

УДК 549.352 + 553.48

## НАХОДКА ИРАРСИТА В МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАНУЧ (КАМЧАТКА)

В.А. Степанов, В.Е. Кунгурова

*Научно-исследовательский геотехнологический центр (НИГТЦ) ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, vit-stepanov@yandex.ru*

В.И. Гвоздев

*Дальневосточный геологический институт (ДВГИ) ДВО РАН, Владивосток, gvozdev@fegi.ru*

В сульфидных медно-никелевых рудах месторождения Шануч (Камчатка) обнаружен новый для этого месторождения минерал – ирарсит. Месторождение пространственно и генетически ассоциирует со штоками и дайками дукукского базит-гипербазитового комплекса эоценового возраста. В его рудах выявлены три минеральные ассоциации: пентландит-пирротиновая, магнетит-халькопирит-пирротиновая и пирит-марказитовая. Установлено, что ирарсит образует микровключения в сульфоарсенидах, реже в пентландите магнетит-халькопирит-пирротиновой ассоциации сплошных сульфидных руд. В составе ирарсита постоянно отмечаются примеси железа, никеля и кобальта, иногда родия и платины.

В статье 2 таблицы, 3 рисунка и список литературы из 9 наименований.

Ключевые слова: ирарсит, сульфоарсениды, минеральные ассоциации, медно-никелевые руды.

### Введение

Ирарсит —  $(\text{Ir,Ru,Rh,Pt})\text{AsS}$  — редкий сульфоарсенид элементов платиновой группы. Он был открыт А.Д. Генкиным с соавторами (Генкин и др., 1966) в хромитовых рудах месторождения Онфервахт (Бушвельдский комплекс, ЮАР). Минерал является крайним членом холлингвортит-ирарситового ряда. Наиболее часто ирарсит встречается совместно с золотом, хромитом и минералами элементов платиновой группы в россыпях Австралии, Бирмы, Финляндии, России. Источником благороднометаллической минерализации являются расслоенные массивы пород ультраосновного-основного состава: дуниты, габбро-пироксениты и др. (Генкин и др., 1966; Щека и др., 1991; Некрасов и др., 1994; Sabri *et al.*, 1996; и др.). Сведения в литературе о нахождении ирарсита в промышленных медно-никелевых рудах редки. Отмечается присутствие ирарсита в рудах Норильского месторождения (Додин и др., 2000). В.В. Дистлер и И.П. Лапутина обнаружили его среди рассеянной медно-никелевой минерализации в горизонтах расслоенного ультрабазитового (габбро-нориты-лерцолиты) массива на Кольском полуострове (Дистлер, Лапутина, 1981).

Авторами произведено минералогическое изучение рудного тела № 1 месторождения Шануч. Редкие и рудообразующие минералы были проанализированы на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8100. При этом в сплошных медно-никелевых рудах был установлен ирарсит в ассоциации с сульфоарсенидами.

### Краткое описание месторождения Шануч

Шанучское медно-никелевое месторождение расположено в южной части Камчатского полуострова и приурочено к одноименному срединному массиву (Степанов, Трухин, 2007). На площади месторождения распространены кристаллические сланцы камчатской серии позднего протерозоя и гнейсовидные граниты крутогорского комплекса раннего мела. Никеленосными являются штоки и дайки дукукского базит-гипербазитового комплекса эоценового возраста. С одним из пучков субвертикально ориентированных даек пространственно сопряжено медно-никелевое оруденение. Наиболее изученное рудное тело № 1 имеет в вертикальном разрезе линзообразную форму с раздувом в центральной части. По тектурным признакам в нем выделены четыре основных типа руд: сплошные (массивные), густовкрапленные, вкрапленные и брекчиевые. Можно отметить некоторую зональность в их расположении в пределах рудного тела (рис. 1). Так, центральная часть последнего выполнена преимущественно сплошными рудами. В прикорневой и в приповерхностных частях рудного тела они сменяются брекчиевыми рудами, которые здесь преобладают. На поверхности наблюдается небольшая по мощности «железная шляпа», сложенная окисленными рудами. В сечениях по горизонтали отмечена конформная зональность: центральная часть рудного тела чаще всего выполнена сплошными и густовкрапленными рудами, которые к периферии

