

На правах рукописи



ОДИНАЕВ ШАРИФДЖОН АХТАМЖОНОВИЧ

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЮВЕЛИРНОГО
СКАПОЛИТА И РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА
ЧЕРНОГОРСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
ПАМИР (ТАДЖИКИСТАН)**

Специальность 25.00.11 - Геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ).

Научные **Литвиненко Андрей Кимович**
руководитель: доктор геолого-минералогических наук, доцент
 ФГБОУ ВО «Российский Государственный
 Геологоразведочный Университет имени Серго
 Орджоникидзе» (МГРИ)

Официальные **Гаранин Виктор Константинович**
оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
 профессор, ФГБОУ ВО «Московский
 Государственный Университет имени М.В.
 Ломоносова (МГУ)

Аксенов Сергей Михайлович
 кандидат геолого-минералогических наук,
 старший научный сотрудник, ФИЦ КНЦ РАН

Ведущая **ФГБУ** **Всероссийский** **научно-**
организация: **исследовательский институт минерального**
сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС)

Защита диссертации состоится «21» мая 2020 года в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.121.04 при ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, зал диссертационных советов (каб. 4-73).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <http://mgri.ru/>

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Вр.и.о Ученого секретаря
 диссертационного совета Д.212.121.04

 А.К. Литвиненко

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Черногорское месторождение ювелирного скаполита локализовано в Музкол-Рангульском антиклинории, Центральный Памир. Эта тектоническая структура сложена музкольской метаморфической серией (PR₁). Она имеет камнесамоцветную минерагеническую специализацию. Здесь на площади около 2600 км² сконцентрированы месторождения рубина, кордиерита, альмандина, турмалина, аквамарина, топаза, скаполита, горного хрусталя и других драгоценных камней [Литвиненко, 2004; 2012]. Только камнесамоцветная специализация региона сделала его промышленные перспективы относительно узкими. Поэтому вопрос о его возможном расширении за счёт новых, рудных типов месторождений стоял с самого начала изучения рассматриваемого региона, с начала XX века. Первыми шагами решения этого вопроса явилось установление геохимических аномалий по вторичным потокам рассеяния редкоземельных элементов и ниобия [Дранников, и др. 1993ф] и первичными аномалиями в маломощных, первые сантиметры, рубиноносных телах [Терехов и др., 1999].

Разнообразие геологических обстановок, представленных полициклическими метаморфическими толщами (разнообразные кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты, кальцитовые и доломитовые мраморы, кварциты, магнезиальные и известковые скарны и др.) и магматическими комплексами (от ультраосновных, основных до кислых, включая щелочные массивы) подтверждают перспективы антиклинория также и на рудные полезные ископаемые. Эта перспектива аргументируется, обнаруженной нами в контурах Черногорского месторождения ювелирного скаполита, геохимической аномалией Co, Ni, Nb, W, Ti, REE и других рудных элементов. Кроме этого, полученные диссертантом новые геологические данные о том, что протопороды Черногорского месторождения представлены магматическими породами кукуртского комплекса (гарцбургитами, щелочными габброидами и др.) также являются аргументом для обоснования расширения перспектив всего Музкол-Рангульского докембрийского метаморфического блока на рудные элементы.

Возможное расширение камнесамоцветной специализации музкольской серии за счёт рудных формаций имеет важное как

теоретическое значение для науки, так и практическое для развития промышленности Республики Таджикистан.

Цель работы. Изучить структурно-вещественные и геохимические особенности пород и определить генезис Черногорского месторождения ювелирного скаполита.

Задачи исследования:

- изучить геологическое строение Черногорского месторождения ювелирного скаполита.
- выявить структурно-вещественные комплексы, составляющие Черногорское месторождение.
- изучить условия и последовательность процессов, приводящих к образованию ювелирного скаполита.
- определить геохимическую специализацию вмещающих пород для выявления факторов, повышающих практическую значимость месторождения.

Главная идея работы заключается в выявлении генетической связи камнесамоцветного месторождения с метасоматически изменёнными ультраосновными, основными и щелочными породами, содержащими геохимическую аномалию Co-Ni и других рудных элементов, которые могут определить Черногорское скаполитовое месторождение как потенциально комплексное.

Фактический материал. Проанализированы фондовые и опубликованные материалы. Проведены полевые работы в течение 1.5 месяцев в 2018 году. Составлены три петрографических профиля через месторождение и проведены рекогносцировочные маршруты на флангах с отбором 200 проб. Из каменного материала были изготовлены 105 прозрачных шлифов и 60 микропротолок. На их основе было произведено более 800 электронно-зондовых определений, 150 рентгенофазовых, 35 силикатных, 55 рентгенофлуоресцентных и 10 ICP MS анализов. Они легли в основу данных, позволивших получить представления о структурных и вещественных особенностях Черногорского месторождения и его флангов.

Методы исследований включали: картографический, минералогический, петрографический, а также прецизионные – рентгенофазовый, выполненный на приборах ДРОН-3М и дифрактометр D2 Phaser (аналитики А.В. Фёдоров, МГРИ им. Серго Орджоникидзе и М.Н. Авезов, лаборатория ОАО «Рогунская ГЭС»),

микрорентгеноспектральный, выполненный на приборе "Cameca" SX 100 в режиме съёмки 15 kV, 30 нА и JEOL JCXA-733 с использованием энергодисперсионного спектрометра и системы анализа INCA при ускоряющем напряжении 20 kV и токе зонда 1 нА (аналитики Н.Н. Кононова, ГЕОХИ РАН и Л.А. Паутов, Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН), рентгенофлюоресцентный, выполненный на спектрометре AXIOS Advanced, с рентгеновской трубкой, оснащенной Rh анодом, мощностью 3 kW и Philips PW-2400 определение широкого спектра петрогенных и рудогенных элементов с чувствительностью до $10^{-4}\%$ (XRF, аналитики И.А. Рощина, ГЕОХИ РАН и А.И. Якушев, ИГЕМ РАН), силикатный, произведённый на спектрометре последовательного типа действия S8 Tiger фирмы «Bruker» (аналитик М.Н. Авезов), масс-спектрометрический (ICP-MS, аналитик К.А. Филлипова) анализы. Для реализации дизайнерских решений были использованы лицензионные программные средства Adobe Illustrator, CorelDRAW Graphics Suite X8 и Adobe Photoshop CS5.

Научная новизна. 1) Впервые обнаружены новые для месторождения рудные минералы: хромшпинелид, пентландит, монацит и ильменорутит, содержащий более 11 % REE. 2) Впервые обнаружены новые для месторождения нерудные минералы: нефелин, флогопит, калиевый полевой шпат, герцинит, доломит, а также содалит, неизвестный в границах Памира. Наличие этих минералов имеет большое значение для определения протопород, что позволило нам установить генезис месторождения. 3) Впервые на месторождения обнаружены ультраосновные магматические породы – гарцбургиты, неизвестные в контурах музкольской серии и расширившие состав кукуртского комплекса. 4) Предложена новая генетическая модель образования месторождения, согласно которой протолитом явились магматические породы кукуртского комплекса. Метасоматоз, обусловленный региональным метаморфизмом, способствовал частичной серпентинизации гарцбургитов и превращению габброидов в амфиболиты, а нефелиновых сиенитов – в альбититы, содержащие пустоты с ювелирным скаполитом.

Практическое значение. 1) Составлен новый вариант геологического плана Черногорского месторождения. 2) Впервые во всех минералах выявлены высокие содержания кобальта и значительные, выше кларка никеля, титана, вольфрама, ниобия и

редких земель. 3) Дана оценка геохимического потенциала Co и Ni в пределах горного отвода месторождения. В соответствии с этим Черногорское месторождение может явиться крупным рудным объектом, который существенно расширит рудную базу Республики Таджикистан. 4) Впервые месторождение Черногорское рассматривается как комплексное: камнесамоцветное и рудное. Это значительно может увеличить его рентабельность и инвестиционную привлекательность. 5) На месторождении ювелирного скаполита и его флангах обнаружена крупная геохимическая аномалия (Co, Ni, W, Nb, Ti, REE), требующая постановки поисково-оценочных работ. В этой связи Министерству промышленности и Министерству геологии Республики Таджикистан представлены рекомендации. 6) Установленные автором метасоматические карбонатиты позволяют избежать ошибок при картировании мраморов, на которые они очень похожи.

