#### — ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ =

VДК 553.411 DOI:10.23671/VNC.2019.2.31977

### Сопоставление химико-аналитических и геологических данных по золотоносным интервалам буровых скважин в пределах Зыгыркольской зоны Тырныаузского рудного поля

С. Г. Парада<sup>1,2</sup>, д. г.-м. н., М. Ю. Маркин<sup>3</sup>, к. г.-м. н., В. В. Столяров<sup>3</sup>, к. г.-м. н., Х.О. Чотчаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: segripa@rambler. ru

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Южный научный центр РАН», Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: parada@ssc-ras. ru

<sup>3</sup>ООО «Арго», Россия, 344018, г. Ростов-на-Дону, ул. Мечникова, 116, info@argo-geo.com

Аннотация: Проведен сопоставительный анализ документации керна буровых скважин и результатов химико-аналитических определений золота в керновых пробах из рудных интервалов золотоносных скарнов Зыгыркольской зоны. Показано, что содержания золота в рудных интервалах не зависят от типа, форм проявления, количества и состава рудных минералов. Отсутствие связи концентраций золота с сульфидами, магнетитом и гематитом подтвердилось и при исследовании проб-протолочек, составленных из «хвостов» 50 бороздовых проб, отобранных из рудных интервалов, в которых содержания золота по результатам химического анализа составили от 0,6 до 9,9 г/т. Результаты минералогического анализа шлихов показали крайнюю бедность их рудными минералами. В минералогических пробах руд с максимальными содержаниями золота установлены частицы самородного золота, при полном отсутствии в этих пробах сульфидов и других рудных минералов. Множественная корреляция, выполненная по массиву химико-аналитических данных, полученных по результатам кернового опробования золотоносных скарнов Зыгыркольской рудоносной зоны, показала, что золото достаточно сильно положительно коррелируется только с висмутом. Это соответствует минералогическим данным о наличии ассоциации самородного золота с самородным висмутом, установленной по результатам электронно-микроскопических исследований. Установлено также отсутствие значимой корреляции золота и серебра, что может свидетельствовать о разных этапах золотой и серебряной минерализаций. Относительно сильная положительная корреляция серебра со свинцом, сурьмой, цинком, мышьяком, марганцем и оловом свидетельствует о связи этого элемента с проявлениями сульфидной минерализации, содержащими галенит, пираргирит и другие сульфоантимониты, сульфоарсениды и сульфостанаты, а также алабандин. Таким образом, установлено, что золотое оруденение в скарнах Зыгыркольской зоны является монометалльным (чисто золотым), образовавшимся раньше так называемых сопутствующих сульфидных и сульфидно-магнетитовых минерализаций Тырныаузского рудного поля.

**Ключевые слова:** золото, сульфиды, скарны, руда, химический анализ, месторождение Тырныауз, Северный Кавказ.

**Для цитирования:** Парада С.Г., Маркин М.Ю., Столяров В.В., Чотчаев Х.О. Сопоставление химикоаналитических и геологических данных по золотоносным интервалам буровых скважин в пределах Зыгыркольской зоны Тырныаузского рудного поля. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019; 9 (2): 56-68. DOI:10.23671/VNC.2019.2.31977.

#### Введение

Крупнейшее на Северном Кавказе Мо-W месторождение Тырныауз изучалось и эксплуатировалось с 1940 до 2001 г. Из молибденовых и вольфрамовых руд попутно извлекалось, кроме меди и висмута еще и золото. Содержания последнего были не высокими (около 0,1 г/т), тем не менее, за весь период эксплуатации месторождения извлечено около 25 т. В 2010-2011 гг. в ходе поисковых работ с участием авторов открыты промышленно значимые проявления золотого оруденения, связанные с тырныаузским неоинтрузивным комплексом [Емкужев, Джубуев, 2012; Parada, Stolyarov, 2012]. В дальнейшем были определены особенности геологического строения золотоносного участка и условия локализации золото-скарновых руд [Маркин и др., 2014; Тарасов и др., 2015; Парада, Столяров, 2017], разработана прогнознопоисковая модель [Столяров, 2015], выявлена геохимическая зональность оруденения [Парада, 2019]. В последнее время подобные объекты с крупными запасами золота открыты на Аляске (месторождение Пэбблэ) [Nie, 2015], в Мексике (месторождение Лос Филос) [Canadian Mining Journal, 2017] на Тянь-Шане (месторождение Чорух-Дайрон) [Soloviev, Kryazhev, 2017], на Полярном Урале (месторождение Петропавловское) [Vikentyev et all., 2017]. В качестве объектов-аналогов всех этих месторождений могут рассматриваться месторождения золото-порфирового типа [Hollister, 1992; Sillitoe, 2000]. Таким образом, открытие золоторудных объектов на Северном Кавказе – закономерное и принципиально важное событие, которое позволяет вернуться к переоценке металлогенического потенциала тырныаузского и других неоинтрузивных комплексов региона, а также оптимизации поисковых критериев [Заалишвили и др., 2015].

Считалось, что золото в Мо-W рудах находится в виде тонкодисперсной примеси в сульфидах и в химически связанной форме (теллуриды и сложные сульфосоли) в составе так называемых сопутствующих (основному Мо-W оруденению) сульфидных и сульфидно-магнетитовых минерализаций [Родзянко и др., 1973; Граменицкий, 1978, Кулиш, Нырков, 2007 и др.]. Однако итоги поисковых работ на золото 2010-2014 гг. и результаты изучения минералогических особенностей золотоносных руд [Столяров и др., 2016; Parada и др., 2017] показали, что выявленное собственно золотое оруденение в скарнах Зыгыркольской зоны не обнаруживает строгой приуроченности к так называемым сопутствующим сульфидным рудам.

# Сопоставление химико-аналитических и геологических данных

Сопоставительный анализ документации керна буровых скважин и результатов химико-аналитических определений золота и других элементов показал, что содержания золота в рудных интервалах не зависят ни от типа сопутствующих руд, ни от форм проявления, количества и состава рудных минералов. Показателен в этом отношении золотоносный интервал 105,0-108,2 м в скважине 8, пройденной на Нижнем участке. Золотоносный интервал представлен прослоем карбонатизированного гранат-пироксенового скарна в серых тонкослоистых мраморах (рис. 1).