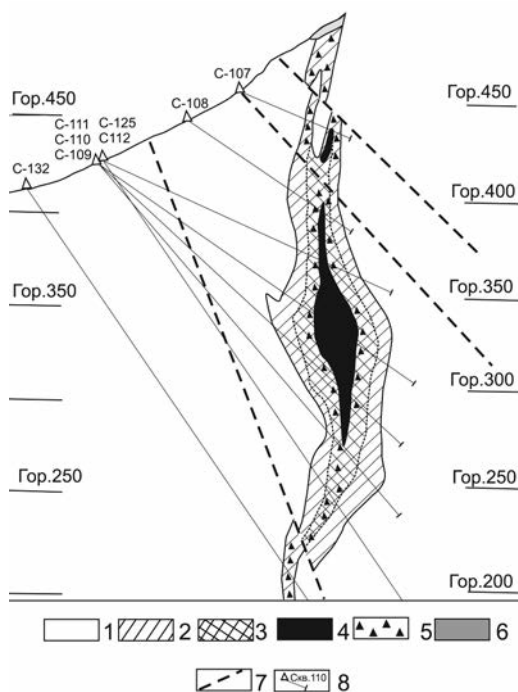


Рис. 1. Схематический разрез рудного тела № 1 месторождения Шануч. 1. Вмещающие породы. 2–6. Типы руд: 2 — вкрапленные; 3 — густовкрапленные; 4 — сплошные (массивные); 5 — брекчиевые; 6 — окисленные руды. 7. Разломы. 8. Буровые скважины и их номер.

сменяются брекчиевыми, а затем прожилково-вкрапленными и вкрапленными рудами. В минеральном составе руд преобладают пирротин, пентландит, виоларит и халькопирит; менее распространены пирит, магнетит, миллерит, макинавит; редко встречаются герсдорфит, сульфоарсениды, сфалерит, галенит, молибденит, шеелит, а также самородное золото и платиноиды (Полетаев, 2004). Наиболее высокие содержания золота отмечаются в средней части рудного тела, обогащенной никелем, медью и кобальтом. По падению и восстанию рудного тела концентрация золота уменьшается. Содержания в рудах палладия и платины постепенно увеличиваются вверх по восстанию к центральной части рудного тела, где сосредоточенно максимальное количество сплошных руд.

Руды характеризуются однотипными минеральными ассоциациями, среди которых можно выделить: пентландит-пирротиную; магнетит-халькопирит-пирротиную и пирит-марказитовую. Две первые ассоциации являются продуктивными на медно-никелевое оруденение. Сульфоарсениды с

ирарситом пространственно тяготеют к сплошным сульфидным рудам, в которых проявлена магнетит-халькопирит-пирротиновая ассоциация.

## Результаты исследования сульфоарсенидов и ирарсита

Сульфоарсениды встречаются во всех типах руд: массивных, густовкрапленных, вкрапленных и брекчиевых. Обычно это идиоморфные зерна, не превышающие 10 микрон (редко встречаются более крупные, до 50 микрон), которые наблюдаются в пирротине, халькопирите и пентландите. Очень редко встречаются кристаллы скелетной формы. По оптическим характеристикам минералы этой группы не отличаются от герсдорфита. Минералы имеют белый цвет, высокое отражение; двуотражение и анизотропия не наблюдались. По химическому составу и парагенезису можно выделить две группы сульфоарсенидов. К первой группе отнесены сульфоарсениды с содержаниями кобальта 5–9 мас.%. Минералы первой группы часто наблюдаются в сростках с пентландитом, образующим грубоплетчатые структуры распада твердого раствора в пирротине и пространственно тяготеют к халькопиритам поздних генераций, ассоциирующим с моноклинным пирротинном и магнетитом. В сульфоарсенидах первой группы встречаются микровключения халькопирита, теллурувисмута и аргентита. Ко второй группе отнесены сульфоарсениды с содержаниями кобальта от 9 до 15,23 мас.%. Состав их отражен в таблице 1. Эти сульфоарсениды пространственно приурочены к пентландиту и пирротину ранних генераций и часто содержат микровключения ирарсита. Наличие в сульфоарсенидах второй группы примесей Ir, Rh, Pt обусловлено присутствием микровключений таких минералов, как ирарсит и сперрилит. Химический состав сульфоарсенидов обеих групп удовлетворительно рассчитывается на формулу:  $(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$  при незначительном дефиците суммы никеля, кобальта и железа. Таким образом, отмечается широкое изоморфное замещение в системе природных фаз  $\text{CoAsS}-\text{FeAsS}-\text{NiAsS}$ , выявленное В.В. Дистлером и И.П. Лапутиной для другого месторождения (Дистлер, Лапутина, 1979).

