



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-282-291

Геохимическая аномалия кобальта и никеля на площади Черногорского месторождения ювелирного скаполита, Центральный Памир (Таджикистан)Одинаев Ш. А.¹, Литвиненко А. К.¹, Верчеба А. А.¹, Ятимов У. А.²¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия²Институт минералогии Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия

Аннотация: Черногорское месторождение ювелирного скаполита расположено в восточной части тектонической зоны Центрального Памира (восточная часть Республики Таджикистан). На территории месторождения площадью более 55 000 м² выявлена геохимическая аномалия кобальта и никеля. Металлы входят в состав всех минералов, которые на 95% представлены нерудными: оливин, энстатит, роговая обманка, флогопит, кальцит, доломит, плагиоклаз, скаполит, калишпат, нефелин и содалит. В составе рудных минералов установлены ильменит, титанит, рутил, магнетит, гематит, пентландит, пирротин и пирит. Содержание кобальта более чем в 20 раз выше кларка, никеля – в 10 раз. Рекомендуется Министерству геологии и Министерству промышленности Республики Таджикистан проведение поисково-оценочных работ для оценки прогнозного ресурсного потенциала указанных элементов. Это позволяет рассматривать горные породы данного месторождения (гарцбургиты, амфиболиты и альбититы) как кобальто-никелевую геохимическую аномалию. В ее границах требуется проведение специализированных поисково-оценочных работ. Данное месторождение из ранга мономинерального может перейти в разряд комплексного полиминерального и полиметалльного объекта. Это значительно повысит его инвестиционную привлекательность и рентабельность.

Ключевые слова: Центральный Памир, месторождение ювелирного скаполита Черногорское, геохимическая аномалия Co-Ni, содержание рудных элементов, геохимический потенциал, рекомендации по освоению месторождения.

Для цитирования: Одинаев Ш. А., Литвиненко А. К., Верчеба А. А., Ятимов У. А. Геохимическая аномалия кобальта и никеля на площади Черногорского месторождения ювелирного скаполита, Центральный Памир (Таджикистан). *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):282-291. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-282-291.

Geochemical Anomaly of Cobalt and Nickel in the Area of Chernogorsky Jewelry Scapolite Deposit, Central Pamir (Tajikistan)Sh. A. Odinaev¹, A. K. Litvinenko¹, A. A. Vercheba¹, U. A. Yatimov²¹Russian State Geological Exploration University named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow, Russia²Institute of Mineralogy, South Ural Federal Scientific Center, RAS UB, Miass, Russia

Abstract: The Chernogorsky jewelry scapolite deposit is located in the eastern part of the Central Pamir tectonic zone (the eastern part of the Republic of Tajikistan). A geochemical anomaly of cobalt and nickel of more than 55,000 m² was identified in the territory of the deposit. Within the anomaly, the metals were detected in all minerals, 95% of which belong to non-metallic minerals: olivine, enstatite, hornblende, phlogopite, calcite, dolomite, plagioclase, scapolite, potassium feldspar, nepheline, and sodalite. The deposit ore minerals comprise ilmenite, titanite, rutile, magnetite, hematite, pentlandite, pyrrhotite, and pyrite. The cobalt content is more than 20 times higher than its crustal abundance, and that of nickel is 10 times above its crustal abundance. It is recommended that the Ministry of Geology and the Ministry of Industry of the Republic of Tajikistan conduct the prospect evaluation to assess the prognostic resource potential for these elements. This allows to consider the deposit rocks (harzburgite, amphibolite and albitite) as cobalt-nickel geochemical anomaly. This anomaly should be the subject of greenfield exploration for the elements. The deposit monomineral category may change to complex polymineral and polymetal category. This will significantly increase its investment attractiveness and economic feasibility.



Keywords: Central Pamir, Chernogorsky jewelry scapolite deposit, Co-Ni geochemical anomaly, ore element grade, geochemical potential, recommendations for deposit development.

For citation: Odinaev Sh. A., Litvinenko A. K., Vercheba A. A., Yatimov U. A Geochemical anomaly of cobalt and nickel in the area of Chernogorsky jewelry scapolite deposit, Central Pamir (Tajikistan). *Gornyye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):282-291. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-282-291.

Введение

Черногорское месторождение расположено в восточной части тектонической зоны Центрального Памира на крайнем востоке Республики Таджикистан [1–4]. Современные представления о тектоническом развитии региона рассмотрены в многочисленных публикациях [5–7].

Неравномерное распределение ювелирной скаполитовой минерализации, резкие колебания качественных характеристик самоцвета, большие объемы «пустых» пород позволили отнести его к 4-й группе сложности. Вблизи него, в 3 км к югу, находится крупное месторождение рубина Снежное. В его залежах наблюдаются крупные кристаллы белого и черного скаполита до 8 см длины низкого ювелирного качества. Его геологическое строение, минералогия рубина и скаполита, а также генетические связи с Черногорским месторождением рассмотрены в [7–9].

Минералогические и генетические особенности скаполитовой минерализации рассматриваемого района приведены в публикациях [7, 10–12].