Рудная минерализация здесь представлена прожилками, вкрапленностью и гнездами пирит-халькопиритового состава с примесью пирротина и сфалерита, содержания которых в сумме на массу скарна не превышают 5%. В 2-х пробах из этого 3-х метрового интервала содержание золота составило 10,2 и 11,9 г/т, еще в одной пробе – 3,1 г/т. В верхнем зальбанде скарна на границе с мрамором в интер-

9 (2) 2019

|   | Керно<br>Сог            | зое опробование /<br>re sampling | ,                          | Результаты ана-<br>лиза проб, г/т/Тh |                        |  |
|---|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------|--|
| Геологический<br>разрез /                                     | o6 /<br>bers            | интервал                         | , м ,<br>, п , н           | results of<br>sis of sam             | the analy<br>ples, g/t |  |
| Geological cross-<br>section                                  | Homepa np<br>Sample num | От / До /<br>From To             | Длина проб<br>Sample lengt | Au                                   | Ag                     |  |
| ▲. ▼  |                         | 0 22                             |                            |                                      |                        |  |
| V   | Г-С8-1                  | 22.0 24.0                        | 2.0                        | 0,24                                 | 0,03                   |  |
| Gr-Ix   | <u>Г-C8-2</u><br>Г-C8-3 | 24.0 24.75<br>24.75 25.2         | 0.75                       | 0,96                                 | 0,01                   |  |
| - CI  | Г-С8-4                  | 25.2 26.5                        | 1.3                        | 1,1                                  | 0,1                    |  |
| 4   | Г-С8-5                  | 26.5 27.2                        | 0.7                        | 1,3                                  | 0,5                    |  |
| Gr . Gr-Pt  | Г-С8-6                  | 27.2 28.5                        | 1.3                        | 12,76                                | 0,03                   |  |
|   | Г-С8-7                  | 28.5 29.5                        | 1.0                        | 2,42                                 | 0,01                   |  |
|   | Г-С8-8                  | 29.5 30.5                        | 1.0                        | 0,44                                 | 0,02                   |  |
| GrPx *  | F-C8-9                  | 30.5 31.7                        | 1.2                        | 0,55                                 | 0,02                   |  |
| Gr  | <u>Г-C8-10</u>          | 31.7 32.2                        | 0.5                        | 0,86                                 | 0,02                   |  |
| ╤ <u>╶</u> ┷╦┵╹╼<br>╤ <u>╶</u> ╈╔╾┖ <sub>╼</sub> ╸<br>╼╼┶═┙╹╺ | <u>Г-С8-11</u>          | 32.2 33.2                        | 1.0                        | 0,35                                 | 0,03                   |  |
|   | Г-С8-33                 | 54.2 55.2                        | 1.0                        | 0,01                                 | 0,02                   |  |
| 主義に   | <u>Г-С8-3</u> 4         | 55.2 56.2                        | 1.0                        | 0,03                                 | 0,005                  |  |
| Tint  | Г-С8-35                 | 56.2 57.7                        | 1.5                        | 0,3                                  | 0,1                    |  |
| Gr-IPX  | Г-С8-36                 | 57.7 58.2                        | 0.5                        | 1,11                                 | 0,06                   |  |
| t   | <u>Г-С8-37</u>          | 58.2 59.2                        | 1.0                        | 0,47                                 | 0,02                   |  |
|   | Г-С8-38                 | 59.2 60.2                        | 1.0                        | 0,77                                 | 0,1                    |  |
| Gr-PX "   | <u>Г-С8-39</u>          | 60.2 61.2                        | 1.0                        | 1,92                                 | 0,02                   |  |
|   | <u>Г-С8-40</u>          | 61.2 62.2                        | 1.0                        | 2,58                                 | 0,03                   |  |
|   | <u>г-С8-41</u>          | 62.2 63.1                        | 0.9                        | 0,5                                  | 0,02                   |  |
|   | <u>Г-С8-42</u>          | 63.1 64.1                        | 1.0                        | 25,9                                 | 1                      |  |
|   | <u>Г-С8-43</u>          | 64.1 65.1                        | 1.0                        | 0,76                                 | 0,02                   |  |
|   | <u>Г-С8-81</u>          | 101.0 102.0                      | 1.0                        | 0,01                                 | 0,03                   |  |
|   | Г-С8-82                 | 102.0 103.0                      | 1.0                        | 0,37                                 | 0,3                    |  |
|   | <u>Г-С8-83</u>          | 103.0 104.0                      | 1.0                        | 0,11                                 | 0,008                  |  |
| IT  | Г-С8-84                 | 104.0 105.0                      | 1.0                        | 0,07                                 | 1                      |  |
| G-Px  | <u> </u>                | 105.0 106.0                      | 1.0                        | 10,17                                | 2                      |  |
| XL  | Г-С8-86                 | 106.0 107.0                      | 1.0                        | 11,87                                | 1                      |  |
|   | Г-С8-87                 | 107.0 108.2                      | 1.2                        | 3,05                                 | 0,1                    |  |
|   | Г-С8-88                 | 108.2 109.1                      | 0.9                        | 0,12                                 | 0,015                  |  |
|   | Г-С8-89                 | 109.1 110.0                      | 0.9                        | 0,07                                 | 0,01                   |  |
| <u> </u>  | <u> </u>                | <u>110.0 111.0</u>               | 1.0                        | 0,02                                 | 0,006                  |  |
|   | Г-С8-91                 | 111.0 112.0                      | 1.0                        | 0,06                                 | 0,01                   |  |
| <u> </u>  | Г-С8-92                 | 112.0 113.0                      | 1.0                        | 0,07                                 | 0,015                  |  |
| <u> </u>  | Г-С8-93                 | 113.0 114.0                      | 1.0                        | 0,11                                 | 0,01                   |  |
|   | <u>Г-С8-94</u>          | 114.0 115.0                      | 1.0                        | 0,06                                 | 0,08                   |  |
|   | Г-С8-95                 | 115.0 116.0                      | 1.0                        | 0,01                                 | 0,015                  |  |





Рис. 1. Сопоставления результатов документации керна буровой скважины и результатов определений золота и серебра в керновых пробах на примере буровой скважины 8 (Нижний участок Зыгыркольской рудоносной зоны). 1 – элювиально-делювиальные отложения; 2 – скарны; 3 – пироксен-плагиоклазовые роговики; 4 – мраморы; 5 – тектоническая зона дробления; 6 – прожилки и гнезда кальцита; 7 – а) окислы и гидроокислы железа, б) сульфиды. Буквенные индексы красного цвета: Gr – гранат, Px – пироксен, Pl – плагиоклаз /

Fig. 1. Comparison of the results documentation of the core drill-hole and results of gold and silver determination in the core drill-hole (the borehole 8, Lower plot Zygyrkol'skoi ore-bearing zone).
1 – eluvial-deluvial deposits; 2 – skarny; 3 – pyroxene-plagioclase corneas; 4 – marbles; 5 – tectonic zone of crushing; 6 – veins and calcite nests; 7 – a) oxides and hydroxides of iron, b) sulfides. Letter indices in red: Gr – garnet, Px – pyroxene, Pl – plagioclase

вале 104,7-105,1 м, выделяется зона гнездово-прожилковой рудной минерализации пирит-халькопирит-магнетитового состава с мощностью прожилков и гнездовых выделений до 7-8 см. Этот интервал большей своей частью попал в керновую пробу  $\Gamma$ -C8–84, что отразилось на аномально высоком содержании меди (более 1%), несколько повышенном содержании мышьяка (0,06%) и никак не отразилось на содержании золота (0,07 г/т). Ниже располагается интервал, где основной материал представлен скарном без заметного количества сульфидов. Содержание золота в пробе из этого интервала составило 10,2 г/т. Наличие примеси сульфидного материала из соседнего интервала в этой пробе отразилось только высоким содержанием меди (более 1%). Чисто золотоносный интервал, представленный двумя пробами ниже, выделяется геохимически по высоким содержаниям висмута (0,1-0,3%), которые не фиксируются в прилегающей сверху сульфидно-магнетитовой минерализации.

