерность распределения селена и теллура в пирротиносодержащих колчеданных залежах Южного Урала (Минералогия, геохимия и генезис полезных ископаемых Южного Урала). *Уфа: БФ АН СССР*.
18. Исмагилов, М. И. (1987). Закономерности пространственного распределения основных и примесных элементов в колчеданных залежах. Микроэлементы в магматических, метаморфических и рудных формациях Урала. *Уфа: БФ АН СССР*.
19. Щербина, В. В. (1972). Основы геохимии. *Москва: Недра*.
20. Нагиев, В. Н. (2007). Рудные месторождения Азербайджанской Республики. *Баку: Елм*.
8. Novruzov, N. A., Sattarzadeh, N. A. (2015). Features of chemical composition of pyrite ores of the Filizchay deposit. *Vestnik BGU. Seriya Estestvennyh Nauk*, 1, 121-127.
9. Novruzov, N. A. (2016). Geokhimiya stratiformnykh kolchedannykh mestorozhdeniy Vostochnogo segmenta Bol'shogo Kavkaza. *Baku: Nafta-Press*.
10. Novruzov, N. A. (2011). Admixture-elements and their use as geochemical indicators for search of buried pyrite ores in the Greater Caucasus (Azerbaijan). *Iranian Journal of Earth Sciences*, 3(2), 91-97.
11. Novruzov, N. A. (2011). The geochemical features of terrigenous host rocks at massive sulfide deposits in the eastern Caucasus. *Lithology and Mineral Resources*, 46(5), 419-426.
12. Novruzov, N. A., Agayev, S. A. (2012). Mineralogical-geochemical zonation of pyrite deposits of the Eastern Caucasus on the example of Filizchai field. *ANAS Transactions. Earth Sciences*, 1, 13-20.
13. Mutalov, M. G. (1977). O raspredelenii selena i tellura v rudoobrazuyushchikh sul'fidakh nekotorykh mestorozhdeniy Uzel'ginskogo rudnogo polya. *Geokhimiya*, 5, 748-756.
14. Sindeyeva, N. D. (1964). Geokhimiya, mineralogiya i geneticheskiye tipy mestorozhdeniy redkikh elementov. *Moskva: Nauka*.
15. Vakhrushev, M. I., Deynekina, L. M. (1978). Zonal'nost' i metamorfizm kolchedannoy zalezhi Primorskogo mestorozhdeniya. *Geologiya Rudnykh Mestorozhdeniy*, 20(2), 52-63.
16. Prokin, V. A., Ivanov, K. S., Maslov, V. A. i dr. (1992). Mednokolchedannyye mestorozhdeniya Urala: Usloviya formirovaniya. *Yekaterinburg: RAN Ural'skoye otdeleniye*.
17. Ismagilov, M. I. (1986). Zakonomernost' raspredeleniya selena i tellura v pirrotinosoderzhashchikh kolchedannykh zalezhakh Yuzhnogo Urala (Mineralogiya, geokhimiya i genezis poleznykh iskopayemykh Yuzhnogo Urala). *Ufa: BF AN SSSR*.
18. Ismagilov, M. I. (1987). Zakonomernosti prostranstvennogo raspredeleniya osnovnykh i primesnykh elementov v kolchedannykh zalezhakh. Mikroelementy v magmaticheskikh, metamorficheskikh i rudnykh formatsiyakh Urala. *Ufa: BF AN SSSR*.
19. Shcherbina, V. V. (1972). Fundamentals of geochemistry. *Moscow: Nedra*.
20. Nagiyev, V. N. (2007). Rudnyye mestorozhdeniya Azerbaydzhanskoy Respubliki. *Baku: Elm*.