Методы и цель исследования

Минеральный состав определялся на петрографическом микроскопе Полам-P211 (А.К. Литвиненко, Ш.А. Одинаев) и заверялся рентгенофазовым анализом на приборе ДРОН-3М (аналитик А.В. Федоров, МГРИ). Химический состав минералов исследовался методом микрорентгеноспектрального анализа на приборе Cameca SX 100 в режиме съемки 15 кВ, 30 нА, (аналитик Н. Н. Кононкова, ГЕОХИ РАН). Из 800 определений состава минералов в них Со и Ni были установлены в 680 случаях.

Целью представленного исследования является выявление содержания кобальта и никеля в составе минералов месторождения. Выявление этих металлов значительно увеличивает ресурсный потенциал камнесамоцветного объекта.

Региональное положение месторождения

Территория месторождения Черногорское расположена в Музкол-Рангульском антиклинории, состоящем из двух тектонических блоков: Сарымулинского (на западе) и Шатпутского (на востоке), перекрытых в центральной части палеозойско-мезозойскими вулканогенно-осадочными породами. Месторождение находится на юго-западном фланге Шатпутского блока [7, 13].

Музкол-Рангульский на востоке и Ванч-Язгулемский антиклинории на западе являются тектоническими элементами зоны Центрального Памира. Они представляют выходы докембрийского основания, на котором вследствие тектонической активизации в кайнозое сформировались гранито-гнейсовые купола [14–16].

Центральный Памир является северо-западным продолжением складчатой киммерийской системы Тибета [17–22], а в тектоническом плане он представляет собой западное продолжение Чиангтангского террейна в Тибете [23–24]. Вместе с центральным и южным Тибетом (Чиангтангский и Лхаса террейны соответственно) Центральный Памир, Юго-Западный и Юго-Восточный Памир в мезозое сформировали киммерийский супертеррейн, который отделился от Гондваны в начале перми и аккрецировался с Евразией в конце триаса [25]. Центральный Памир занимает приграничное положение между герцинидами Северного Памира и

киммеридами Юго-Восточного и Юго-Западного Памира. Киммерийская часть Памира называется Южным Памиром [1, 26].

Образование Памирской складчатой системы является следствием кайнозойской внутриконтинентальной коллизии Индии и Азии [2]. Определение положения глубинных разломов технологией GPS, ограничивающих Памирское нагорье (Памирскую складчатую систему), подтверждают, что эта структура является элементом Индоевропейской коллизионной системы [3].

В составе Памирской складчатой системы выделена музкольская метаморфическая серия мощностью около 6 км, сформировавшая тектоническую структуру – Музкол-Рангульский антиклинорий. Серия состоит из четырех свит горных пород: сассыкской, белеутинской, сарыджилгинской и бурулюкской (снизу вверх) [27].

Музкольская серия претерпела полициклический метаморфизм от высокотемпературной амфиболитовой до эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фации. Возраст первого метаморфического цикла – 1,9–1,6 млрд лет [27–28]. Он протекал в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации: $T = 700\text{--}750^\circ\text{C}$, $P = 8\text{--}9$ кбар. Второй цикл состоялся 0,1–0,02 млрд лет назад и проявился зонально [4, 10] в $P\text{--}T$ условиях от 800°C и 9 кбар (зона полного плавления) в центральной части антиклинория и по направлению к периферии через эпидот-амфиболитовую к зеленосланцевой фации при 350°C и 4 кбар.

Вмещают месторождение Черногорское метаморфические породы сарыджилгинской свиты мощностью 1300 м. Важное значение в ее составе и всей серии играют магматические породы трех интрузивных комплексов, двух докембрийских: кукуртского (лерцолиты, гарцбургиты, пироксениты, калиевые габброиды, нефелиновые сиениты, шонкиниты, ийолиты, уртиты,) и зорбурулюкский (гнейсограниты), а также палеогенового – шатпутский комплекс (граниты и пегматиты).

Геологическое строение месторождения

Площадь месторождения составляет $360 \times (110\text{--}180)$ м. Оно сложено породами двух типов, имеющих субширотное простирание с падением на север под углами $60\text{--}75^\circ$. Мы их разделяем по цвету на темноцветные и сероцветные (рис. 1) [29–30].

Темноцветные породы, в свою очередь, разделены на две группы. Первая группа выявлена в северо-восточной части месторождения (см. рис. 1). Породы среднезернистые, порфирированной текстуры. Они имеют форму дайки мощностью около 10 м. Плотность пород составляет $3,29 \text{ г/см}^3$. Порфирированные кристаллы представлены неизменным, слегка вытянутым оливином размером от 0,1 до 5 мм. По его периферии наблюдаются мелкие зерна ромбического пироксена с железистостью около 20 %, состоящего на 80 % из энстатита и на 20 % из ферросилита. В серпентиновом агрегате располагаются мелкие чешуйки флогопита. Акцессорные минералы представляют алюмохромистый магнетит, железохромистую шпинель, железистый (до 9,1 % (мас.) магнетит, ильменорутит, апатит и пентландит.

Высокое содержание магнезиального оливина в данной породе (более 50 %) и энстатита (30%) позволяет отнести ее к гарцбургиту, который ранее не был известен в составе кукуртского комплекса.