9 (2) 2019

Подобная гнездово-прожилковая пирит-халькопирит-магнетитовая минерализация с мощностью гнезд и прожилков до 7 см отмечается на отметке 127,3 м в 3,5-метровом прослое слабо золотоносного скарна с содержаниями золота от 0,1 до 0,4 г/т. Керновая проба, в состав которой попал сульфидно-магнетитовый материал, показала содержание золота 0,3 г/т, а наличие сульфидов сказалось на повышенном содержании меди (0,5%). И таких примеров можно привести много. В скважине 7 (интервал 104,5-106,0м) отмечается гнездово-прожилковая колчеданно-полиметаллическая минерализация с содержанием сульфидов до 10%. Пробирный анализ керновой пробы Г-С7–155 из этого интервала показал отсутствие золота.

Вместе с тем, наличие кварцевых и (или) кальцитовых жил повышенной до 10 см мощности приводит в отдельных случаях к всплескам повышенных содержаний золота. Так, по скважине 7 (интервал 135,5-202,8 м) выделяется тело скарнов с разно ориентированными кварц-карбонатными прожилками. Содержания золота в этом скарне до отметки 191.4 м составляют сотые – первые десятые г/т. И только керновая проба Г-С7-47 с интервала 141,1-142,6 м, где косо перебурена кальцитовая жила мощностью до 10 см, содержит золото в количестве 7,4 г/т. С более широким, чем обычно развитием прожилков крупнокристаллического кальцита в скарнах связан золотоносный интервал 192,5-200,9 м в скважине 7, где содержание золота составило от 0,6 до 4,0 г/т. Всплески содержаний золота в связи с наличием кварцевых жил или густой сети прожилков отмечаются по скважине 8. Здесь в керновых пробах Г-С8–6 и Г-С8–42 содержится золото 12,8 и 25,9 г/т, соответственно, что, согласно геологической документации связано с попаданием в пробу большого количества материала кварцевых прожилков и жил. В данном случае всплески содержаний золота сопровождаются всплесками содержаний только висмута и серебра, что указывает на отсутствие сульфидов меди, свинца и цинка. Подстилающие и перекрывающие этот золотоносный интервал породы не содержат золото.

Отсутствие связи концентраций золота с сульфидами, магнетитом и гематитом подтвердилось и при исследовании проб-протолочек, составленных из «хвостов» 50 бороздовых проб из рудных интервалов по поверхностным горным выработкам №№ 16, 31 и 38, в которых содержания золота по результатам пробирного анализа составили от 0,6 до 9,9 г/т. Остатки этих бороздовых проб были промыты на лотке с получением серого шлиха. Результаты минералогического анализа шлихов показали крайнюю бедность их рудными минералами (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1.

#### Фрагмент таблицы результатов минералогического анализа тяжелой фракции шлихов, полученных при промывке «хвостов» бороздовых проб из золотоносных интервалов пироксен-гранатовых скарнов Нижнего участка Зыгыркольской рудоносной зоны

# The fragment table, the results of mineralogical analysis of heavy fractions from gold-bearing intervals pyroxene-garnet skarns of the Lower plot Zygyrkol'skoi ore-bearing zone

|            |                         |                       |                 |                      | Минер                  | алы / ]          | Mineral                 | S                            |               |                |                              | Cananna  |
|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|------------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|---------------|----------------|------------------------------|--|
| №<br>п. п. | Магнетит /<br>Magnetite | Пироксен /<br>Piroxen | Гранат / Garnet | Хромит /<br>Chromite | Амфибол /<br>Amphibole | Эпидот / Еріdote | Карбонат /<br>Carbonate | Халькопирит/<br>Chalcopyrite | Золото / Gold | Пирит / Pirite | Арсенопирит/<br>Arsenopyrite | Содержание<br>Au в исходной<br>пробе, г/т / Au<br>content in the<br>initial sample,<br>g/t |
| 1          | Х                       | -                     | XX              | -                    | Х                      | Х                | Х                       | Х                            | -             | -              | -                            | 0,18   |
| 2          | X                       | -                     | XX              | -                    | Х                      | Х                | XX                      | X                            | -             | X              | -                            | 3,45   |
| 3          | -                       | -                     | XXX             | X                    | Х                      | -                | X                       | -                            | Х             | X              | -                            | 5,91   |
| 4          | -                       | Х                     | XX              | -                    | -                      | -                | X                       | X                            | -             | -              | -                            | 1,65   |
| 5          | X                       | -                     | XX              | -                    | X                      | Х                | XX                      | -                            | -             | X              | -                            | 2,86   |
| 6          | X                       | -                     | X               | -                    | X                      | -                | X                       | -                            | -             | -              | -                            | 0,64   |
| 7          | XX                      | -                     | XX              | -                    | X                      | -                | X                       | X                            | -             | -              | -                            | 0,77   |
| 8          | -                       | Х                     | XX              | X                    | X                      | Х                | X                       | X                            | -             | XX             | -                            | 2,48   |
| 9          | -                       | -                     | XX              | -                    | -                      | Х                | X                       | X                            | -             | X              | -                            | 2,54   |
| 10         | XX                      | -                     | XX              | -                    | Х                      | Х                | X                       | -                            | Х             | -              | -                            | 7,32   |
| 11         | X                       | -                     | XX              | -                    | -                      | Х                | XX                      | Х                            | -             | X              | -                            | 2,52   |
| 12         | -                       | -                     | XX              | -                    | -                      | -                | X                       | -                            | -             | X              | -                            | 4,21   |
| 13         | X                       | -                     | X               | -                    | X                      | -                | XX                      | X                            | X             | X              | -                            | 9,96   |
| 14         | -                       | -                     | XX              | -                    | X                      | -                | XX                      | -                            | -             | X              | -                            | 4,89   |
| 15         | -                       | -                     | XX              | -                    | X                      | -                | X                       | -                            | -             | X              | -                            | 2,19   |
| 16         | -                       | -                     | X               | -                    | -                      | -                | X                       | -                            | -             | XX             | -                            | 0,88   |
| 17         | -                       | Х                     | XX              | -                    | -                      | -                | X                       | -                            | -             | -              | -                            | 1,18   |
| 18         | -                       | -                     | X               | -                    | Х                      | Х                | -                       | X                            | -             | X              | Х                            | 0,65   |
| 19         | -                       | -                     | X               | -                    | X                      | -                | X                       | X                            | -             | X              | Х                            | 2,55   |
| 20         | -                       | -                     | XX              | X                    | X                      | -                | -                       | X                            | -             | -              | -                            | 2,07   |
| 21         | -                       | -                     | XX              | -                    | X                      | -                | X                       | X                            | -             | XX             | Х                            | 2,0  |
| 22         | X                       | -                     | X               | -                    | X                      | -                | -                       | -                            | X             | X              | -                            | 6,4  |
| 23         | -                       | -                     | X               | -                    | -                      | -                | -                       | X                            | -             | X              | -                            | 0,74   |
| 24         | -                       | -                     | X               | -                    | -                      | -                | X                       | -                            | -             | X              | -                            | 2,45   |
| 26         | X                       | Х                     | X               | -                    | X                      | Х                | -                       | -                            | -             | X              | -                            | 1,08   |
| 27         | -                       | -                     | X               | -                    | X                      | -                | -                       | -                            | Х             | X              | -                            | 7,7  |
| 28         | Х                       | -                     | XX              | X                    | -                      | -                | XX                      | -                            | -             | XX             | Х                            | 2,44   |