Защищаемые положения:

1) Впервые установлено, что протопородами Черногорского месторождения ювелирного скаполита являлись магматические породы кукуртского комплекса: гарцбургиты, щелочные габброиды и нефелиновые сиениты, которые следует отнести к щелочно-ультрамафической формации.

2) Ювелирный скаполит на месторождении образовался в полостях, расположенных в зональных альбититах. Альбититы образовались в результате замещения нефелиновых сиенитов. Полости сформировались в ходе метасоматоза, протекавшего с отрицательным объёмным эффектом.

3) Впервые на месторождении установлены карбонатные породы (метасоматические карбонатиты), которые ранее принимались за мраморы. Карбонаты замещают силикатные минералы: роговую обманку, флогопит, биотит, альбит, скаполит и др., и в них сформировались крупные кристаллы титанита, рутила, флогопита, скаполита и др. Метасоматические карбонатиты содержат значимые количества REE.

4) На Черногорском месторождении ювелирного скаполита установлена первичная геохимическая аномалия Co, Ni и др. элементов. Наиболее высокие содержания кобальта и никеля выявлены в акцессорном магнетите (в среднем соответственно 0.11 и 0.72 мас.%) и пентландите (соответственно 1.81 и 44.1 мас.%).

Содержания никеля и кобальта в породах превышают кларк в 10-20 раз, что может повысить практический интерес к данному месторождению.

Апробация работы и публикации. Результаты диссертационной работы докладывались на международной научно-практической конференции «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ)» (Москва, 2018); XIV международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2019); VIII научно-практической школе-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием, посвященной 140-летию со дня рождения В.В. Аршинова (Москва, 2019); VII Всероссийской молодёжной конференции «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий» (Уфа, 2019); XXV Всероссийской научной конференции «Уральская минералогическая школа 2019» в честь 80-летия Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН (Екатеринбург, 2019); Международной научно-практической конференции «Проблемы инженерной геологии, геотектоники Таджикистана и сопредельных территорий» в честь 70-летия М. Таджибекова (Душанбе, 2019); I Молодёжной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ. (Москва, 2020). Тезисы докладов опубликованы в материалах конференций.

Основные положения диссертационной работы изложены в 14 печатных работах, включая 9 статей, 5 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 139 страница состоит из введения, 5 глав и заключения, содержит 42 рисунка, 21 таблиц, и список литературы из 157 наименований.

Благодарности. Диссертант благодарит за всестороннюю поддержку научного руководителя д.г.-м.н. А.К. Литвиненко. Особая благодарность сотрудникам кафедры минералогии-геоммологии: д.г.-м.н. А.М. Портнову, к.г.-м.н. Д.А. Петроченкову, к.г.-м.н. В.А. Утенкову и сотрудникам кафедры месторождений полезных ископаемых д.г.-м.н. П.А. Игнатову, д.г.-м.н. А.А. Верчебе, к.г.-м.н. С.А. Малютину, к.г.-м.н. А.П. Алешину; заведующему кафедры общей геологии и геологического картирования д.г.-м.н. В.В. Дьяконову, сотруднику ГЕОХИ РАН к.г.-м.н. Е.С. Сорокиной.

Автор благодарит за обсуждение и полезные замечания, а также за теплое отношение сотрудников Института геологии и сейсмологии АН РТ член-кора. АН РТ, д.г.-м.н. А.Р. Файзиева, к.г.-м.н. И.С. Оймухаммадзода, Л.А. Паутова, к.г.-м.н. Ф.А. Малахова, Н.Н. Журавлева, к.г.-м.н. Ф.Ш. Искандарова, к.г.-м.н. Н.С. Сафаралиева, к.г.-м.н. Ю.М. Мамаджонова, к.г.-м.н. Дж.Х. Аминова, к.г.-м.н. М.Л. Гадоева, к.г.-м.н. Н.Ф. Набиева, к.истр.н. Д.Б. Ниязов, У.А. Ятимова, З. Куканбекова.

Отдельно хотелось бы поблагодарить коллег, которые оказали поддержку в подготовке работы: О.В. Владимирцеву, Б.Н. Шарифова, И.Р. Ходжаева.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

В первой главе рассматриваются физико-географические особенности восточной части Центрального Памира, географическое название которого Восточный Памир. Он является высокогорным плато, имеющим некоторые связи с Тибетским нагорьем. Во 2-й главе приведена история исследования Центрального Памира и месторождения Черногорское. Это месторождение является промышленным объектом с запасами, которые стоят на балансе Министерства промышленности Республики Таджикистан. Работы на нём в настоящее время не проводятся из-за отсутствия инвесторов. В третьей главе обобщены материалы предшественников по региональной позиции Центрального Памира и местоположению Черногорского месторождения. В ней представлены фондовые и опубликованные материалы по стратиграфии, магматизму, метаморфизму, и полезным ископаемым Музкол-Рангкульского антиклинория. Главы 4 и 5 представляют результаты полевых и аналитических работ диссертанта. В 4-й главе приведен крупномасштабный геологический план месторождения, оригинальные петрографические и минералогические данные, обосновывается генезис месторождения. Рассмотрены метасоматические карбонатиты. В 5-й главе излагаются материалы по выявленным геохимическим аномалиям Co-Ni, REE, W, Nb, Ti. В ней обоснован прогнозный геохимический потенциал месторождения на эти элементы и даются рекомендации к постановке поисково-оценочных работ.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Впервые установлено, что протопородами Черногорского месторождения ювелирного скаполита являлись магматические породы кукуртского комплекса: гарцбургиты, щелочные габброиды и нефелиновые сиениты, которые следует отнести к щелочно-ультрамафической формации.

Породы месторождения относятся к музкольской серии. Они претерпели в своём развитии два тектоно-метаморфических цикла [Буданова, 1991]: первый с возрастом 1.9–1.6 млрд. лет (PR₁) проявился в условиях высокотемпературной амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций высоких давлений. В палеогене метаморфизм проявился зонально, затронув как докембрийские метаморфические, так и обрамляющие их фанерозойские неметаморфизованные породы. В этой связи выделяются зоны амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций [Дюфур, Котов, 1972].

На месторождении выделены три типа горных пород [Литвиненко и др., 2019; Одинаев, 2019].

Первый тип составляют чёрные породы (магматические и метасоматические) – основной фон месторождения. Магматические породы – гарцбургиты кукуртского комплекса. Метасоматические породы – чёрные бескварцевые амфиболиты – составляют основу месторождения. Амфиболиты месторождения рассматриваются нами как продукт изменения габброидов кукуртского комплекса.

Второй тип представляют альбититы, слагающие пять относительно крупных субсогласных тел (рис. 1). По нашему мнению, разделение этих пород на две группы геологами "Памиркварцсамоцветы" является неудачным, т.к. в альбититах содержание кальцита, доломита, сфена, рутила, амфибола, флогопита варьирует от 30 до 5 %. Часто наблюдаются фрагменты тел, в которых переход от "чистых" (95 %) к "загрязнённым" (70 %) альбититам происходит через 10 см.

В третий тип горных пород месторождения включены альбититовые линзы с пустотами, стенки которых инкрустированы шестоватым скаполитом, содержащие ювелирное кристаллосырьё скаполита.

Несмотря на контрастные отличия в цвете (чёрный – белый) и различный минеральный состав, породы месторождения имеют между собой определённое сходство в химическом составе: низкое

содержание SiO_2 – 39–47 и высокое – Na_2O – от 1.4 до 7.2 мас.%, при вариациях Fe и Mg (табл. 1).

Породы месторождения Черногорское автором рассматриваются как метасоматически изменённые породы кукуртского магматического комплекса докембрийского возраста. Процесс их преобразования генерировался региональным метаморфизмом. Определение их парагенетической связи с кукуртским комплексом решается следующим образом.