Вторая группа темноцветных пород, самая крупная по объему, представлена меланократовой до мезократовой, слегка пористой породой, с варьирующей плотностью $3,13\text{--}3,18\text{--}3,20 \text{ г/см}^3$. Щелочная роговая обманка является главным минералом пород этой группы. Вторым по значению минералом следует флогопит. Его доля достигает 20%. Третьими являются плагиоклаз и скаполит, со значительным преобладанием первого. В его составе содержится от 5 до 20 % анортитовой молекулы, что соответствует олигоклазу. По петрохимическим особенностям мы относим эту группу пород к ортоамфиболитам.

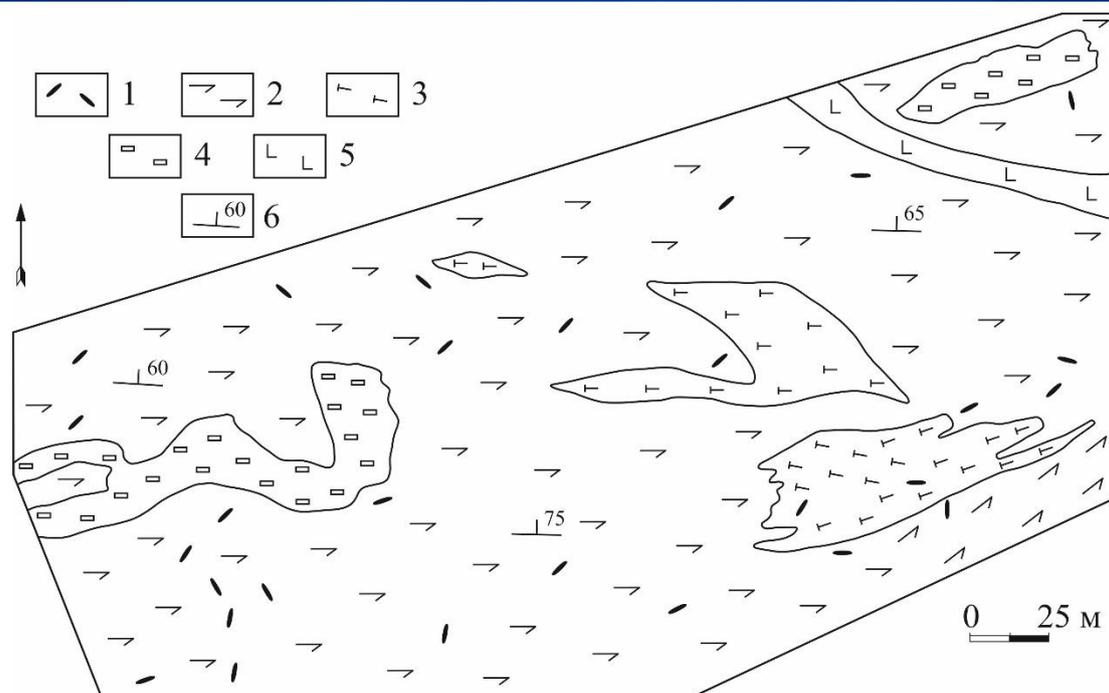


Рис. 1. Геологический план месторождения Черногорское:

1 – линзы с ювелирным скаполитом; 2 – амфиболиты; 3 – альбититы, бедные темноцветными минералами; 4 – альбититы, обогащенные темноцветными минералами; 5 – гарцбургиты; 6 – элементы залегания

Fig. 1 Chernogorsky deposit geological map:

1 – lenses with jewelry scapolite; 2 – amphibolite; 3 – albitite with low content of mafic minerals; 4 – albitite enriched in mafic minerals; 5 – harzburgite; 6 – dip and strike

Сероцветные породы занимают секущее положение по отношению к темноцветным, почти черным ортоамфиболитам и гарцбургитам. Сероцветные породы разделены на две группы. Первая представлена альбититами, которые образуют три крупных тела сложной формы на флангах (см. рис. 1). Плагноклаз в альбититах содержит 1–5 % анортитовой молекулы. Он формирует агрегаты со средне- и крупнозернистой гранобластовой структурой. Встречаются участки с массивной, полосчатой и вкрапленной текстурой. В интерстициях зерен альбита отмечается скаполит, а в массе – включения рутила, титанита, флогопита, кальцита, доломита и роговой обманки до 3 см в поперечнике. Вторая группа представлена скаполит(мариалит)-альбитовыми линзами, занимающими очень небольшой объем в контуре месторождения (см. рис. 1). Она имеет главный промышленный интерес как источник получения ювелирного скаполита. В светлых породах авторами установлены реликты нефелина и содалита [4, 29].