Примечание: X – содержание минерала от 1до10%, XX – от 10 до 50%, XXX – от 50 до 100% / Note: X – the content of mineral from 1до10%, XX 10-50%, XXX – 50 to 100%

Обнаружены самородное золото, пирит, магнетит, халькопирит, арсенопирит, галенит, хромит, а также некоторые породообразующие минералы. Наиболее распространенными из них оказался пирит, в меньшей степени – магнетит и халькопирит.

Пирит установлен в 41 из 50 проб, в 9 пробах он не обнаружен, в т.ч., в пробе P-16A-33, где содержание золота по пробирному анализу составило 7,3 г/т. Из этих 41 проб, только в 8 – пирит отмечен в повышенных количествах, в т.ч., в пробах с низким содержанием золота 0,8 г/т (P-16B-9). Магнетит установлен в 21 пробе. Повышенные его количества отмечены всего в 2-х пробах, причем одна из них содержит минимальное количество золота (0,7 г/т), другая – повышенное (7,3 г/т). Халькопирит также обнаружен только в 21 пробе из 50. Заметно повышенных его количеств не отмечено ни в одной пробе. Арсенопирит обнаружен в 8 пробах с содержаниями золота по результатам пробирного анализа от 0,6 до 2,5 г/т. Галенит определен в 5 пробах с содержанием золота от 1,2 до 3,9 г/т.

Оказалось, что в 4-х пробах с максимальными содержаниями золота (5,9; 6,4; 7,7; 9,9 г/т), в шлихах из которых установлено самородное золото, такие минералы, как халькопирит, арсенопирит и галенит не обнаружены. Это еще раз подтверждает отсутствие связи золотого оруденения в скарнах Зыгыркольской зоны с сульфидами и другими рудными минералами.

Результаты спектральных анализов бороздовых проб по золотоносным интервалам в скарнах (таб. 2) подтверждают минералогические данные и свидетельствуют об отсутствии экономически значимых концентраций других рудных элементов, и вероятно, о «чисто» золотом (монометалльном) характере оруденения скарнов Зыгыркольской зоны. Некоторое исключение составляют сульфидные руды Перевального скарна, где содержания серебра достаточно высокие. Однако масштабы их проявления незначительные.

Таблица 2 / Table 2.

#### Средние содержания рудных элементов в золотоносных скарнах Зыгыркольской зоны по результатам спектрального анализа бороздовых и керновых проб; золото – по результатам пробирного анализа с ICP окончанием

|                           |  | •                              |                                | •                   |                     |                    |                     | 0                   |                                |          |          |          |
|---------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Участок / Site            | Материал / кол-во<br>проб /<br>Material / number of<br>samples       | Au,<br><sub>Γ/T</sub> /<br>g/t | Ag,<br><sub>Γ/T</sub> /<br>g/t | Sn,<br>г/т /<br>g/t | Мо,<br>г/т /<br>g/t | W,<br>г/т /<br>g/t | Ві,<br>г/т /<br>g/t | Рb,<br>г/т /<br>g/t | Sb,<br><sub>г/т</sub> /<br>g/t | As,<br>% | Cu,<br>% | Zn,<br>% |
| Перевальный /<br>Crossing | Сульфидная руда /<br>Sulphide ore / 370                              | 0,33                           | 19,0                           | 30                  | 4                   | 137                | 30                  | 360                 | 460                            | 0,19     | 0,12     | 0,19     |
| Средний /<br>Middle       | Пироксеновые Скар-<br>ны / Ругохепе scarns<br>/ 379                  | 0,35                           | 0,55                           | 170                 | 56                  | 10                 | 20                  | 80                  | 30                             | 0,09     | 0,01     | 0,01     |
| Нижний /<br>Lower         | Пироксен-грана-<br>товые скарны /<br>Pyroxene-garnet<br>scarns / 146 | 0,56                           | 0,1                            | 110                 | 37                  | 16                 | 120                 | 30                  | 20                             | 0,03     | 0,02     | 0,02     |

Average contents of ore elements in gold-bearing skarn zone Zygyrkol'skoi the results of spectral analysis of trench and core drill-hole; gold – according to the results of the assay analysis with ICP ending