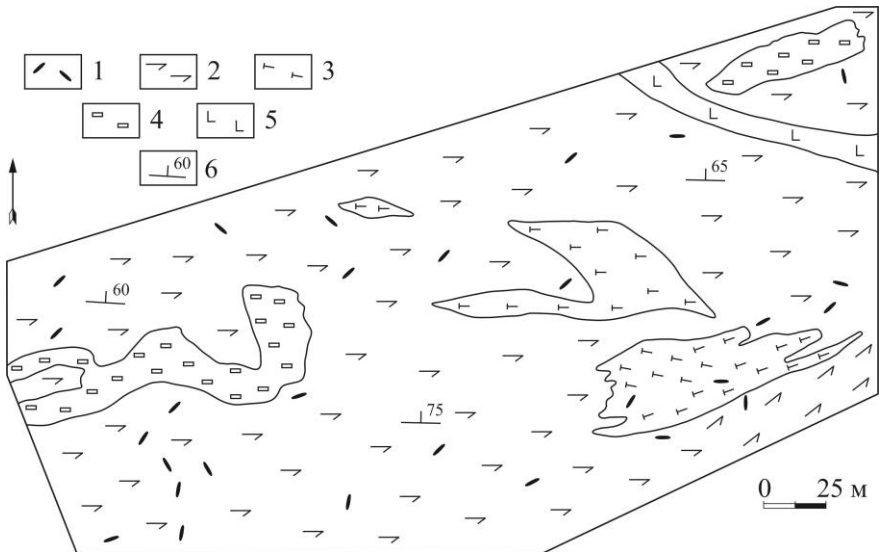


Рис. 1. Геологический план месторождения Черногорское. 1 – линзы альбититов с ювелирным скаполитом; 2 – амфиболиты; 3–4 – альбититы: 3 – обедненные тёмноцветными минералами; 4 – обогатённые тёмноцветными минералами; 5 – гарцбургиты; 6 – элементы залегания.

1) По химическому составу (табл. 1 и 2) метасоматические породы Черногорского месторождения коррелируются с щелочными базитами и ультрабазитами. Это подтверждает наше предположение о щёльно-габброидной, нефелин-сиенитовой и мельтейгитовой природе протолита (рис. 2а). Помещённые на классификационные диаграммы [Coxetal. 1979] и [Middlemost, 1994], составы этих пород попадают в поля щелочных основных и ультраосновных пород (рис. 2б).

Таблица 1. Химический состав вмещающих пород месторождения Черногорское, в мас.%

№№ П.п.	Химические компоненты																				Σ
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	S	Cl	Sr	Zr	Cu	Co	Ni	Zn	П.п.п.	
Гарцбургиты																					
1	45,55	0,73	6,66	14,02	0,16	26,15	4,17	1,42	0,27	0,21	0,11	0,04	0,35	0,01	0,01	0,01	0,02	0,07	0,02	-	100,08
2	38,63	0,98	6,76	19,89	0,19	25,87	4,58	1,94	0,54	0,31	0,07	0,06	-	0,02	0,01	-	0,01	0,11	0,01	0,03	100,02
3	43,6	2,6	7,3	12,46	0,17	16,1	11,9	1,9	1,2	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	97,57
Амфиболиты																					
4	44,00	4,59	14,52	14,65	0,47	7,62	9,53	2,92	0,34	0,60	0,23	0,20	0,22	0,04	0,03	0,06	-	-	-	-	100,02
5	46,79	1,36	13,08	11,14	0,04	6,30	11,31	7,18	0,17	0,41	1,26	0,56	0,16	0,02	0,01	0,04	0,04	-	-	-	100,40
6	39,40	3,77	14,94	14,87	0,19	7,44	14,85	2,75	0,37	0,74	-	0,02	0,35	0,18	0,03	0,01	-	-	0,02	-	99,91
7	38,41	3,48	9,84	20,82	0,16	8,91	11,36	2,20	1,54	0,66	1,64	0,14	0,37	0,06	0,03	0,05	-	0,25	-	-	99,67
8	38,57	5,16	12,75	17,46	0,21	6,39	12,98	2,53	0,69	0,86	-	0,02	-	0,23	0,04	0,01	0,01	-	0,01	2,04	99,99
9	40,22	6,36	12,49	19,79	0,23	6,56	9,56	2,96	0,74	0,70	0,01	0,05	-	0,05	0,03	-	0,01	0,01	0,01	0,19	99,99
10	40,04	5,06	11,35	18,22	0,23	7,21	12,44	2,6	0,81	0,68	-	0,02	-	0,11	0,03	0,01	0,01	-	0,01	1,13	99,98
11	41,54	3,98	19,02	8,26	0,21	2,37	10,73	4,86	2,45	0,52	0,001	0,13	0,45	0,53	0,09	0,002	0,001	0,001	0,03	4,01	99,18
12	40,51	5,19	12,59	15,32	0,19	6,95	13,89	2,22	0,68	0,64	0,01	0,65	0,31	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	1,12	100,44
Альбититы																					
13	47,71	1,40	18,71	1,35	0,03	1,68	13,97	6,67	0,83	0,69	-	0,03	-	0,03	0,01	-	-	-	-	6,89	100
14	46,12	1,39	17,56	1,92	0,05	3,12	13,98	6,19	1,76	0,29	-	0,03	-	0,03	0,01	-	-	-	-	7,53	99,98
15	47,19	1,42	18,55	1,38	0,03	1,87	14,08	6,71	0,95	0,60	-	0,03	-	0,03	0,01	-	-	-	-	7,13	99,98
16	39,42	1,06	14,73	1,24	0,05	1,18	23,04	5,58	0,52	0,37	-	0,04	-	0,04	0,01	-	-	-	-	12,73	100,01
17	29,30	1,60	9,01	3,99	0,11	9,68	22,80	4,80	0,37	0,30	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	-	-	0,01	0,01	17,73	99,92
18	38,00	1,21	12,30	3,50	0,09	6,51	16,60	6,97	0,14	0,41	0,03	0,24	0,04	0,38	0,01	-	-	0,01	0,01	13,58	100,06
19	37,50	1,50	9,98	3,62	0,12	9,01	18,20	5,85	0,11	0,15	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	-	-	-	0,01	13,78	100
Скаполититы																					
20	58,90	0,11	19,10	0,12	-	0,06	2,61	12,60	1,43	-	-	0,18	4,36	0,21	-	0,01	0,01	-	0,01	0,31	100,02

Примечание. В №№ 1 и 5 породах установлены V до 0.21 и 0.57, а в 12, 17 и 11 по 0.02 и 0.01; в 1, 11 и 7 породах Ва соответственно 0.03, 1.25 и 0.09 а 2, 9, 10, 12 и 8 по 0.01 и 0.02; в 8, 9, 10, 11, 12 и 20 Nb соответственно по 0.01; в 18, 20 и 19 W соответственно 0.03 и 0.04 в 11 Rb-0.003, Y-0.007, Pb-0.04, и As-<0.001 мас.%. Анализы пород выполнены в ГЕОХИ И.А. Рошиной и ИГЕМ А.И. Якушев рентгенофлуоресцентным методом. 3 – лерцолиты по Э.А. Дмитриеву (1978). (-) – не определялось.

Таблица 2. Химический состав метасоматических пород центрального (1-3, 8-12, 17, 18), и западного фланга месторождения, в мас. %

Окс. № п.п.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	Σ
Амфиболиты											
1	51,04	1,84	16,7	9,51	4,91	5,79	6,91	0,81	0,36	1,96	100
2	45,58	1,75	16,8	10	9,01	3,94	5,21	4,72	0,32	2,43	100
3	50,11	1,91	17,18	5,28	5,52	5,94	7,86	2,35	0,34	3,3	100,01
4	51,23	1,28	15,22	3,43	5,56	11,91	8,44	0,18	0,32	2,26	100,01
5	52,05	2,4	13,73	6,14	5,43	8,51	6,41	0,37	0,22	4,64	100
6	45,14	2,46	15,13	10,72	6,72	11,96	3,91	0,82	0,32	2,65	100,01
7	35,7	5,56	9,65	21,28	7,92	14,22	1,65	0,2	1,79	1,08	99,99
8	47,53	1,36	14,12	12,24	9,89	7,83	3,95	1,9	0,15	0,9	99,99
9	67,26	0,29	14,17	2,38	2,93	3,11	8,12	0,47	0,04	1,16	99,99
10	50,92	1,64	14,74	9,49	6,34	9,86	5,36	0,68	0,18	0,48	99,99
11	50,33	1,76	15,32	10,41	7,73	7,09	5,55	1,01	0,13	0,58	100,01
12	50,05	1,66	15,64	10,78	6,37	6,07	6,37	0,91	0,34	1,65	100,02
Альбититы											
13	37,92	1,51	10,88	3,1	7,57	14,88	5,62	0,42	0,21	17,73	99,99
14	41,77	1,11	12,67	9,86	8,35	6,66	4,21	1,34	0,3	13,58	99,99
15	44,53	1,4	10,94	2,88	7,43	12,51	6,25	0,09	0,09	13,78	100,01
16	62,38	1,41	15,46	2,35	3,74	3,05	8,97	0,39	0,32	1,81	99,99
17	66,56	0,01	20,18	0,24	0,01	0,88	10,97	0,18	-	0,98	100,02
18	45,09	1,6	14,08	4,94	4,67	10,97	6,54	0,95	0,43	10,42	99,98