Концентрации кобальта и никеля

Высокие концентрации кобальта и никеля в горных породах были установлены по 680 определениям во всех минералах месторождения. Содержание Co составляет от 0,03 до 0,07 в нерудных минералах и от 0,06 до 1,8 мас. % в рудных. Содержание Ni варьирует от 0,06 до 1,8 в нерудных (табл. 1) и от 0,07 до 41,1 мас. % в рудных минералах (табл. 2). Это позволяет считать данный факт типоморфным признаком для породообразующих, аксессуарных и рудных минералов района месторождения скаполита. Сравнение полученных значений с кларком Co (0,0018 %) и Ni (0,058 %) [31] позволяют оценить содержание Co более чем в 20 раз выше кларка, а содержание Ni – в 10 раз. Современные подсчеты кларка рассматриваемых элементов определялись девятью группами исследователей [32]. По их данным, кларк Co имеет значения от 0,0007 до 0,0017, а Ni – от 0,019 до 0,047 %. Эти данные еще больше повышают перспективы и возможности комплексного освоения камнесамоцветного месторождения скаполита.

Таблица 1

Химический состав нерудных минералов месторождения, % (мас.)**Chemical composition of the deposit non-metallic minerals, % (wt.)**

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Cl	F	Co	Ni
<i>Апатит</i>													
0,3	–	–	0,02	–	53,34	0,14	0,02	0,12	39,76	1,03	5,0	0,04	0,05
<i>Биотит</i>													
37	2,66	15,2	17,7	16,22	0,25	0,12	8,18	0,06	0,14	0,32	0,2	0,04	0,09
<i>Кальцит</i>													
–	0,01	0,02	0,7	1,24	55,44	0,04	–	–	0,06	0,01	–	0,03	0,04
<i>Калишпат</i>													
58	–	20,9	0,1	–	0,04	2,08	10,93	0,04	0,17	–	–	0,03	0,02
<i>Оливин</i>													
39	0,06	0,23	19,5	40,28	0,14	0,04	–	0,07	0,35	0,01	–	0,06	0,23
<i>Плагиоклаз</i>													
65	–	22,5	0,1	0,01	2,91	10,27	0,09	0,02	0,37	0,02	0,2	0,04	0,03
<i>Пироксен</i>													
54	0,02	1,63	11,2	27,55	0,83	0,03	0,01	0,02	0,28	0,01	–	0,05	0,06
<i>Роговая обманка</i>													
41	1,33	11,3	18,0	10,11	11,4	2,27	1,13	0,04	0,4	0,51	–	0,06	0,10
<i>Скаполит</i>													
54	0,03	25,3	0,1	0,03	9,14	9,1	0,43	0,04	0,16	2,1	–	0,03	0,03
<i>Содалит</i>													
37	–	33,6	0,2	–	0,09	26,46	0,04	0,03	0,14	6,52	0,1	0,04	0,06
<i>Флогопит</i>													
39	1,19	17,1	6,2	22,8	0,06	1,89	6,74	0,02	0,35	0,2	0,4	0,07	0,13

Таблица 2

Химический состав рудных минералов месторождения, % (мас.)**Chemical composition of the deposit ore minerals, % (wt.)**

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Cl	F	Co	Ni
<i>Гематит</i>													
–	0,01	0,01	60,5	0,01	–	0,03	–	0,02	0,26	0,02	0,1	0,09	0,07
<i>Ильменит</i>													
0,1	39,99	0,09	54,9	0,35	0,01	0,01	0,02	–	0,25	0,01	–	0,07	0,08
<i>Магнетит</i>													
0,1	0,17	0,14	77,7	0,1	0,04	0,02	0,01	–	0,23	–	0,3	0,11	0,46
<i>Пентландит</i>													
0,2	–	0,01	35,4	0,15	0,02	–	0,01	0,06	0,28	0,01	0,1	1,80	44,1
<i>Пирит</i>													
–	–	–	46,89	–	–	–	–	0,02	–	–	–	0,06	0,11
<i>Пирротин</i>													
3,7	0,05	0,05	65,1	0,36	0,47	0,04	–	0,02	0,39	–	0,2	0,69	0,41
<i>Титанит</i>													
29	35,63	1,1	1,2	0,02	28,12	–	0,02	–	0,26	–	0,2	0,06	0,07

Таблица 3

Ресурсный потенциал кобальта в мире, (тыс. т) по [35] с дополнениями авторов**The world cobalt resource potential, kt (based on [35] with the additions of the authors)**

Страна	Ресурсы, тыс. т	% от мировых	Среднее содержание Co, %
Австралия	420	5,2	0,07
Ботсвана	70	0,9	0,06
Греция	120	0,9	0,04
Заир	2500	31	0,31
Замбия	540	7	0,17
Индонезия	580	7	0,11
Казахстан	70	0,9	0,04
Китай	320	4	0,04
Куба	1800	22	0,10
Новая Каледония	860	11	0,07
Папуа – Новая Гвинея	151	1,9	0,11
Россия	230	2,9	0,10
Таджикистан	409	5	0,06

Концентрации Co и Ni в очень малых количествах (на уровне чувствительности анализа) встречаются и в смежных территориях Юго-Западного Памира [33].

В месторождениях силикатного типа коры выветривания содержание Co составляет от 0,0n до 0,n %, а Ni – от 0,7 до n1,0 % [34]. Содержание этих элементов в породообразующих минералах на рассматриваемом объекте сопоставимо с содержанием этих металлов в горной массе (см. табл. 1). Высокое содержание Co и Ni во всех минералах, включая рудные (см. табл. 2), позволяет рассматривать всю толщу горных пород месторождения Черногорское как уникальную геохимическую аномалию.