Ирарсит — редкий минерал в рудах месторождения (рис. 2). Обычно он образует микровключения округлой (рис. 2а, f) и вытянутой, овальной (рис. 2с) формы размером 2–6 микрона, локализуясь в центральных частях

Таблица 1. Состав сульфоарсенидов, мас.%

| № ан. | Fe    | Ni    | Co    | As    | Ir   | Pt   | Rh   | S     | Сумма  |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|
| 1     | 5.23  | 17.89 | 13.40 | 45.69 | —    | —    | —    | 19.11 | 101.32 |
| 2     | 6.04  | 13.94 | 15.23 | 46.20 | 1.82 | —    | —    | 19.07 | 102.30 |
| 3     | 7.87  | 15.26 | 11.58 | 43.30 | —    | —    | —    | 18.94 | 96.95  |
| 4     | 10.62 | 14.22 | 12.31 | 41.10 | 1.86 | 0.85 | —    | 21.93 | 102.89 |
| 5     | 6.78  | 15.30 | 14.61 | 45.28 | —    | —    | —    | 18.72 | 100.69 |
| 6     | 10.57 | 16.33 | 12.35 | 38.50 | —    | —    | —    | 20.89 | 98.64  |
| 7     | 6.10  | 13.42 | 13.05 | 43.81 | 5.86 | —    | 1.59 | 17.56 | 101.39 |
| 8     | 6.18  | 16.20 | 14.53 | 46.54 | —    | —    | —    | 18.68 | 102.13 |

Пересчет анализов на сумму атомов в формуле (Ni, Co, Fe)AsS

| № ан. | Fe   | Ni   | Co   | As   | Ir   | Pt   | Rh   | S    |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1     | 0.16 | 0.51 | 0.38 | 1.01 | —    | —    | —    | 0.94 |
| 2     | 0.18 | 0.39 | 0.42 | 1.02 | 0.02 | —    | —    | 0.97 |
| 3     | 0.24 | 0.45 | 0.33 | 0.98 | —    | —    | —    | 1.00 |
| 4     | 0.30 | 0.38 | 0.33 | 0.87 | 0.02 | 0.01 | —    | 1.09 |
| 5     | 0.20 | 0.43 | 0.41 | 1.01 | —    | —    | —    | 0.95 |
| 6     | 0.31 | 0.45 | 0.34 | 0.84 | —    | —    | —    | 1.06 |
| 7     | 0.19 | 0.39 | 0.38 | 1.01 | 0.05 | —    | 0.03 | 0.95 |
| 8     | 0.18 | 0.45 | 0.40 | 1.02 | —    | —    | —    | 0.95 |

Примечание: ан. 1 – обр. 107-4; ан. 2–4 – обр. 110-34 (ан. 2 и ан. 4 – с микровключениями ирарсита); ан. 5–6 – обр. 107-4; ан. 7–8 – обр. 110-22 (ан. 7 – с микровключением ирарсита).