| ri<br>Cr                        | uM         | !N     | 60                   |                     | N         | οM                  | us       | 45         | ۶A                                  | 18                        | 84                         |                        | qd                            | qa<br>uz                              |
|---------------------------------|------------|--------|----------------------|---------------------|-----------|---------------------|----------|------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
|                                 |            |        | '  <br>              |                     |           |                     |          |            |                                     | ,                         | ,                          | ,                      | ,<br>,<br>,<br>,              | , , , , , , , , , , , , , , , , , , , |
|                                 |            |        |                      |                     |           |                     |          |            |                                     |                           |                            |                        |                               | 1,00                                  |
|                                 |            |        |                      |                     |           |                     |          |            |                                     |                           |                            |                        | 1,00                          | 0,36 1,00                             |
|                                 |            |        |                      |                     |           |                     |          |            |                                     |                           | 0                          | 1,00                   | 0,68 1,00                     | 0,42 0,68 1,00                        |
|                                 |            |        |                      |                     |           |                     |          |            |                                     | 00,                       | 3 1,00                     | 0,43 1,00              | 0,34 0,43 <b>1,00</b>         | <b>0,16</b> 0,34 0,43 1,00            |
|                                 |            |        |                      |                     |           |                     |          |            | 8                                   | ,07 1,00                  | 9 0,07 1,00                | 0,39 0,07 1,00         | 0,36 0,39 0,07 1,00           | 0,35 0,36 0,39 0,07 1,00              |
|                                 |            |        |                      |                     |           |                     | 1,00     |            | .83                                 | ,17 0,83                  | 4 0,17 0,83                | 0,54 0,17 0,83         | 0,53 0,54 <b>0,17</b> 0,83    | 0,42 0,53 0,54 0,17 0,83              |
|                                 |            |        |                      |                     |           | 8                   | 0,40     | _          | ) <mark>,34</mark> (                | ,46 0,34 (                | <mark>5</mark> 0,46 0,34 ( | 0,35 0,46 0,34 (       | <b>0,17</b> 0,35 0,46 0,34 (  | 0,36 0,17 0,35 0,46 0,34 (            |
|                                 |            |        |                      |                     | 00        | , <mark>29</mark> 1 | ,08 0    | 0          | 1,05 O                              | ,24 0,05 0                | 9 0,24 0,05 0              | 0,09 0,24 0,05 0       | 0,03 0,09 0,24 0,05 0         | 0,08 0,03 0,09 0,24 0,05 0            |
|                                 |            |        |                      | 1,00                | 10 1      | . <mark>38</mark> 0 | ,19 0    | 0          | 0 <sup>17</sup> 0                   | ,07 0,17 0                | 2 0,07 0,17 0              | 0,12 0,07 0,17 0       | 0,14 0,12 0,07 0,17 0         | 0,22 0,14 0,12 0,07 0,17 0            |
|                                 |            |        | 1,00                 | 000                 | λ02 C     | 23 -0               | 9        | ð          | ) <sup>0</sup> 0- 60 <sup>°</sup> ( | ,13 -0,09 -0,0            | 4 -0,13 -0,09 -0,0         | -0,14 -0,13 -0,09 -0,0 | -0,06 -0,14 -0,13 -0,09 -0,0  | -0,12 -0,06 -0,14 -0,13 -0,09 -0,0    |
|                                 |            | 1,00   | 0,02                 | 3,03 (              | ),11 C    | 04                  | 13 0     | റ്         | 1,08 O,                             | ,03 0,08 0,               | 4 -0,03 0,08 0,            | 0,04 -0,03 0,08 0,     | 0,00 0,04 -0,03 0,08 0,       | 0,21 0,00 0,04 -0,03 0,08 0,          |
|                                 | 1,00       | 0,70   | 0,02                 | ) 10 <sup>0</sup> 0 | ),02 -C   | ,12 -0              | 9        | 2          | 1,05 0,0                            | ,07 -0,05 0,0             | 2 -0,07 -0,05 0,0          | -0,02 -0,07 -0,05 0,0  | · -0,03 -0,02 -0,07 -0,05 0,0 | 0,07 -0,03 -0,02 -0,07 -0,05 0,0      |
|                                 | 0,02 1,00  | 0,04   | 0,29 (               | ),16 -t             | ), TT (   | ,42 0               | 1 0      | 0,4        | 1,43 0,4                            | ,22 0,43 0,4              | 5 0,22 0,43 0,4            | 0,35 0,22 0,43 0,4     | 0,28 0,35 0,22 0,43 0,4       | 0,20 0,28 0,35 0,22 0,43 0,4          |
| 1,00                            | 0,04 -0,43 | 0,17 ( | 0,46                 | 1,21                | 0,02 C    | 25 0                | ٩<br>۲   | 2          | 115 -0,0                            | ,12 -0,15 -0,0            | 4 -0,12 -0,15 -0,0         | -0,14 -0,12 -0,15 -0,0 | 0,00 -0,14 -0,12 -0,15 -0,0   | 0,01 0,00 -0,14 -0,12 -0,15 -0,0      |
| 5 0,82 1 <b>,00</b>             | 0,04 -0,45 | 0,24 ( | 0 <mark>,38</mark> ( | 0,15 (              | ),00<br>C | ,25 0               | 0        | O,         | 0,16 -0,                            | ,11 -0,16 -0,             | 9 -0,11 -0,16 -0           | -0,09 -0,11 -0,16 -0,  | -0,02 -0,09 -0,11 -0,16 -0    | 0,07 -0,02 -0,09 -0,11 -0,16 -0       |
| 0,05 0,11 1,6                   | 0,79 0,00  | 0,76   | 0,00                 | ),06<br>(           | ),04 –C   | ,16 -0              | 0        | ð          | 0,05 0,0                            | ,09 -0,05 0,              | 2 -0,09 -0,05 0,           | -0,02 -0,09 -0,05 0,   | -0,03 -0,02 -0,09 -0,05 0,    | 0,11 -0,03 -0,02 -0,09 -0,05 0,       |
| 0,50 0,57 0,6                   | 0,04 -0,31 | 0,16 4 | 0,20 (               | ),11 (              | ),07 C    | 20                  | 0.       | o"         | 0-<br>10'u                          | ,13 -0,01 -0              | 6 -0,13 -0,01 -0           | -0,06 -0,13 -0,01 -0,  | -0,05 -0,06 -0,13 -0,01 -0    | 0,02 -0,05 -0,06 -0,13 -0,01 -0       |
| 8 0,66 0,72 -0,0                | 0,02 -0,48 | 0,15 4 | 0,31 (               | 0,07                | ),01<br>C | 02                  | ,16      | O.         | 0                                   | ,01 -0,23 -0              | 1 -0,01 -0,23 -0           | -0,11 -0,01 -0,23 -0   | -0,08 -0,11 -0,01 -0,23 -0    | 0,04 -0,08 -0,11 -0,01 -0,23 -0       |
| 0,07 0,08 0,1                   | 0,16 0,04  | 0,28 ( | 0,07                 | J,16 −t             | ),30 C    | ,52 0               | ,02<br>0 | 0          | 0800                                | , <mark>36 -0,08 0</mark> | 2 <mark>0,36-0,08</mark> 0 | 0,02 0,36 -0,08 0      | -0,04 0,02 0,36 -0,08 0       | 0,17 -0,04 0,02 0,36 -0,08 0          |
| <b>7</b> 0,69 0,70 <b>−0,</b> 0 | 0,01 -0,47 | 0°07   | 0 <mark>,38</mark> ( | ),01 (              | 0,10 C    | 32                  | 0,24     | _          | 1,26                                | ,13 -0,26 -(              | 7 -0,13 -0,26 -(           | -0,17 -0,13 -0,26 -6   | -0,09 -0,17 -0,13 -0,26 -(    | -0,11 -0,09 -0,17 -0,13 -0,26 -(      |
| 0,57 0,62 0,6                   | 0,06 -0,50 | 0,16 ( | 0,43                 | 111                 | 0,10 -C   | 42 -0               | 0,33     | - <b>T</b> | .36                                 | ,18 -0,36                 | 6 -0,18 -0,36 ·            | -0,26 -0,18 -0,36 -    | -0,16 -0,26 -0,18 -0,36 -     | -0,10 -0,16 -0,26 -0,18 -0,36         |
| 0,19 -0,32 -0,0                 | 0,06 0,20  | 0,14 4 | 0,06                 | ) 00 (              | ),04 L    | ,05 0               | 0,08     | ~          | 1,13                                | ,00 0,13                  | 9 0,00 0,13                | -0,09 0,00 0,13        | 0,05 -0,09 0,00 0,13          | -0,06 0,05 -0,09 0,00 0,13            |
| 5 -0,29 -0,31 -0,1              | 0,09 0,16  | 0,11 4 | 0,12 -(              | ),05 -(             | ),03 L    | ,25 0               | 0,22 0,  |            | ,29                                 | ,40 0,29 (                | 9 0,40 0,29 (              | 0,09 0,40 0,29 (       | 0,08 0,09 0,40 0,29 (         | 0,01 0,08 0,09 0,40 0,29 (            |
|                                 |            |        |                      |                     |           | V                   | 12.0     |            |                                     | Ľ                         | 50.40                      | 04-05                  | <u>20,5</u> / E 0.4 -0 5      |                                       |
|                                 |            |        |                      |                     |           |                     | ;        |            |                                     | 1                         |                            |                        |                               |                                       |