Площадь геохимической аномалии составляет около 55 тыс. м². С учетом крутопадающего залегания амфиболитов объективно можно экстраполировать глубину на 100 м. При средней плотности 3,16 т/м³ горная масса составит 17 064 тыс. т. Среднее содержание исследованных элементов составляет: Co – 0,06 %, а Ni – 0,09 %. Прогнозный геохимический потенциал составит: кобальта – 102 384 т и никеля – 153 576 т. Учитывая, что кобальт- и никеленосные породы месторождения прослежены на запад на 0,2 км, а на восток – на 1 км, геохимический потенциал этих металлов: Co – 409 тыс. т, Ni – 614 тыс. т. Геохимический потенциал кобальта месторождения сопоставим с ресурсами таких стран, как Австралия, и значительно превышает ресурсы кобальта Китая,

России, Казахстана, Ботсваны, Греции и Новой Гвинеи (табл. 3). Оцененные ресурсы Co в крупнейших докембрийских месторождениях Африки составляют сотни тысяч тонн [35]. Рассматриваемый нами объект по содержанию и ресурсам можно сравнивать с ними.

Похожая геологическая ситуация наблюдается в Угловско-Туруханском блоке Иртышской зоны смятия. Здесь в гарцбургитах и амфиболитах содержание Co достигает соответственно 0,01 и 0,007, а Ni – 0,19 и 0,01 мас. % [36]. Это содержание имеет значительно меньшие значения по сравнению с рассматриваемым Черногорским месторождением.

Нужно отметить, что район установленной нами геохимической аномалии Co и Ni благоприятный для вскрытия и отработки открытым способом в условиях расчлененного горного рельефа и крутопадающего залегания блока рудовмещающих пород.

Заключение

На территории, специализированной на камнесамоцветном кристаллосырье, впервые обнаружена уникальная геохимическая аномалия Co и Ni. Результаты исследований позволяют рекомендовать Министерству геологии Республики Таджикистан и Министерству промышленности Республики Таджикистан месторождение ювелирного скаполита Черногорское как комплексный объект Co–Ni и камнесамоцветного сырья, на котором требуется проведение первоочередных поисково-оценочных работ.

Библиографический список

1. Бархатов Б. П. *Тектоника Памира*. Л.: ЛГУ; 1963. 243 с.
2. Käbner A., Ratschbacher L., Jonckheere R., Enkelmann E., Khan J. et al. Cenozoic intracontinental deformation and exhumation at the northwestern tip of the India-Asia collision – southwestern Tian Shan, Tajikistan, and Kyrgyzstan. *Tectonics*. 2015;35(9):2171–2194.
3. Zhou Y., Jiankun He, Oimahmadov I., Gadoev M., Pan Z. et al. Present-day crustal motion around the Pamir Plateau from GPS measurements. *Gondwana Research*. 2016;35:144–154.
4. Литвиненко А. К., Одинаев Ш. А., Малахов Ф. А. Первая находка содалита и нефелина на месторождении ювелирного скаполита Черногорское (Центральный Памир). *Разведка и охрана недр*. 2019;(7):17–22.
5. Rutte D., Ratschbacher L., Schneider S., Stübner K., Stearns M. A. et al. Building the Pamir-Tibetan Plateau – Crustal stacking, extensional collapse, and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. *Tectonics*. 2017;36(3):342–384.