Примечание. В альбититах содержится большие количества кальцита, доломита, амфибола и флогопита. В породах установлены SO₃ от 0.05 до 0.61 и MnO от 0.05 до 0.33 мас.%. Силикатный анализ проводился в лаборатории ОАО «Рогунская ГЭС» М.Н. Аvezовом.

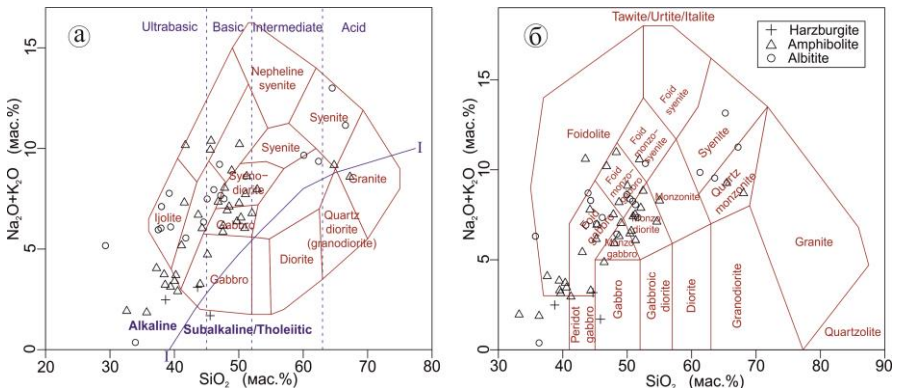


Рис. 2. Положение горных пород Черногорского месторождения на диаграммах. а) I-I – граница между щелочными и субщелочными рядами по Ирвину и Барагару [1971]; б) по [Middlemost, 1994].

2) На основе прямых находок в составе кукуртского комплекса нефелиновых сиенитов [Дмитриев, Минаев, 1971], которые с физико-

химической точки зрения являются наиболее подходящим субстратом для образования альбититов с пустотами, мы предполагаем протопородой для них нефелиновые сиениты. Это подтверждается следующими расчётами:

а) На диаграмме основных типов магматических пород [Предовский, 1980] в координатах глинозёмистость–фемичность–общая щёлочность амфиболиты месторождения Черногорское попадают в зону субщелочных и щелочных пород, располагаясь вблизи точек, соответствующих нефелинитам, лейцититам иоливиновым толеитам. Амфиболиты, которые вмещают альбититы, вероятно, образовались по меланократовым габбро и гипербазитам. Это предположение согласуется с данными В.И. Буданова [1993].

б) Соотношение состава амфибола и плагиоклаза из амфиболитов на диаграмме [Перчук, 1970] соответствует сиенитам.

в) В главных породах месторождения – амфиболитах с большим количеством ильменита – обнаружены нефелин, содалит и калишпат (табл. 3), которые являются возможными реликтами нефелиновых сиенитов [Литвиненко, Одинаев, 2019].

Таблица 3. Химический состав содалита и его минеральной ассоциации, в мас. %

№п.п. Окс.	Номера проб									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Sdl				Ne	Kfs		Pl		
SiO ₂	37,11	37,55	38,31	38,38	45,19	63,76	62,87	67,88	67,26	62,58
TiO ₂	-	0,03	-	0,01	0,01	-	-	0,02	0,01	0,05
Al ₂ O ₃	33,82	33,8	33,91	33,57	33,67	18,52	19,61	21,12	21,64	24,14
FeO	0,01	0,01	0,15	0,04	0,08	0,04	0,07	0,05	0,06	0,16
MgO	0,04	-	0,01	-	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01
CaO	0,14	0,1	0,13	0,07	0,14	-	0,61	0,68	1,54	4,98
Na ₂ O	26,04	24,23	22,64	22,6	18,99	0,58	1,16	11,46	11,13	9,16
K ₂ O	0,09	0,1	0,07	0,03	0,18	15,9	13,95	0,22	0,23	0,14
Cr ₂ O ₃	0,02	0,01	0,04	0,09	-	0,03	-	0,03	-	0,05
P ₂ O ₅	0,16	0,23	0,42	0,28	0,11	0,33	0,38	н.о.	0,27	0,41
Cl	6,67	6,5	6,66	6,54	0,54	-	-	н.о.	0,01	0,02
F	0,14	-	-	-	0,05	0,21	0,17	-	0,07	-
CoO	-	0,02	0,05	-	0,02	0,02	0,01	н.о.	0,02	0,01
NiO	-	-	0,06	-	-	-	0,01	0,01	0,06	0,06
Σ	104,23	102,59	102,43	101,66	99,02	99,46	98,86	101,52	102,32	101,78

Примечание. В содалите №4, калиевом полевом шпате №6, плагиоклазе № 9, 10 установлены MnO от 0.01 до 0.05 мас.%. Анализы проводились в ГЕОХИ РАН микрорентгеноспектральным методом, Н.Н. Кононковой.

г) Обильная апатитовая и ильменитовая минерализация также могут указывать на первично габброидный состав протопород.

Первичной породой альбититов могли являться нефелиновые сиениты кукуртского комплекса, относительно крупные массивы которых закартированы в долине реки Зорбурулюк, вблизи месторождения.

Таким образом нужно пересмотреть отнесение пород Черногорского месторождения к сарыджилгинской свите. Нами доказано, что они должны быть отнесены к магматическим породам кукуртского комплекса.

2. Ювелирный скаполит на месторождении кристаллизовался в полостях, расположенных в зональных альбититах. Альбититы образовались в результате замещения нефелиновых сиенитов. Полости сформировались в ходе метасоматоза, протекавшего с отрицательным объёмным эффектом.

Ювелирный скаполит локализован в 28 линзовидных телах длиной 5–8 м и мощностью до 1–2 м, средняя – 0.3 м (рис. 1). Контакты с вмещающими породами резкие и секущие. На фоне субширотного простирания и крутого северного падения вмещающих пород, линзы ориентированы по-разному. Каждое "рудное" тело представляет собой самостоятельную скаполитовую залежь. Расстояние между линзами составляет от 4 до 35 м (рис. 1).

Скаполитовые линзы имеют концентрически-зональное строение. Каждая из них содержит одну или несколько (до пяти) полостей в центре. Стенки полостей сложены шестоватым агрегатом скаполита, постепенно переходящим в альбитит, который с резкими, секущими контактами граничит с амфиболитами (рис. 3). Зона шестоватого скаполита сформирована его кристаллами длиной от 3 до 20 см, между которыми находится пустое пространство до 1 см.

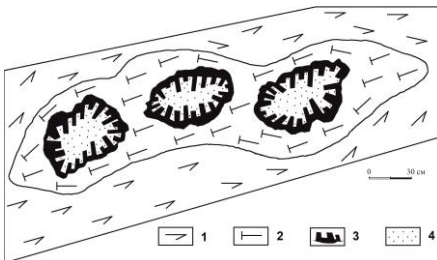
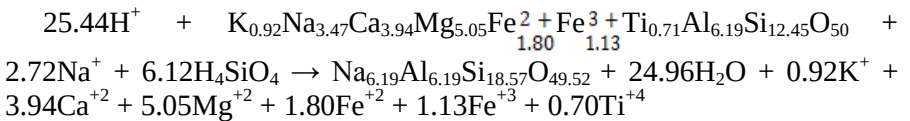


Рис. 3. Строение альбитовой линзы, стенки которой инкрустированы шестоватым скаполитом, содержащим ювелирное кристаллосырьё скаполита. 1 – амфиболиты; 2 – альбититы; 3 – шестоватый скаполит; 4 – полости с ювелирным скаполитом.