Fig. 2. Correlation matrix for ore-forming elements gold-skarn ore zone Z Zygyrkol'skoi. Numbers in the matrix – correlation coefficients коэффициенты корреляции /

62

Другое следствие из приведенной таблицы заключается в том, что золотоносность скарнов Нижнего, Среднего и Перевального участков связана с различными минеральными ассоциациями. Так, из трех изученных участков пироксен-гранатовые скарны Нижнего участка содержат самые высокие содержания золота и висмута и самые низкие – серебра. Сульфидные руды Перевального участка содержат самые высокие содержания серебра, меди, цинка, свинца, мышьяка, сурьмы, что естественно для сульфидных руд. При этом содержания золота и висмута, свойственные безсульфидным рудам Нижнего участка являются самыми низкими. Также пониженными являются содержания молибдена и олова.

Подобные результаты получены для Cu – Au месторождения Юбилейное (Западный Казахстан) с использованием комбинации количественных петрографических и геохимических данных, в результате которых показано различие сульфидной и порфировой минерализаций [Shatov et al., 2014].

Множественная корреляция рудных элементов, выполненная нами по результатам кернового опробования золотоносных интервалов в скарнах Зыгыркольской зоны показала следующие результаты (рис. 2).

Таким образом, золото положительно коррелируется только с висмутом. Это соответствует минералогическим данным о наличии ассоциации самородного золота с самородным висмутом (рис. 3).



50м/т Эпектронное изображени

| Спектр /<br>Spectrum | 0     | Ca   | Ag   | Te   | Au    | Bi    |
|----------------------|-------|------|------|------|-------|-------|
| 1                    | -     | -    | 5,66 | 0,15 | 93,88 | 0,23  |
| 2                    | -     | -    | 5,99 | 0,41 | 92,93 | 0,67  |
| 3                    | 23,12 | 0,64 | -    | -    | -     | 76,24 |

*Рис. 3. Частицы самородного золота и самородного висмута под электронным микроскопом и их химический состав по результатам волнового дисперсионного микроанализа /* 

Fig. 3. Particles of native gold and native bismuth under an electron microscope and their chemical composition according to the results of wave dispersion microanalysis

Причем, ассоциация самородного золота с самородным висмутом и висмутином является, скорее всего, более ранней и более тесной, чем ассоциация с тетрадимитом и жозеитом. Эти два теллурида висмута являются членами теллуридовой ассоциации в которую также входят теллуриды золота. Эти данные подтверждают наличие ассоциации химически связанного в теллуридах золота [Столяров и др., 2016; Parada и др., 2017].

Обращает внимание отсутствие сколь-нибудь значимой корреляционной связи золота с серебром, что может свидетельствовать о разных этапах золотой и серебряной минерализаций. Наиболее сильные корреляционные связи серебро обнаруживает со свинцом (0,68) и сурьмой (0,54), заметно меньше с висмутом (0,43), цинком (0,42), мышьяком (0,39), марганцем (0,35) и оловом (0,34). Высокая связь со свинцом свидетельствует о том, что основная масса серебра входит в состав галенита. Связь с сурьмой обусловлена, скорее всего, наличием серебра в составе пираргирита (Ag<sub>3</sub>SbS<sub>3</sub>) и других сульфоантимонитов, что связано с термодинамическими особенностями системы Ag – Sb – S [Keighin, Honey, 1969], а также с мышьяком и оловом – в связи с вхождением серебра в состав сульфоарсенидов и сульфостанатов, что подтверждается высокими корреляционными связями мышьяка с сурьмой (0,83) и оловом (0,4). Корреляция серебра с марганцем обусловлена наличием алабандина (MnS), зафиксированного в данной минеральной ассоциации по результатам микроскопического изучения. Это косвенно подтверждается высокой положительной корреляционной связью (r=0,41-0,43) марганца с мышьяком, сурьмой и оловом.

#### Выводы

1. Сопоставление данных о содержаниях золота, полученных по результатам пробирного анализа керновых проб, с результатами геологической документации керна скважин показывает, что содержания золота в рудных интервалах золотоносных скарнов Зыгыркольской зоны не обнаруживают зависимости от типа, форм проявления, количества и состава рудных минералов.

2. В минералогических пробах руд с максимальными содержаниями золота установлены частицы самородного золота, при полном отсутствии в этих пробах сульфидов и других рудных минералов.

3. Множественная корреляция, выполненная по массиву химико-аналитических данных, полученных по результатам кернового опробования золотоносных скарнов Зыгыркольской рудоносной зоны, показала, что золото достаточно сильно положительно коррелируется только с висмутом. Это соответствует минералогическим данным о наличии ассоциации самородного золота с самородным висмутом, установленной по результатам электронно-микроскопических исследований.

4. Отсутствие сколь-нибудь значимой корреляции золота и серебра, может свидетельствовать о разных этапах золотой и серебряной минерализаций.

5. Относительно сильная положительная корреляция серебра со свинцом, сурьмой, цинком, мышьяком, марганцем и оловом свидетельствует о связи этого элемента с проявлениями сульфидной минерализации, содержащими галенит, пираргирит и другие сульфоантимониты, сульфоарсениды и сульфостанаты, а также алабандин.

6. Таким образом, золотое оруденение в скарнах Зыгыркольской зоны является монометалльным (чисто золотым), образовавшимся раньше так называемых сопутствующих сульфидных и сульфидно-магнетитовых руд. Его можно отнести к золото-порфировому типу.

#### Литература

1. Граменицкий Е. Н. Основные черты минералогии и зональности послескарновых продуктивных метасоматитов Тырныауза / Е. Н. Граменицкий, Н. Г. Зиновьева, О. В. Кононов, И. В. Нестеров // Очерки физико-химической петрологии. – 1978. – Т. 7. – С. 13-26.