6. Aminov J., Dupont-Nivet G., Guillot S., Roperch P., Cordier C. et al. Tectonic evolution of the South and Central Pamir terranes from petrologic and paleomagnetic analyses of Cretaceous-Paleogene volcanics. *Geophysical Research Abstracts*. EGU2019-14069. 2019;21.
7. Litvinenko A. K., Moiseeva S. B., Odinaeva Sh. A., Utenkov V.A. Geology of the Chernogorskoe Gem-Quality Scapolite Deposit (Central Pamirs, Tajikistan). *Geology of ore deposits*. 2019. Vol. 61. № 5. Pp. 481–493.
8. Sorokina E. S., Litvinenko A. K., Hofmeister W., Häger T., Jacob D.E., Nasriddinov Z. Z. Rubies and Sapphires from Snezhnoe, Tajikistan. *Gems&Gemology*. 2015;51(2):160–175.
9. Литвиненко А. К., Барнов Н. Т. Генетические типы скаполита сарыджилгинской свиты музкольской метаморфической серии (Центральный Памир). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2011;(1):23–29.
10. Мадюков И. А., Чупин В. П., Кузьмин Д. В. Генезис скаполита из гранулитов (нижнекоровые ксенолиты из диатрем Памира): результаты изучения расплавных включений. *Геология и геофизика*. 2011;52(11):1677–1694.
11. Литвиненко А. К., Моисеева С. Б., Одинаев Ш. А. Условия образования стенок пустот на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир. *Материалы международной научно-практической конференции «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ)»*. Том I. МГРИ-РГГРУ им. Серго Орджоникидзе. М.: Изд. НПП «Фильтроткани»; 2018. С. 220–221.
12. Литвиненко А. К., Одинаев Ш. А. Минералы титана на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир. *Материалы XIV международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле»*. Том II: «Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле – минерагении, минералогии и геммологии, петрологии и геохимии». МГРИ им. Серго Орджоникидзе. М.: Изд. НПП «Фильтроткани»; 2019. С. 305–306.
13. Одинаев Ш. А., Литвиненко А. К. Метасоматические карбонатиты междуречье Кукурт-Зорбурулюк, Центральный Памир (Республика Таджикистан). *Сборник статей VII Всероссийской молодежной конференции «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий»*. Уфа: РН-БашНИПИнефть; 2019. С. 104–108.
14. Буданов К. Т. Гранитогнейсовые купола Южного Тянь-Шаня и Памира. *Геология и геофизика Таджикистана*. Под ред. М. Б. Акрамова, Р. Б. Баратова. Дониш: Душанбе; 1985. С. 288–297.
15. Rutte D., Ratschbacher L., Schneider S., Stubner K., Stearns M.A., Gulzar M.A., Hacker, B.R. Building the Pamir-Tibetan Plateau – Crustal stacking, extensional collapse and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. *Tectonics*. 2017;36(3):342–384. DOI: 10.1002/2016TC004293.
16. Rutte D., Ratschbacher L., Khan J., Stübner K., Hacker B.R., Stearns M.A., Enkelmann E., Jonckheere R., Pfänder J.A., Sperner B., Tichomirowa M. Building the Pamir-Tibet Plateau—Crustal stacking, Extensional Collapse, and Lateral Extrusion in the Central Pamir: 2. Timing and Rates. *Tectonics*. 2017;36(3):385–419.
17. Бархатов Б. П. Маршрут Хорог – устье р. Висхарви. В кн.: *Путеводитель экскурсий II Всесоюзного тектонического совещания*. Душанбе: Изд. АН Тадж. ССРС; 1962.
18. Губин И. Е. Памир и сопредельные страны (схема тектонического районирования). *Изв. Тадж. фил. АН СССР*. 1943;(2):101–117.
19. Губин И. Е. *Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана (Геология и сейсмичность)*. М.: Изд-во АН СССР; 1960. 465 с.
20. Марковский А. П. О взаимоотношении Памира и Тянь-Шаня. *Научные итоги Таджикско-Памирской экспедиции АН СССР*. М.-Л.: Изд-во АН СССР; 1936. С. 156–158.
21. Наливкин Д. В. Палеогеография Средней Азии. *Научные итоги ТПЭ*. М.: Изд-во АН СССР; 1936. С. 35–86.
22. Николаев В. А. Очерк магматической геологии Памира и Дарваза. *Научн. итоги Тадж.-Пам. эксп.* М.: Изд-во АН СССР; 1936. С. 329–387.
23. Schwab M., Ratschbacher L., Siebel W., McWilliams M., Minaev V., Lutkov V., Chen F., Stanek K., Nelson B., Frisch W., Wooden J. L. Assembly of the Pamirs: Age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Pamirs and their relation to Tibet. *Tectonics*. 2004;23. DOI: 10.1029/2003TC001583.
24. Robinson A. C. Mesozoic tectonics of the Gondwanan terranes of the Pamir plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015;(102):170–179. DOI:10.1016/j.jseaes.2014.09.012.
25. Zanchi A., Angiolini L., Zanchetta S., Nicora A., Vezzoli G. *The Cimmerian accretion of SE Pamir and its relationships with the surrounding Cimmerian blocks*. 2013.
26. Пашков Б. Р., Буданов В. И. Тектоника зоны сочленения Юго-Восточного и Юго-Западного Памира. *АН СССР, Геотектоника*. 1990;(3):70–79.

27. *Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана*. Душанбе: Дониш; 1976. 207 с.
28. Буданов В. И., Буданова К. Т. Геолого-петрологическая характеристика обнаженного кристаллического фундамента. *Земная кора и верхняя мантия Таджикистана*. Душанбе: Дониш, 1981. С. 56–112.
29. Одинаев Ш. А. Находка щелочных минералов (нефелин, содалит, калишпат и альбит) на Черногорское месторождение ювелирного скаполита на Центральном Памире (Таджикистан). *Сборник статей студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей ВУЗов геологического профиля; XXV Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа 2019»*. Конференция приурочена к 80-летию Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН. Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт»; 2019. С. 106–109.
30. Литвиненко А. К., Одинаев Ш. А. СО-NI оруденение на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир. *Материалы XIV международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» Т. II: Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле-минерации, минералогии и геммологии, петрологии и геохимии*. МГРИ им. Серго Орджоникидзе. М.: Изд. НПП «Филтроткани»; 2019. С. 114–117.
31. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в горных породах. *Геохимия*. 1962;(7):555–571.
32. Касимов Н. С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии. *Вестник Московского университета. Сер. 5: География*. 2015;(2):7–17.
33. Абдушукуров Д. А., Кобулиев З. В., Мамадалиев Б., Минаев В.Е. Тяжелые металлы в бассейне реки Гунт на западном Памире. *Вестник КРСУ*. 2017;17(1):101–106.
34. *Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Никелевые и кобальтовые руды*. М.: ФГУ ГКЗ; 2007. 36 с.
35. Быховер Н. А. *Распределение мировых ресурсов минерального сырья по эпохам рудообразования*. М.: Недра; 1984. 576 с.
36. Туркин Ю. А., Гринев Р. О. Гипербазиты и амфиболиты угловско-туруханского блока иртышской зоны. *Вестник Томского государственного университета*. 2015;(394):261–269.