Ювелирный скаполит Черногорского месторождения относится к мариалиту, содержащему около 10 % минала мейонита (табл. 4) [Одинаев, 2019].

В результате натрий-кремниевого (кислотного) метасоматоза с выносом K, Ca, Mg, Fe из нефелиновых сиенитов сформировались альбититы – вмещающая среда и источник вещества для скаполитовых зон с пустотами [Литвиненко, Одинаев и др., 2019]. Реальный состав нефелиновых сиенитов кукуртского комплекса, пересчитанный на атомные количества и представленный в виде формулы, рассчитанной на 50 единиц кислорода (O_{50}), в ходе ниже приведенной реакции преобразуется в альбититы.



При условии инертного поведения алюминия равное ему количество будет содержаться в 6.19 единицах альбита. Мольный объём нефелиновых сиенитов равен $721 \text{ см}^3/\text{моль}$, а новообразованных альбититов – составляет $620.3 \text{ см}^3/\text{моль}$. Реакция прошла с отрицательным объёмным эффектом: $\Delta V = -100.7 \text{ см}^3/\text{моль}$. Таким образом, альбитизация нефелинового сиенита привела к уменьшению объёма твёрдых фаз приблизительно на 14 %. Для образования альбититов с пустотами, нефелиновые сиениты являются самой благоприятной физико-химической средой (рис. 4).

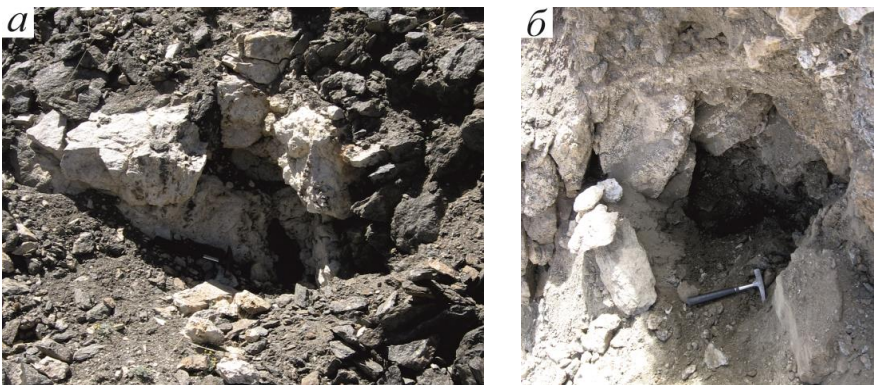


Рис. 4. Альбититовые жилы с полостью: а – третий карьер; б – второй карьер). Кристалло-сырьё скаполита извлечено при разведке.

Таблица 4. Химический состав ювелирных скаполитов, в мас. %

Окс. № п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Cl	Ba	S	Ni	Sr	Σ (%)
1	61,45	18,07	0,10	-	1,20	13,8	1,11	сл	-	4,22	-	0,05	-	-	100,00
2	55,02	17,58	1,13	0,26	2,01	11,0	1,01	0,13	2,08	3,42	0,04	0,08	0,02	0,06	93,85
3	49,28	22,03	2,64	0,45	2,29	14,3	3,45	0,20	0,49	2,82	0,04	0,44	0,14	0,14	98,71
4	61,08	19,91	0,06	0,06	2,30	11,0	1,17	0,02	-	4,02	0,02	0,16	-	0,18	100,02
5	61,41	17,36	0,17	0,11	2,21	12,3	1,20	0,04	-	3,9	-	0,09	-	0,04	98,86
6	59,27	21,04	0,17	-	2,50	11,6	0,44	0,05	0,09	4,69	-	0,03	-	0,07	99,95
7	47,06	23,25	1,11	0,61	5,19	12,8	1,24	0,20	4,24	3,37	0,05	0,13	0,05	0,11	99,42
8	57,80	20,33	0,20	0,17	5,76	12,2	0,40	0,05	0,05	2,88	-	0,10	-	0,07	100,01
9	58,54	21,08	0,06	-	4,04	11,9	0,26	сл	-	3,97	-	0,06	-	0,08	100,02

Примечание: 1 – 5,7 сиреневый скаполит; 6 – розовый, со слабым сиреневым оттенком; 8 – светло-желтый; 9 – желтый с оранжевым оттенком. В пробах 4,5,9 установлено TiO_2 0.03; Проба № 5 заимствована у М.С. Дюфура и др. [2007], это средний состав из серии, в которой максимальное содержание серы составляет 0.5 мас.%. В пробе 5 – следы галлия. Анализы пород выполнены в ГЕОХИ РАН, И.А. Рошиной рентгенофлуоресцентным методом.

Продолжение Таблицы 4. Формульные коэффициенты, рассчитанные на 49 отрицательных зарядов

[illegible]

Самоцвет имеет фиолетовую, сиреневую, жёлтую, розовую, дымчатую окраску или бесцветен (рис. 5).



Рис. 5. Кристаллосырьё ювелирного скаполита различного цвета и габитуса изготовленные из него вставки.

3. Впервые на месторождении установлены карбонатные породы (метасоматические карбонатиты), которые ранее принимались за мраморы. Карбонаты замещают силикатные минералы: роговую обманку, флогопит, биотит, альбит, скаполит и др., и в них сформировались крупные кристаллы титанита, рутила, флогопита, скаполита и др. Метасоматические карбонатиты содержат значимые количества REE.

Метасоматические карбонатиты распространены по всей площади и далеко за контуром месторождения Черногорское. Рассматриваемые горные породы локализованы в полосе от западного фланга месторождения (правый борт р. Кукурт) через водораздел рек Кукурт–Зорбурулюк, занимая часть левого склона долины р. Зорбурулюк. Метасоматические карбонатиты приурочены к массивам габброидов, которые образуют вокруг Черногорского месторождения дугу. Они также широко развиты в амфиболитах, вмещающих габброиды (рис. 6).

Метасоматические карбонатиты имеют относительно небольшие размеры: мощность - 0.2–1, иногда до 5 м и протяжённость - 0.5–15 редко до 250 метров. Их тела имеют относительно высокую

плотность размещения, формируя ореолы вокруг габброидов (рис. 6). Они занимают субсогласное или секущее положение к вмещающим породам, с нечёткими, слабо волнистыми контактами (рис. 7, а-б).

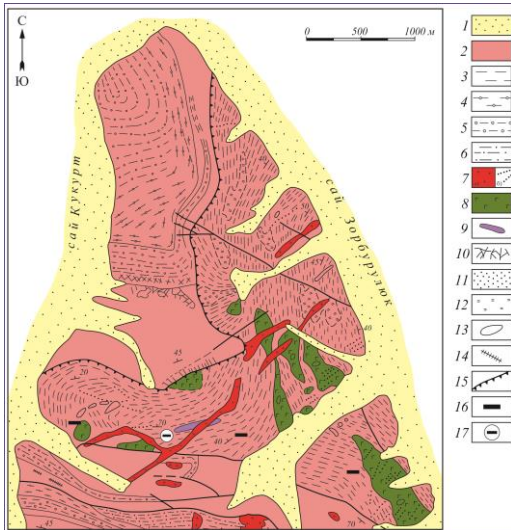


Рис. 6. Карта размещения метасоматических карбонатов в междуречье Кукурт–Зорбурулок. Составлена на основе геологической карты Кукуртского камнесамоцветного узла масштаба 1: 25 000 [Круглов и др., 2003ф].