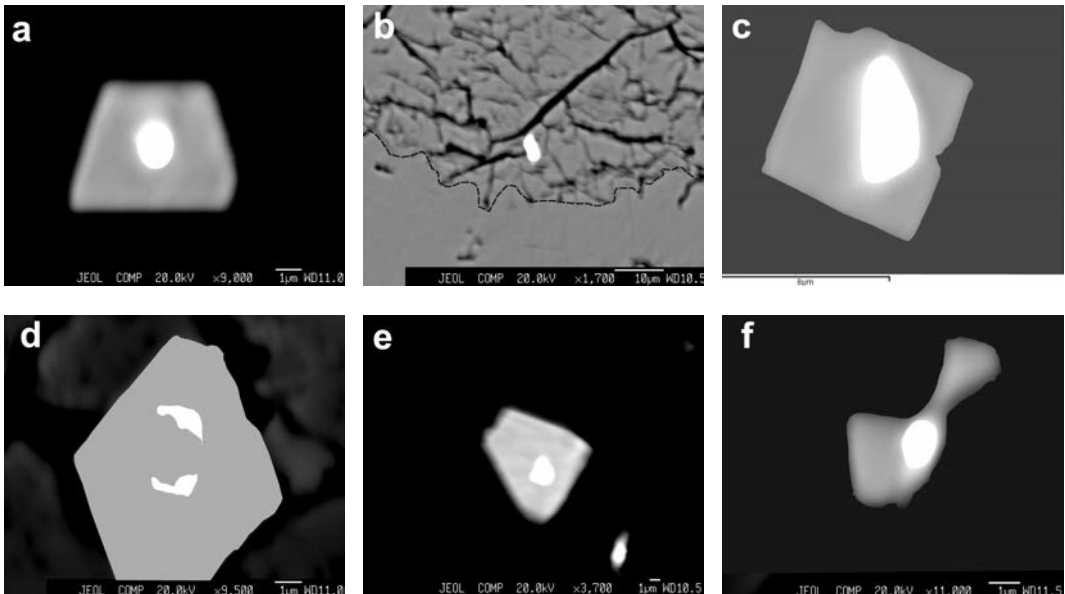


Рис. 2. Формы выделения ирарсита и его взаимоотношения с рудными минералами:  
 а – вкрапленник ирарсита округлой формы (белое) в идиоморфном кристалле сульфоарсенида (светло-серое);  
 б – идиоморфное зерно ирарсита (белое) в пентландите (серое);  
 с – вытянутое зерно ирарсита (белое) в сульфоарсениде (светло-серое);  
 д – ирарсит скелетной формы (белое) в сульфоарсениде (светло-серое);  
 е – идиоморфное зерно ирарсита (белое) в идиоморфном сульфоарсениде (светло-серое);  
 ф – округлое зерно ирарсита (белое) в сульфоарсениде (светло-серое).

Фотографии выполнены в отраженных электронах на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA JEOL-8100.

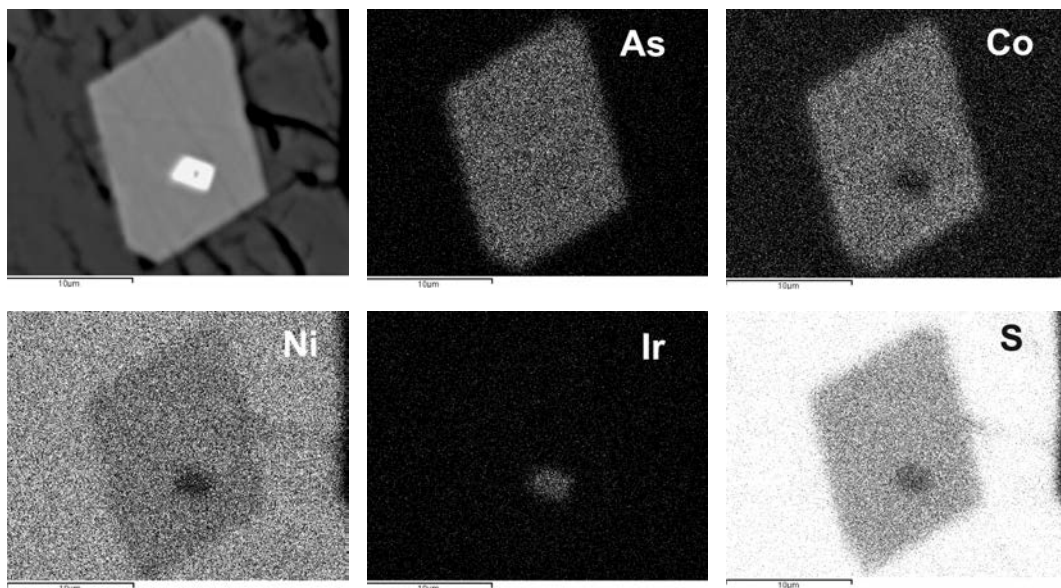


Рис. 3. Идиоморфные кристаллы сульфоарсенида (светло-серое) и ирарсита (белое) с микровключением сперрилита (?) в отраженных электронах и характеристических лучах As, Co, Ni, Ir и S (обр. 107-4).