References

- Barkhatov B. P. Structural Geology of Pamir. Leningrad: Leningrad State University Publ.; 1963. 243 p. (In Russ.).
- Käßner A., Ratschbacher L., Jonckheere R., Enkelmann E., Khan J. et al. Cenozoic intracontinental deformation and exhumation at the northwestern tip of the India-Asia collision – southwestern Tian Shan, Tajikistan, and Kyrgyzstan. *Tectonics*. 2015;35(9):2171–2194.
- Zhou Y., Jiankun He, Oimahmadov I., Gadoev M., Pan Z. et al. Present-day crustal motion around the Pamir Plateau from GPS measurements. *Gondwana Research*. 2016;35:144–154.
- Litvinenko A. K., Odinaev Sh. A., Malakhov F. A. Sodalite and nepheline discovery at the Chernogorskoe deposit of jewelry scapolite (Central Pamir). *Exploration and protection of mineral resources*. 2019;(7):17–22. (In Russ.)
- Rutte D., Ratschbacher L., Schneider S., Stübner K., Stearns M. A. et al. Building the Pamir-Tibetan Plateau – Crustal stacking, extensional collapse, and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. *Tectonics*. 2017;36(3):342–384.
- Aminov J., Dupont-Nivet G., Guillot S., Roperch P., Cordier C. et al. Tectonic evolution of the South and Central Pamir terranes from petrologic and paleomagnetic analyses of Cretaceous-Paleogene volcanics. *Geophysical Research Abstracts*. EGU2019-14069. 2019;21.
- Litvinenko A. K., Moiseeva S. B., Odinaeva Sh. A., Utenkov V.A. Geology of the Chernogorskoe Gem-Quality Scapolite Deposit (Central Pamirs, Tajikistan). *Geology of ore deposits*. 2019. Vol. 61. № 5. Pp. 481–493.
- Sorokina E. S., Litvinenko A. K., Hofmeister W., Häger T., Jacob D.E., Nasriddinov Z. Z. Rubies and Sapphires from Snezhnoe, Tajikistan. *Gems&Gemology*. 2015;51(2):160–175. (In Russ.).
- Litvinenko A. K., Barnov N. T. Genetic types of scapolite of Sarydzhilginsky suite of Muzkol metamorphic series (Central Pamir). *News of Higher Educational Institutions. Geology and Exploration*. 2011;(1):23–29. (In Russ.).
- Madyukov I. A., Chupin V. P., Kuzmin D. V. Genesis of scapolite from granulite (lower crust xenoliths from Pamir diatremes): findings of melt inclusion study. *Geology and Geophysics*. 2011;52(11):1677–1694. (In Russ.).
- Litvinenko A. K., Moiseeva S. B., Odinaev Sh. A. Conditions for the formation of void walls at Chernogorsky deposit of jewelry scapolite, Central Pamir. *Proceedings of International Scientific-Practical Conference "Geological Exploration Strategy Development: Present Day and Future (for the 100th anniversary of MSEI-RSSEI). V. I. MSEI-RSSEI named after Sergo Ordzhonikidze*. Moscow: NPP Filtrtkani Publishing House; 2018. P. 220–221 (In Russ.).
- Litvinenko A. K., Odinaev Sh. A. Titanium minerals in Chernogorsky deposit of jewelry scapolite, Central Pamir. *Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference "New Ideas in Earth Sciences"*.

V. II: "Development of new ideas and trends in Earth sciences - minerageny, mineralogy and gemmology, petrology, and geochemistry". MSEI-RSSEI named after Sergo Ordzhonikidze. Moscow: NPP Filtrotkani Publishing House; 2019. P. 305–306. (In Russ.).

13. Odinaev Sh. A., Litvinenko A. K. Metasomatic carbonatites in the Kukurt-Zorburuliuk river interfluvium, Central Pamir (The Republic of Tajikistan). *Proceedings of the VII All-Russian Youth Conference "Geology, Geoecology and Resource Potential of the Urals and Neighboring Territories"*. Ufa, BashNIPIneft Publ.; 2019. P. 104-108. (In Russ.).

14. Budanova K. T. Granite-gneiss domes of the South Tien Shan and Pamir // *Geology and Geophysics of Tajikistan (Geologiya i geofizika Tadjikistana)*. Akramov M. B., Baratova R. B. (eds.) Donish Publ., Dushanbe; 1985. P. 288–297. (In Russ.).

15. Rutte D., Ratschbacher L., Schneider S., Stubner K., Stearns M. A., Gulzar M. A., Hacker, B.R. Building the Pamir-Tibetan Plateau – Crustal stacking, extensional collapse and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. *Tectonics*. 2017;36(3):342–384. DOI: 10.1002/2016TC004293.