**Геохимические особенности сопутствующих элементов
Филизчайского колчедан-полиметаллического месторождения
(южный склон Большого Кавказа)**

Н. А. Имамвердиев, Н. А. Саттар-заде
Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан

Реферат

В статье рассмотрены распределения сопутствующих элементов (кадмий, индий, селен, теллур, висмут и др.) в колчеданно-полиметаллических рудах Филизчайского месторождения. Установлено, что между концентрациями кадмия, цинка и свинцом отмечается высокая корреляционная связь ($r = +0.790$ и $r = +0.616$). Связь между содержаниями кадмия и меди отрицательная ($r = -0.414$). Индий – коррелируется с цинком и кадмием. В рудной залежи Филизчая сравнительно повышенное количество индия присутствуют в верхних горизонтах глубинности и западном фланге месторождения. Минералом-концентратором элемента является сульфид цинка. Между сурьмой и мышьяком установлена высокая корреляционная связь ($r = +0.663$). Существует значимый коэффициент корреляции этих элементов с цинком, свинцом, серебром, висмутом и кадмием. В связи с закономерным расположением природных типов руд в составе единой рудной залежи месторождения, устанавливается закономерное изменение концентраций этих элементов. В целом, имеется вертикальная и горизонтальная зональность в распределении вредных примесей в рудной залежи. Установлено, что содержание сурьмы и мышьяка от верхних к глубоким горизонтам плавно убывает. Концентрация сурьмы и мышьяка уменьшается от западного фланга к восточному, а содержание ртути от западного фланга к центральной части, несколько увеличивается, а на восточном фланге концентрация его уменьшается до минимума, селен больше концентрируется из центральной части рудной залежи месторождения. Выявлено, что формирование залежи Филизчайского месторождения сопровождалось зональным распределением химических элементов, согласным общей схемой минералогической зональности.

Ключевые слова: сопутствующие элементы; корреляция; зональность; распределение химических элементов.

**Filizçay kolçedan-polimetall yatağında müşayiət olunan elementlərin
geokimyəvi xüsusiyyətləri (Böyük Qafqazın cənub yamacı)**

N. A. İmamverdiyev, N. A. Səttar-zadə
Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Məqalədə Filizçay yatağının kolçedan-polimetall filizlərinə müşayiət olunan elementlərin (kadmium, indium, selenium, tellur, vismut və s.) yayılması nəzərdən keçirilir. Məlum olmuşdur ki, kadmium, sink və qurğuşunun konsentrasiyası arasında yüksək korrelyasiya əlaqəsi mövcuddur ($r = +0.790$ və $r = +0.616$). Kadmium və mis arasındakı korrelyasiya əlaqəsi mənfidir ($r = -0.414$). İndium - sink və kadmium ilə əlaqələndirilir. Filizçay yatağının yuxarı dərinlik horizontlarında və qərb cinahında nisbətən yüksək miqdarda indium mövcuddur. Elementin mineral-konsentratörü sink sulfiddir. Sürmə ilə arsen arasında yüksək korrelyasiya əlaqəsi müəyyən edilmişdir ($r = +0.663$). Bu elementlərin sink, qurğuşun, gümüş, vismut və kadmium ilə əhəmiyyətli korrelyasiya əlaqəsi var. Yatağın tərkibində təbii filiz növlərinin daimi yerləşməsi ilə əlaqədar olaraq, bu elementlərin konsentrasiyalarının müntəzəm dəyişməsi müəyyən edilir. Filizçay yatağında zərərli elementlərin (civə, sürmə və arsenin) paylanması şaquli və üfüqi zonallığın mövcudluğu aşkarlanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, sürmə və arsenin tərkibi yuxarıdan dərin horizontlara doğru tədricən azalır. Sürmə və arsenin konsentrasiyası qərb cinahdan şərqə doğru azalır, qərb cinahdan mərkəzi hissəyə doğru civənin miqdarı bir qədər artır, şərq cinahda isə onun konsentrasiyası minimuma enir, selen mərkəzi hissədən daha çox cəmləşir. Müəyyən edilmişdir ki, Filizçay yatağının formalaşması mineraloji rayonlaşdırmanın ümumi sxeminə uyğun olaraq kimyəvi elementlərin zonal paylanması ilə müşayiət olunmuşdur.

Açar sözlər: müşayiət olunan elementlər; korrelyasiya; zonallıq; kimyəvi elementlərin paylanması.