идиоморфных микрозерен сульфоарсенидов. Иногда встречаются зерна ирарсита в пентландите (рис. 2b). Крайне редко наблюдаются идиоморфные микрокристаллики (рис. 2e) и зерна скелетной формы (рис. 2d). В одном случае в идиоморфном кристаллике ирарсита встречено микрозерно (менее 1 микрона), предположительно, сперрилита (рис. 3). По оптическим характеристикам ирарсит практически не отличается от сульфоарсенидов. Минерал имеет отражение близкое к 45% и, судя по рельефу относительно крупных (более 5 микрон; рис. 2c) зерен, более высокую твердость, чем сульфоарсениды; двуотражение и анизотропия не наблюдались. В химическом составе ирарсита преобладают иридий, мышьяк и сера, что подтверждает диагностику этого минерала. В нем постоянно отмечаются примеси железа, никеля и кобальта, иногда родия и платины (таблица 2). Отметим, что повышенные концентрации платины в ирарсите обусловлены в одном случае (обр. 107-4) присутствием в точке анализа микровключения сперрилита (?), в других — платина равномерно распределена по всему зерну ирарсита (обр. 132-15, рис. 2b; обр. 110-34, рис. 2c). В целом, минерал удовлетворительно рассчитывается на формулу, близкую теоретической (Ir,Rh,Pt,Fe,Ni,Co)AsS, при незначительном дефиците серы и избытке мышьяка. Наличие примесей никеля, кобальта и железа, по-видимому, является специфической чертой ирарситов ме-

сторождения Шануч. Оно связано с локализацией ирарсита в сплошных кобальт-медно-никелевых рудах этого месторождения. Следует учитывать также широкий изоморфизм элементов групп железа и платины в минералах типа кобальтина и пирита (Генкин и др., 1966). Повышенные содержания в ирарсите платины и родия характерны для центральной и нижней частей рудного тела (в отличие от верхней). Близкие по составу ирарситы известны в рудах месторождений Бирмы, Колумбии, Канады (Cabri *et al.*, 1996), России (Дистлер, Лапутина, 1981; Щека и др., 1991; Некрасов и др., 1994).

## Заключение

В сульфидных медно-никелевых рудах Шанучского месторождения Камчатки впервые обнаружен ирарсит, ассоциирующий с сульфоарсенидами. Ирарсит образует микровключения округлой и овальной формы, иногда идиоморфные кристаллики и зерна скелетной формы в зернах сульфоарсенидов и в пентландите. Формула ирарсита близка к теоретической с примесью Ni, Co и Fe. Эта находка дополняет список минералов элементов платиновой группы (Поletaев, 2004), обнаруженных в рудах месторождения Шануч.

Работа выполнена при поддержке грантов: ДВО № 09-II-CY-08-002 и № 09-III-A-08-400; РФФИ № 09-05-00819-а.

Таблица 2. Состав ирарсита, мас.%

| №, ан | Fe   | Ni   | Co   | As    | Os   | Ru   | Rh   | Ir    | Pt    | S     | Сумма  |
|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| 1     | 3.36 | 5.61 | 4.34 | 32.49 | —    | —    | 0.96 | 38.57 | —     | 12.60 | 97.93  |
| 2     | 3.04 | 5.08 | 3.01 | 30.86 | —    | —    | —    | 44.49 | —     | 11.64 | 98.12  |
| 3     | 2.71 | 4.53 | 2.64 | 28.83 | —    | —    | —    | 44.00 | 6.00  | 11.35 | 100.06 |
| 4     | 3.47 | 3.96 | 1.20 | 30.88 | —    | —    | —    | 45.19 | 5.43  | 10.68 | 100.81 |
| 5     | 3.61 | 4.02 | 1.49 | 29.86 | —    | —    | —    | 45.06 | 5.07  | 11.50 | 100.61 |
| 6     | 3.80 | 5.76 | 4.86 | 33.82 | —    | —    | 0.92 | 31.79 | 6.92  | 12.51 | 100.38 |
| 7     | 4.20 | 5.89 | 4.77 | 34.49 | —    | —    | 1.03 | 30.75 | 6.98  | 13.35 | 101.46 |
| 8     | 2.33 | 7.97 | 4.29 | 32.52 | —    | —    | 0.92 | 36.08 | —     | 13.32 | 97.43  |
| 9     | —    | —    | —    | 24.96 | 1.48 | —    | 2.65 | 59.62 | 1.20  | 10.79 | 100.70 |
| 10    | —    | —    | —    | 34.50 | —    | 9.40 | 7.20 | 23.00 | 12.60 | 11.60 | 98.30  |