1 – рыхлые четвертичные; 2–6 – метаморфические породы сарыджилгинской свиты (PR_{1st}): 2 – мраморы; 3 – биотит-амфиболовые сланцы; 4 – гранат-кианит-биотитовые, гранат-силлиманит-кианитовые, гранат-ставролит-кианитовые

сланцы; 5 – гранат-биотитовые, гранат двуслюдяные сланцы; 6 – кварциты со слюдами; 7 – граниты (K₂– P₁) шатпутского комплекса; 8–9 – кукуртский комплекс (PR₃): 8 – габброиды; 9 – гарцбургиты; 10 – зоны дробления; 11 – окварцевание; 12 – метасоматиты диопсид-амфибол-полевошпатового состава со сфеном; 13 – карбонаты; 14 – пегматиты вне масштаба. 15 – надвиг. 16 – проявление скаполитовой минерализации; 17 – месторождение скаполита Черногорское.

В составе метасоматических карбонатов доминирует белый кальцит. В нём неравномерно размещён доломит жёлтого цвета, обусловленным примесью железа. Его индивиды достигают 2 см в поперечнике, а агрегаты до 10х5 см (рис. 7, в-е). Среди карбонатов располагаются крупные порфиробласты рутила, ильменорутила, ильменита, титанита, светло-сиреневого скаполита, альбита, флогопита, циркона, хлорита (клинохлора), турмалина и других минералов. Самыми крупными по размеру в составе рассматриваемых пород являются флогопит (до 20 см по спайности и до 5 см поперёк) и минералы титана. На восточном фланге месторождения [Литвиненко, Одинаев, 2019] в их составе доминирует рутил, а на западном – титанит. Их размеры могут достигать 8 см в поперечнике (рис. 7, в-е).

Содержание карбонатов в обособленных телах варьирует от 70 до 98 %.

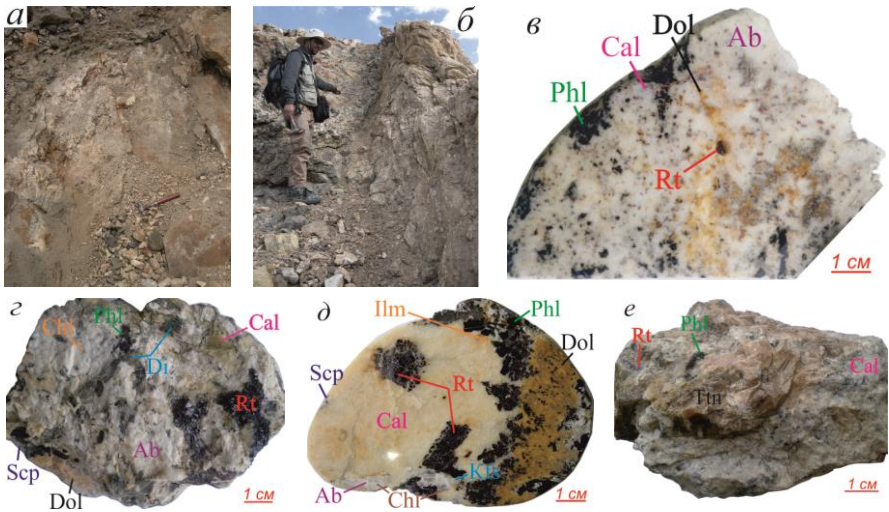


Рис. 7. Фрагменты метасоматических карбонатитовых тел и штуфы различных стадий образования: а – с крупными кристаллами титанита; б – дайкообразное тело метасоматических карбонатитов с большим количеством реликтов альбита и роговой обманки (второй карьер); в – начало замещения альбитита (с редкими карбонатами); г – сильно изменённый альбитит с обилием карбонатов; д – карбонатная порода с редкими реликтами силикатов, с рутилом без титанита; е – карбонатная порода с ещё более редкими реликтами силикатов, с титанитом и редким рутилом.

В кальците установлены невысокие содержания MgO до 2.11, FeO до 1.4, SrO до 0.23 и BaO до 0.32 и Y – 0.02 мас.%. Доломит содержит повышенные количества FeO до 3.9 (это является причиной его тёмно-жёлтого цвета), SrO и BaO , соответственно, до 0.2 мас.%. Оба карбоната содержат повышенные количества MnO до 0.4 мас.% (табл. 5).

Методом ICP-MS в кальците дополнительно определены, в мг/кг: Fe – 12650, Zn – 4, Ti – 773, V – 2.35, Cr – 65.8, Mn – 64.7, Co – 1.06, Ni – 9.84, Cu – 13.2, Zr – 8.04, Ba – 20.3, La – 1.95, Ce – 4.64, Nd – 2.1, Pb – 1.69, U – 1.4.

В составе метасоматических карбонатитов особого внимания заслуживает ильменорутил, отобранный из образца на рисунке 7д. В

нём содержится более 11 мас.% суммы редких земель и 1.75 мас.% V_2O_5 (табл. 6).

Таблица 5. Химический состав минералов метасоматических карбонатитов, в мас.%

№п.п.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Σ	n
Кальцит											
1	-	-	-	0,52	0,32	0,42	51,75	-	-	53,57	4
Доломит											
2	-	-	-	3,88	0,37	17,81	29,06	-	-	51,45	5
Циркон											
3	32,23	-	-	-	-	-	0,4	-	-	99,23	2
Хлорит											
4	27,77	0,09	18,66	21,2	0,08	18,89	0,1	-	-	86,7	2
Альбит											
5	67,9	-	19,93	0,12	0,06	-	0,49	11,50	-	100	6
Флогопит											
6	42,79	3,35	13,18	8,92	0,07	21,99	-	0,45	8,98	99,73	4
Скаполит											
7	57,53	-	21,9	-	-	-	5,25	11,03	0,18	95,89	5

Примечание. В кальците установлены: SrO – 0.23, и BaO – 0.32 в доломите SrO – 0.24, и BaO – 0.2 а в цирконе соответственно HfO₂ – 1.11 и ZrO₂ – 65.49 мас.%. – неопределённо. Анализы выполнены электронно-зондовом микроанализаторе в Минералогическом музее РАН им. А.Е. Ферсмана Л.А. Паутовым.

Таблица 6. Химический состав ильменорутила, ильменита и рутила, отобранных из образца метасоматического карбонатита на рисунке 7д и титаните из амфиболитов, мас.%

№п.п.	TiO ₂	FeO	MnO	CaO	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	V ₂ O ₃	Yb ₂ O ₅	Σ
Ильменорутил										
1	54,46	25,97	-	0,36	4,54	4,08	3,15	1,71	0,6	94,87
2	54,45	26	-	0,28	3,09	3,95	3,75	1,44	-	92,96
3	55,06	25,58	-	0,4	3,64	4,32	2,05	1,75	0,41	93,21
Ильменит										
4	50,17	45,24	0,81	0,25	-	-	-	-	-	96,66
Рутил										
5	98,23	0,81	-	-	-	-	-	-	-	99,24
Титанит										
6	37,85	0,36	0,04	28,67	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,15

Примечание. В титаните установлены: SiO₂ – 30.04, Al₂O₃ – 1.52, MgO – 0.01, Na₂O – 0.03, Cr₂O₃ – 0.08, P₂O₅ – 0.18, F – 0.31, CoO – 0.02, NiO – 0.05 мас.%. В ильмените и рутиле установлены Nb₂O₅ 0.2 мас.%. н.о. – неопределено. Анализы выполнены электронно-зондовом микроанализаторе в Минералогическом музее РАН им. А.Е. Ферсмана Л.А. Паутовым.

Химический состав титанита рентгенофлуоресцентным методом показал, что минерал содержит группу оксидов-изоморфных элементов: Nb_2O_5 – 0.18, ZrO_2 – 0.16, ThO_2 – 0.05, Y_2O_3 – 0.21, CeO_2 – 0.17, Gd_2O_3 – 0.05, Nd_2O_3 – 0.19, Sm_2O_3 – 0.07, SnO_2 – 0.17, WO_3 – 0.017 мас.%. Рутил содержит меньшее количество изоморфных элементов: Nb_2O_5 – 0.29, ZrO_2 – 0.06 мас.%.