16. Rutte D., Ratschbacher L., Khan J., Stübner K., Hacker B.R., Stearns M. A., Enkelmann E., Jonckheere R., Pfänder J.A., Sperner B., Tichomirowa M. Building the Pamir-Tibet Plateau—Crustal stacking, Extensional Collapse, and Lateral Extrusion in the Central Pamir: 2. Timing and Rates. *Tectonics*. 2017;36(3):385-419.

17. Barkhatov B. P. Route Khorog – Visharvi river mouth. *Guide of excursions for the II All-Union Tectonic Conference*. Dushanbe: Taj. USSR AS Publ.; 1962. (In Russ.).

18. Gubin I. E. Pamir and neighboring countries (tectonic zoning sketch map). *Proceedings of the Tajik Branch of the USSR Academy of Sciences*. 1943;(2):101–117. (In Russ.).

19. Gubin I.E. *Regularities of seismic manifestations in the territory of Tajikistan (Geology and seismicity)*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR; 1960. 465 p. (In Russ.).

20. Markovsky A.P. On the relationship between Pamir and Tien Shan. *Scientific Findings of the Tajik-Pamir Expedition of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1936. P. 156-158. (In Russ.).

21. Nalivkin D. V. Paleogeography of Central Asia. *Scientific Findings of the Tajik-Pamir Expedition of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1936. P. 35–86. (In Russ.).

22. Nikolaev V. A. Essay on magmatic geology of Pamir and Darvaz. *Scientific Findings of the Tajik-Pamir Expedition of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1936. P. 329–387. (In Russ.).

23. Schwab M., Ratschbacher L., Siebel W., McWilliams M., Minaev V., Lutkov V., Chen F., Stanek K., Nelson B., Frisch W., Wooden J. L. Assembly of the Pamirs: Age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Pamirs and their relation to Tibet. *Tectonics*. 2004;23. DOI: 10.1029/2003TC001583.

24. Robinson A. C. Mesozoic tectonics of the Gondwanan terranes of the Pamir plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015;(102):170–179. DOI:10.1016/j.jseae.2014.09.012.

25. Zanchi A., Angiolini L., Zanchetta S., Nicora A., Vezzoli G. *The Cimmerian accretion of SE Pamir and its relationships with the surrounding Cimmerian blocks*. 2013.

26. Pashkov B. R., Budanov V. I. Structural geology of the South-Eastern and South-Western Pamir junction zone. *USSR Academy of Sciences, Structural Geology*. 1990;(3):70–79. (In Russ.).

27. *Breakdown of stratified and intrusive formations of Tajikistan*. Dushanbe: Donish Publ.; 1976. 207 p. (In Russ.).

28. Budanov V. I., Budanova K. T. Geological and petrological characteristics of the exposed crystalline basement. *The Earth's crust and upper mantle in Tajikistan*. Dushanbe: Donish Publ.; 1981. P. 56-112. (In Russ.).

29. Odinaev Sh. A. Discovery of alkaline minerals (nepheline, sodalite, potassium feldspar and albite) at the Chernogorsky deposit of jewelry scapolite, Central Pamir (Tajikistan). *Collection of articles of students, post-graduate students, researchers of academic institutes and university professors of geological profile; The 25th All-Russian Scientific Conference "Ural Mineralogical School 2019"*. The conference for the 80th anniversary of Institute of Geology and Geochemistry named after Academician A.N. Zavaritsky of Ural Branch of RAS. Yekaterinburg: LLC Universal Printing House Alfa Print; 2019. P. 106–109. (In Russ.).

30. Litvinenko A. K., Odinaev Sh. A. Co-Ni mineralisation in Chernogorsky deposit of jewelry scapolite, Central Pamir. *Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference "New Ideas in Earth Sciences"*. V. II: "Development of new ideas and trends in Earth sciences - minerageny, mineralogy and gemmology, petrology, and geochemistry". MSEI-RSSEI named after Sergo Ordzhonikidze. Moscow: NPP Filtrotkani Publishing House; 2019; P. 114–117. (In Russ.).

31. Vinogradov A. P. Average abundance of chemical elements in rocks. *Geochemistry*. 1962;(7):555–571. (In Russ.).

32. Kasimov N. S., Vlasov D. V. Crustal abundance of chemical elements as reference standards in environmental geochemistry. *Moscow University Newsletter. Ser. 5: Geography*. 2015;(2):7–17. (In Russ.).

33. Abdushukurov D. A., Kobuliev Z. V., Mamadaliev B., Minaev V. E. Heavy metals in the Gunt River catchment area in the western Pamir. *KRSU Bulletin*. 2017;17(1):101–106. (In Russ.).

34. *Guidelines for the application of the Classification for reserves of mineral deposits and prognostic resources. Nickel and cobalt ores.* Moscow: FGA GKZ; 2007. 36 p. (In Russ.).
35. Bykhover N. A. *Distribution of world mineral resources by epoch of ore formation.* Moscow: Nedra Publ.; 1984. 576 p. (In Russ.).
36. Turkin Yu. A., Grinev R. O. Hyperbasite and amphibolite of the Uglovsko-Turukhansky block of the Irtysh zone. *Bulletin of Tomsk State University.* 2015;(394):261–269. (In Russ.).