| Пересчет анализов на сумму атомов в формуле ирарсита (Ir,Ru,Rh,Pt,Fe,Ni,Co)AsS |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| №, ан.   | Fe   | Ni   | Co   | As   | Os   | Ru   | Rh   | Ir   | Pt   | S    |  |
| 1  | 0.14 | 0.23 | 0.18 | 1.02 | —    | —    | 0.02 | 0.48 | —    | 0.93 |  |
| 2  | 0.13 | 0.12 | 0.13 | 1.03 | —    | —    | —    | 0.58 | —    | 0.91 |  |
| 3  | 0.13 | 0.19 | 0.11 | 0.99 | —    | —    | —    | 0.59 | 0.08 | 0.91 |  |
| 4  | 0.16 | 0.18 | 0.05 | 1.06 | —    | —    | —    | 0.62 | 0.07 | 0.86 |  |
| 5  | 0.15 | 0.18 | 0.06 | 1.02 | —    | —    | —    | 0.60 | 0.07 | 0.92 |  |
| 6  | 0.15 | 0.23 | 0.19 | 1.04 | —    | —    | 0.02 | 0.38 | 0.09 | 0.90 |  |
| 7  | 0.17 | 0.22 | 0.18 | 1.03 | —    | —    | 0.02 | 0.35 | 0.09 | 0.94 |  |
| 8  | 0.09 | 0.32 | 0.16 | 1.04 | —    | —    | 0.02 | 0.42 | —    | 0.95 |  |
| 9  | —    | —    | —    | 0.99 | 0.02 | —    | 0.05 | 0.92 | 0.02 | 1.00 |  |
| 10   | —    | —    | —    | 1.18 | —    | 0.24 | 0.18 | 0.30 | 0.17 | 0.93 |  |

Примечание. Анализы: 1–8 – ирарсит месторождение Шануч (Камчатка); ан. 1–3 – обр. 107-4 (ан. 1, 2 – край, ирарсит; ан. 3 – центр: ирарсит с микровключением сперрилита-?); ан. 4–5 – обр. 132-15 (включение ирарсита в окисленном пентландите); ан. 9 – ирарсит из медно-никелевых руд в ультрабазитах Кольского полуострова, по В.В. Дистлеру и Лапутиной, 1981; ан. 10 – ирарсит из платиновых руд месторождения Онфервахт, ЮАР, по А.Д. Генкину и др., 1966.

## Литература

Генкин А.Д., Журавлев Н.Н., Тронева Н.В., Мурьяева И.В. Ирарсит – новый сульфосарсенид иридия, родия, рутения и платины // Записки ВМО. **1966**. Ч. ХСV. Вып. 6. С. 700–712.

Дистлер В.В., Лапутина И.П. Сульфосарсениды никеля и кобальта, содержащие платиновые металлы // ДАН. **1979**. Т. 248. № 3. С. 718–721.

Дистлер В.В., Лапутина И.П. Необычная ассоциация минералов платиновых металлов из расслоенного габбро-норит-лерцолитового массива на Кольском полуострове // Известия АН СССР. Сер. геол. **1981**. № 2. С. 103–115.

Догин Д.А., Чернышев Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. СПб: Наука, **2000**. 755с.

Некрасов Н.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А. и др. Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. М.: Наука, **1994**. 381 с.

Полетаев В.А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона – геология и рудоносность. Автореф. канд. дисс. М. **2004**. 22 с.

Степанов В.А., Трухин Ю.П. О возрасте Шанучского медно-никелевого месторождения // ДАН. **2007**. Т. 417. № 1. С. 84–86.

Щека С.А., Вржосек А.А., Сапин В.Н., Кирюхина Н.И. Преобразование минералов платиновой группы из россыпей Приморья // Минералогический журнал. **1991**. Т. 13. № 1. С. 31–40.

Cabri L.J., Harris D.C., Weiser T.W. Mineralogy and Distribution of Platinum-group Mineral (PGM) Placer Deposits of the World // Exploration and Mining Geology/ Pergamon. **1996**. Vol. 5. No 2. P. 74–137.