Методом ICP-MS установлены элементы-примеси в титаните, в мг/кг: Zn – 328, Sc – 6, V – 649, Cr – 138, Mn – 200, Co – 1, Ni – 2, Cu – 32, Ga – 12, As – 8, Se – 9, Sr – 59, Ba – 354, La – 237, Pr – 239, Eu – 89, Tb – 61, Dy – 398, Ho – 63, Er – 183, Tm – 21, Yb – 130, Lu – 10, Hf – 11, Ta – 64, Pb – 5, U – 97; в рутиле: Fe – 11810, Zn – 24, Sc – 6, Ti – 1137, V – 2, Cr – 58, Mn – 1176, Co – 2, Ni – 6, Cu – 6, Se – 2, Sr – 556, Y – 128, Ba – 30, La – 51, Ce – 121, Pr – 13, Nd – 58, Sm – 13, Eu – 3, Gd – 16, Tb – 2, Dy – 17, Ho – 4, Er – 13, Tm – 2, Yb – 15, Lu – 2, Pb – 5. Анализы выполнены в лаборатории Института минералогии УрО РАН, Миасс, аналитик Филиппова К.А.

Карбонатные тела похожи на мраморы (рис. 8), возникшие по известнякам. Ранее их так ошибочно диагностировали. Представленные породы, в связи с пространственной близостью к ультрабазитам и габброидам, очень напоминают гидротермальные карбонатиты [Фролов и др., 2003].

Секущее положение метасоматических карбонатитов по отношению ко всем породам месторождения свидетельствует об их самом молодом возрасте. Зёрна карбонатов наблюдаются как в виде отдельных индивидов среди всех породных комплексов – зарождение (рис. 7, в), так и в виде агрегатов, образование которых обусловлено интеграцией многочисленных кристаллов (рис. 7, г–е). Это количественное различие может быть определено как стадийность в их образовании. Оно проявляется в смене минеральных ассоциаций (рис. 7, в–е). В шлифах и штуфах наблюдается замещение кальцитом и доломитом силикатных минералов, среди которых содержатся значительные количества титанита, рутила и других. При этом замещённые минералы претерпевают перекристаллизацию с образованием крупных порфировластов размером до 10 см в поперечнике (рис. 7, г–е).

Генезис месторождения может быть представлен следующей схемой:

1-й этап метаморфизма (докембрий) – формирование протопород: гарцбургитов, габброидов и нефелиновых сиенитов кукуртского комплекса (PR₃).

2-й этап метаморфизма (альпийский): первая стадия минералообразования протекала с повышением температуры и привносом натрия. Породы превратились в альбитсодержащий амфиболит. Во вторую стадию, при гидратации и привносе хлора в альбититах образовались скаполитовые зоны с полостями. Третья стадия связана с интенсивным привносом CO₂, благодаря которой возникают индивиды карбонатов, с развитием которых связано образование карбонатных тел кальцит-доломитового состава с перекристаллизованными кристаллами рутила, титанита, флогопита, скаполита и др.

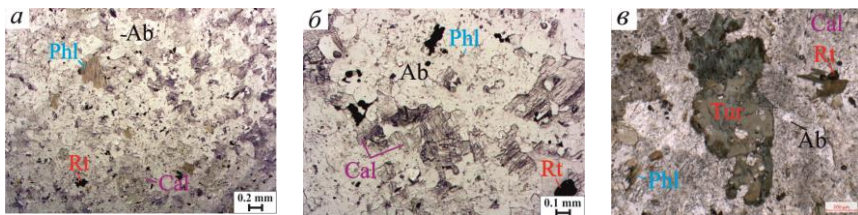


Рис. 8. Замещение альбититов карбонатами: а – слабое замещение; б – более интенсивное; в – крупный реликт зонального турмалина в агрегате кальцита.

Образование метасоматических карбонатитов (рис. 8) является конечной стадией эндогенного процесса, проявленного в виде карбонатизации, которая интенсивно проявилась на площади месторождения. Этой стадией завершились процессы эндогенного минералообразования в рассматриваемом регионе.

4. На Черногорском месторождении ювелирного скаполита установлена крупная, первичная геохимическая аномалия Co, Ni и др. элементов. Наиболее высокие содержания кобальта и никеля выявлены в акцессорном магнетите (в среднем соответственно 0.11 и 0.72 мас.%) и пентландите (соответственно 1.81 и 44.1 мас.%). Содержания никеля и кобальта в породах превышают кларк в 10-20 раз, что может повысить практический интерес к данному месторождению.

По всей площади месторождения автором были проанализированы породообразующие и акцессорные минералы методом электронного микрозондового анализа, аналитик Н.Н. Кононкова, ГЕОХИ РАН. В 680 анализах из >800 определений, были установлены высокие содержания Co и Ni (табл. 7).

Таблица 7. Содержания Co и Ni в породообразующих и акцессорных минералах месторождения

Минералы	Вариации содержаний		Среднее содержание	
	Co	Ni	Co	Ni
Оливин	0,01-0,08	0,16-0,31	0,04	0,23
Пироксен	0,03-0,07	0,01-0,11	0,05	0,06
Рог. обман. ¹	0,02-0,07	0,04-0,18	0,04	0,11
Биотит	0,02-0,07	0,02-0,16	0,04	0,09
Флогопит ¹	0,03	0,09	0,03	0,09
Ильменит ¹	0,01-0,06	0,07-0,14	0,03	0,11
Апатит ¹	0,01-0,06	0,01-0,09	0,03	0,05
Магнетит ¹	0,04-0,17	0,55-0,89	0,11	0,72
Ильменорутил	0,01-0,13	0,02-0,06	0,07	0,04
Пентландит	1,38-2,24	41,55-46,69	1,81	44,12
Рог. обман. ²	0,01-0,08	0,01-0,09	0,05	0,05
Флогопит ²	0,04-0,07	0,02-0,04	0,05	0,03
Ильменит ²	0,01-0,13	0,01-0,12	0,07	0,07
Апатит ²	0,01-0,07	0,03-0,09	0,04	0,06
Магнетит ²	0,04-0,13	0,02-0,84	0,08	0,43
Гематит	0,09	0,07	0,09	0,07
Титанит	0,06-0,1	0,05-0,08	0,08	0,06
Кальцит	0,01-0,06	0,01-0,05	0,03	0,03
Скаполит	0,01-0,05	0,01-0,06	0,03	0,03
Плагноклаз	0,01-0,06	0,01-0,06	0,03	0,03
Калишпат	0,01-0,05	0,01-0,03	0,03	0,02
Содалит	0,02-0,07	0,03-0,06	0,04	0,04

Примечание. 1 в числителе – минерал из гарцбургитов. 2 в числителе – из амфиболитов. Пентландит в расчёт среднего содержания Co и Ni не включён. Анализы выполнены микрорентгено-спектральным методом ГЕОХИ РАН.

Кларки Co и Ni в земной коре составляют 0.0018 и 0.0058 %, соответственно [Виноградов, 1962]. Типоморфным признаком минералов, как породообразующих, а так же акцессорных и рудных, является почти постоянное содержание в них Co более чем в 20 раз выше кларка и Ni в 10 раз выше кларка. Кларки определялись девятью

группами геохимиков [Касимов, Власов, 2015]. Среди них Co составляет от 0.0007 до 0.0017, а Ni от 0.019 до 0.047 %. Эти расчёты кларков ещё более увеличивают потенциал выделяемой геохимической аномалии.

В месторождениях силикатного типа коры выветривания содержания Co составляет от 0.0n до 0.n %, а Ni – от 0.7 до $n \times 1.0$ % [Методические ..., 2007]. Содержание этих элементов в породообразующих минералах на рассматриваемом объекте сопоставимы с содержанием этих металлов в горной массе. В гарцбургитах установлено 0.02, а в амфиболитах – 0.04 мас.% кобальта (табл. 1). Высокие содержания Co и Ni во всех минералах, включая рудные позволяет рассматривать всю площадь месторождения Черногорское и его фланги как крупную первичную геохимическую аномалию, площадью около 54000 м². Учитывая крутопадающее залегание амфиболитов, мы объективно можем экстраполировать глубину на 100 метров. При средней плотности 3.16 т/м³ горная масса составит 17064 тыс. тонн. Среднее содержание металлов составляет: Co 0.06 %, а Ni 0.09 %. Прогнозный геохимический потенциал составит 102384 т кобальта и 153576 т никеля. Учитывая, что кобальтоносные и никеленосные породы месторождения прослежены на запад на 0.2 км, а на восток – на 1 км, потенциал этих металлов можно увеличить в четыре раза, т.е. он составит: Co – 409 тысяч тонн, Ni – 614 тысяч тонн. Ресурсный потенциал кобальта в пределах аномалии сопоставим с запасами таких стран как Австралия и значительно превышает ресурсы кобальта Китая, России, Казахстана, Ботсваны, Греции и Новой Гвинеи. Запасы Co в крупнейших докембрийских месторождениях Африки составляют сотни тысяч тонн [Быховер, 1984]. Рассматриваемый природный объект по содержанию и ресурсам можно сравнивать с ними. По приблизительным оценкам они составляют 5 % от мировых [Литвиненко, Одинаев и др., 2019; Одинаев и др., 2020].