2. Емкужев А.С., Джубуев Н.С. Минерально-сырьевая база Кабардино-Балкарской Республики // Минерально-сырьевые ресурсы России. Экономика и управление. – 2012. – № 1. – С. 42-55.

3. Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О., Невский Л.Н., Гогичев Р.Р. Оптимизация геофизических и геохимических критериев поисков месторождений известных рудных формаций горной части Республики Северная Осетия-Алания. // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 3. – С. 28-62.

4. Кулиш Е.А., Нырков Е.А. Топоминералогия и прогнозно-поисковая модель вольфрамового оруденения Северного Кавказа. – Киев: Логос, 2007. – 254 с.

5. Маркин М. Ю., Столяров В. В., Шишкалов И. Ю. Геологические условия локализации золотого оруденения Северного фланга Тырныаузского рудного поля // Вестник Южного научного центра. – 2014. – Т. 10. № 2. – С. 44-51.

6. Парада С. Г. Выявление геохимической зональности эндогенного оруденения по вторичным ореолам рассеяния на примере Зыгыркольской зоны (Северный фланг Тырныаузского рудного узла) // Отечественная геология. – 2019. – № 1. – С. 68-78.

7. Парада С.Г., Столяров В.В. Условия локализации и золотоносность скарнов Зыгыркольской рудной зоны (Кабардино-Балкарская Республика) // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 3. – С. 95-110.

8. Родзянко Н. Г., Нефедов Н. К., Свириденко А. Ф. Редкометалльные скарны Тырныауза. – М.: Недра, 1973. – 215 с.

9. Столяров В.В. Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения в скарнах Северного фланга Тырныаузского рудного поля (Кабардино-Балкарская Республика) // Руды и металлы. – 2015. – № 3. – С. 25-37.

10. Столяров В.В., Парада С.Г., Попов Ю.В., Назаренко А.В. Типоморфизм самородного золота из скарнов Тырныаузского рудного узла (Кабардино-Балкарская Республика) // Наука Юга России, – 2016. – Т. 12. № 1. – С. 32-42.

11. Тарасов В. А., Емкужев М. С., Парада С. Г., Столяров В. В. Геофизические методы при поисках золоторудной минерализации на флангах Тырныаузского рудного узла // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015. – № 1. – С. 109-117.

12. Leagold begins underground development of Bermejal deposit at Los Filos // Canadian Mining Journal. –2017. – № 25. September. http://www.Canadianminingjournal. com/news/ gold-leagold-begins-underground-development-bermejal-deposit-los-filos

13. Hollister V. F. On a proposed plutonic porphyry gold deposit model // Nat. Resour. Res. – 1992. – Vol. 1. Iss. 4. – Pp. 293-302.

14. Keighin C. W., Honey R. M. The system Ag - Sb - S from 600°C to 200°C // Miner Deposita. – 1969. – Vol. 4. Iss. 2. – Pp. 153-171.

15. Nie F.? Jiang Z., Li Q., Wang F. The discovery of the Pebble giant porphyry Cu-Au-Mo deposit in Southwest Alaska. Usa, and its enlightenment significance. // Geol. Bull. China. -2015. - Vol. 34. No 6. - Pp. 999-1010.

16. Parada S. G., Stolyarov V. V. Relation of gold mineralization on the northern flank of the Tyrnyauz deposit to intruzive complexes, Kabardino-Balkar Republic // Reports

Earth Sciences. – 2012. – Vol. 445. № 2. – Pp. 939-942.

17. Parada S. G., Stolyarov V. V., Popov Y. V. New type of gold mineralization of the Tyrnyauz ore cluster (Kabardino-Balkar Republic) // Reports Earth Sciences. – 2017. – Vol. 477. № 1. – Pp. 1256-1259.

18. Shatov V. V., Moon C. J., Seltmann R. Discrimination between volcanic associated massive sulphide and porphyry mineralization using a combination of quantitative petrographic and rock geochemical data: A case study from the Yubileinoe Cu – Au deposit, western Kazakhstan // J. Geochem. Explor. – 2014. – Vol. 147. – Pp. 26-36.

19. Sillitoe R.H. Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery // Rev. Econ. Geol. – 2000. – Vol. 13. – Pp. 315-345.

20. Soloviev S.G., Kryazhev S.G. Geology, mineralization, and fluid inclusion characteristics of the Chorukh-Dairon W-Mo-Cu skam deposit in the Middle Tien Shan, Northern Tajikistan // Ore Geol. Rev. – 2017. – No. 80. – Pp. 79-102.

21. Vikentyev I.V., Ivanova Y.N., Tyukova E.E., Sobolev I.D., Abramova V.D., Vykhristenko R. I., Groznova E. O., Mansurov R. K., Dvurechenskaya S. S., Kryazhev S. G., Khubanov V.B., Trofimov A.P. Porphyry-style petropavlovskoe gold deposit, the polar urals: geological position, mineralogy, and formation conditions // Geology of ore deposits. – 2017. – Vol. 59. No. 6. – Pp. 482-520.

#### DOI:10.23671/VNC.2019.2.31977

## Comparison of the chemical-analytical and geological Data on gold-bearing intervals of boreholes in limits of the Zygyrkol zone of Tyrnyauz ore field

S. G. Parada<sup>1,2</sup>, Dr. Sci. (Geol.-Min.), M. Yu. Markin<sup>3</sup>, Cand. Sci. (Geol.-Min.), V. V. Stolyarov<sup>3</sup>, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Kh. O. Chotchaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geophysical Institute Vladikavkaz Scientific Center Russian Academy of Sciences, 93a, Markova Str., Vladikavkaz, 362002, Russia, e-mail: segripa@rambler. ru

<sup>2</sup>Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, 41, Chekhova Str., Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: parada@ssc-ras.ru

<sup>3</sup>OOO «Argo», 116, Mechnikova Str., Rostov-on-Don, 344018, Russia, e-mail: info@ argo-geo. com

**Abstract:** The correlative analysis of borehole core documentation and results of gold determination in core samples from ore intervals of gold bearing skarns of the Zygyrkol zone has been carried out. It was shown that gold contents in the ore fntervals does not depend on the type, forms of manifestation, number and composition of ore minerals. Absence of connection of gold concentration with sulphides, magnetite and hematite has been

also confirmed at investigation of crush samples, composed of "tails" of 50 trench samples, taken from ore intervals, in which gold contents by results of chemical analysis made from 0.6 to 9,9 g/t. Results of mineralogical analysis of blacksands have shown their extreme poverty in ore minerals. In the mineralogic samples of ores with maximal gold contents there were established particles of native gold, at full absence of sulphides and other ore minerals in these samples. Plural correlation carried out on the array of chemical-analytic data, obtained by results of core sampling of gold-bearing skarns of the Zygyrkol ore bearing zone, has shown that the gold is sufficiently strong correlated only with bismuth. This corresponds to the mineralogical data about existence of association of native gold with native bismuth, established on results of electron-microscopic research. There is established also absence of significant correlation of gold and silver, what can testify in favor of different stages of golden and silver mineralizations. Relatively strong positive correlation of silver with lead, antimonium, zinc, arsenic, maqnganese and tin, testify about link of this element with manifestations of sulphide mineralization, containing galenite, pyrargyrite and other sulphoantimonites, sulphoarsenides and sulphostannates, and also alabandite. So it has been stated that golden mineralization in skarns of the Zygyrkol zone is monometallic (pure golden), formed earlier than so called attendant sulphide and sulphide-magnetite mineralizations of the Tyrnyauz ore field.

9 (2) 2019

Keywords: gold, sulphides, skarns, ore, chemical analysis, Tyrnyauz deposit, North Caucasus.

**For citation:** Parada S. G., Markin M. Yu., Stolyarov V. V., Chotchaev Kh. O. Comparison of the chemicalanalytical and geological Data on gold-bearing intervals of boreholes in limits of the Zygyrkol zone of Tyrnyauz ore field. *Geology of the South of Russia*. (in Russ.). 2019; 9 (2): 56-68. DOI:10.23671/VNC.2019.2.31977.

#### References

1. Gramenictkiy E. N. The main features of Mineralogy and zonality of post-scarn productive metasomatites of Tyrnyauz / E. N. Gramenictkiy, N. G. Zinovyeva, O. V. Kononov, I. V. Nesterov. Essays physicochemical petrology. 1978. T. 7. Pp. 13-26. (in Russ.)

2. Emkuzhev A. S., Dzhubuev N. S. The mineral resources of the Kabardino-Balkar Republic. Mineral Resources of Russia. Economics and management. 2012. No. 1. Pp. 42-55. (in Russ.)

3. Zaalishvili V.B., Chotchaev H.O., Nevskij L.N., Ol'hovskij G. P., Tibilov S.M., Gogichev R.R. Optimization of geophysical and geochemical criteria for prospecting deposits of known ore formations of the mountainous part of the Republic of North Ossetia-Alania. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2015. No. 3. Pp. 28-62. (in Russ.)

4. Kulish E.A., Nyrkov E.A. Topomineralogy and prospecting model of tungsten mineralization, North Caucasus. Kiev: Logos. 2007. 254 p. (in Russ.)

5. Markin M. Yu., Stolyarov V. V., Shishkalov I. Yu. Geological conditions of localization of the gold mineralization of the Northern flank of the Tyrnyauz ore field. Bulletin of the Southern Scientific Center. 2014. T. 10. No. 2. Pp. 44-51. (in Russ.)

6. Parada S. G. Revealing geochemical zoning of endogenous mineralization on secondary dispersion halos on example of the Zygyrkolskaya gold-ore zone (Northern flank of the Tyrnyauz ore node). Domestic geology. 2019. No. 1. Pp. 68-78. (in Russ.)

7. Parada S.G., Stolyarov V.V. localization conditions and the gold content of the scarns of Zygyrkol ore zone (Kabardino-Balkarskaya Republic). Geology and Geophysics of the South of Russia. 2017. No<sup>3</sup>. Pp. 95-110. (in Russ.)

8. Rodzynko N.G., Nefedov N.K., Sviridenko A.F. Rare metal skarns of the Tyrnyauz. M. Nedra. 1973. 215 p. (in Russ.)

9. Stolyarov V.V. Forecast-search model of gold mineralization in the skarns of the Northern flank of the Tyrnyauz ore field (Kabardino-Balkar Republic). Ores and Metals. 2015. No. 3. Pp. 25-37. (in Russ.)

10. Stolyarov V. V., Parada S. G., Popov Ju. V., Nazarenko A. V. Typomorphism of native gold from skarns of the Tyrnyauz ore node (Kabardino-Balkaria Republic). Science of South Russia. 2016. Vol. 12. No. 1. Pp. 32-42. (in Russ.)

11. Tarasov V.A., Emkuzhev M.S., Parada S.G., Stoljarov V.V.. Geophysical methods in the search for gold mineralization on the flanks of the Tyrnyauz ore cluster. Proceedings of Voronezh State Unyversity. Geology. 2015. No. 1. Pp. 109-117. (in Russ.)

12. Leagold begins underground development of Bermejal deposit at Los Filos. Canadian Mining Journal. 2017. 25 September. <u>http://www</u>. Canadianminingjournal. com/news/gold-leagold-begins-underground-development-bermejal-deposit-los-filos (in English)

13. Hollister V.F. On a proposed plutonic porphyry gold deposit model. Nat. Resour. Res. 1992. V. 1. Iss. 4. Pp. 293-302.

14. Keighin C. W., Honey R. M. The system Ag - Sb - S from 600°C to 200°C. Miner Deposita. 1969. Vol. 4. Iss. 2. Pp. 153-171.

15. Nie F., Jiang Z., Li Q., Wang F. The discovery of the Pebble giant porphyry Cu-Au-Mo deposit in Southwest Alaska. Usa, and its enlightenment significance. Geol. Bull. China. 2015. Vol. 34. No. 6. Pp. 999-1010.

16. Parada S.G., Stolyarov V.V. Relation of gold mineralization on the northern flank of the Tyrnyauz deposit to intruzive complexes, Kabardino-Balkar Republic. Reports Earth Sciences. 2012. T. 445. No. 2. Pp. 939-942.

17. Parada S.G., Stolyarov V.V., Popov Y.V. New type of gold mineralization of the Tyrnyauz ore cluster (Kabardino-Balkar republic). Reports Earth Sciences. 2017. T. 477. No. 1. Pp. 1256-1259.

18. Shatov V.V., Moon C.J., Seltmann R. Discrimination between volcanic associated massive sulphide and porphyry mineralization using a combination of quantitative petrographic and rock geochemical data: A case study from the Yubileinoe Cu–Au deposit, western Kazakhstan. J. Geochem. Explor. 2014. V. 147. Pp. 26-36.

19. Sillitoe R. H. Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. Rev. Econ. Geol. 2000. V. 13. Pp. 315-345.

20. Soloviev S. G., Kryazhev S. G. Geology, mineralization, and fluid inclusion characteristics of the Chorukh-Dairon W-Mo-Cu skam deposit in the Middle Tien Shan, Northern Tajikistan. Ore Geol. Rev. 2017. No. 80. Pp. 79-102.

21. Vikentyev I.V., Ivanova Y.N., Tyukova E.E., Sobolev I.D., Abramova V.D., Vykhristenko R.I., Groznova E.O., Mansurov R.K., Dvurechenskaya S.S., Kryazhev S.G., Khubanov V.B., Trofimov A.P. Porphyry-style petropavlovskoe gold deposit, the polar urals: geological position, mineralogy, and formation conditions. Geology of ore deposits. 2017. V. 59. No. 6. Pp. 482-520.