Нужно отметить благоприятную для разработки структуру месторождения, представляющую крутопадающую на север моноклираль. В её контурах разработка возможна открытым способом.

Co-Ni геохимическая аномалия генетически связана с массивами ультраосновных (гарцбургиты), основных (габброиды) и щелочных (нефелиновые сиениты) горных пород. В процессе полициклического

метаморфизма они сохранили эту геохимическую специализацию. Влияние метаморфизма на характер размещения ассоциации Co и Ni пока не ясен. Динамика содержаний этих элементов в рудных и нерудных минералах представлена на графиках (рис. 9).

Благоприятным фактором для потенциально промышленного значения выявленной геохимической аномалии является преимущественная концентрация кобальта и никеля в акцессорном магнетите (в среднем соответственно 0.11 и 0.72 мас.%) и пентландите (соответственно 1.81 и 44.1 мас.%). Это может позволить достаточно легко выделить магнетит и пентландит из пород с помощью магнитной и гравиметрической сепарации, что обусловит низкую себестоимость переработки потенциальных руд.

Вблизи западной границы месторождения в интервале более 20 м нами установлена вольфрамовая и ниобиевая аномалия. Содержания WO_3 составляют сотые-десятые доли %, а Nb_2O_5 – тысячные- сотые доли %. Максимальное содержание ниобия составляет в 10 раз выше кларка, вольфрама – в 500 раз.

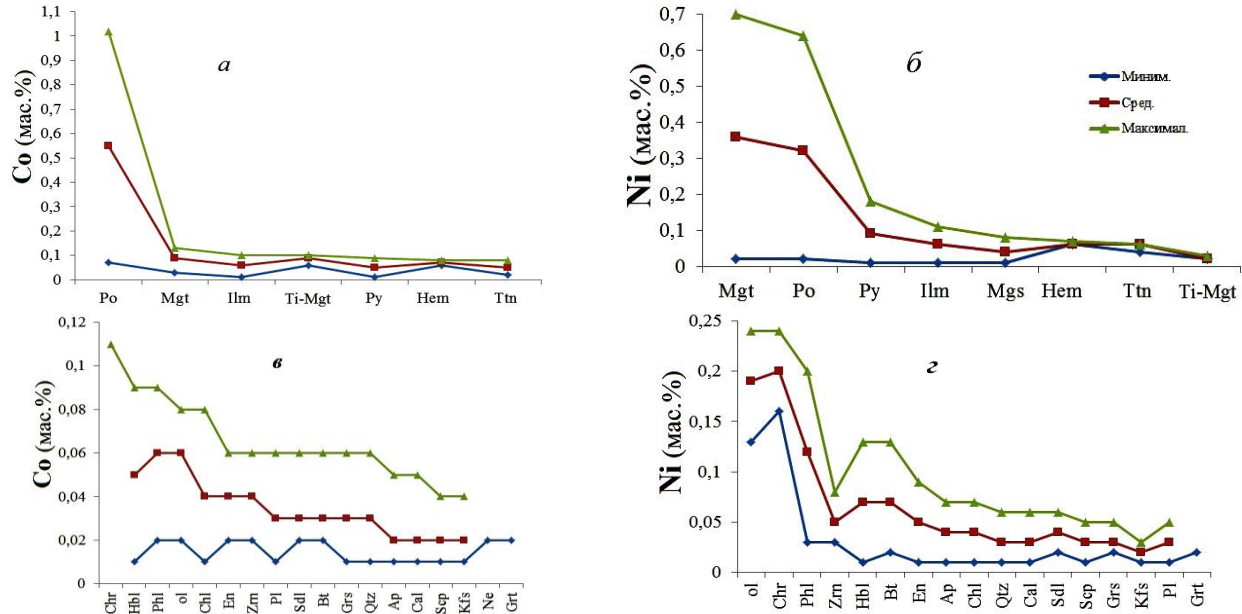


Рис. 9. Вариативная диаграмма содержаний Co и Ni в рудных (а,б) и нерудных (в,г) минералах аномалии. Содержание Co в пентландите 1,1 – 1,4 – 1,76 а Ni 32,65 – 34,67 – 36,69 %. Hem – гематит. Ilm – ильменит. Mgt – магнетит. Mgs – магнезит. Pn – пентландит. Po – пирротин. Py – пирит. Ttn – титанит. Ti-Mgt – титано-магнетит. Zrn – циркон. Ap – апатит. Bt – биотит. Grt – гранат. Grs – гроссуляр. Cal – кальцит. Qtz – кварц. Kfs – калишпат. Ne – нефелин. Ol – оливин. Pl – плагиоклаз. En – энстатит. Hbl – роговая обманка. Scp – скаполит. Sdl – содалит. Phl – флогопит. Chl – хлорит. Ab – альбит. Dol – доломит. Di – диопсид. Rt – рутил. Px – пироксен. Tur – турмалин.

Заключение

Основные результаты диссертации формулируются следующими выводами:

1) Вмещающими породами Черногорского месторождения скаполита являются апомагматические образования кукуртского комплекса. Они представлены гарцбургитами, нефелиновыми сиенитами и габброидами. Гарцбургиты впервые обнаружены в музкольской серии.

2) Структуру месторождения можно определить как линзовидно-гнездовую с секущими контактами. Она обусловлена соотношением интрузивных пород, которые были метаморфизованы в амфиболиты и альбититы.

3) Линзы альбититов вмещают пустоты с ювелирным скаполитом (мариалитом). Они образовались путём метасоматического замещения нефелиновых сиенитов, которое происходило с отрицательным объёмным эффектом, обусловившим возникновение пустот.

4) Замещение альбита шестоватым скаполитом, слагающим стенки полостей, связано с высокотемпературным гидротермальным процессом. Внутри полостей на альбитовых затравках – центрах кристаллизации – росли ювелирные цветные кристаллы скаполита (мариалита).

5) Последовательность процессов на месторождении отвечает схеме: формирование гарцбургитов и меланократовых габброидов с мелкими телами нефелиновых сиенитов → развитие по последним альбититов с пустотами → рост на стенках пустот шестоватого (не ювелирного) скаполита → кристаллизация в пустотах ювелирного скаполита.

6) На месторождении были обнаружены тела карбонатных пород, которые ранее рассматривались как линзы мраморов. По нашим данным они рассматриваются как метасоматические карбонатиты, замещающие силикатные минералы. В них формируются крупные кристаллы флогопита, титанита, рутила и скаполита. Метасоматические карбонатиты месторождения Черногорское, имеют пространственную и, вероятно, генетическую связь с гарцбургитами, габброидами и нефелиновыми сиенитами.

7) Автором выявлена группа новых для месторождения видов рудных минералов: хромшпинелид, пентландит, монацит и

ильменорутит, содержащий более 11 % REE и нерудных: нефелин, флогопит, калиевый полевой шпат, доломит, а также содалит, неизвестный в границах Памира. Наличие этих минералов имеет большое значение для определения протопород, что позволило нам установить генезис месторождения.

8) Выявленная автором геохимическая аномалия Co-Ni позволяет рекомендовать Министерству геологии и Министерству промышленности Республики Таджикистан месторождение ювелирного скаполита Черногорское как комплексный объект, на котором требуется проведение первоочередных поисково-оценочных работ. В перспективе данный объект может явиться новым типом месторождений Co, Ni и, возможно, других металлов: Ti, Nb, W, REE.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ
В рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК
Минобрнауки РФ:

1. 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. ISSN: 0034-026X. 2019. № 7. – С. 17-22.

2. Литвиненко А.К., Моисеева С.Б., **Одинаев Ш.А.**, Утенков В.А. Геология Черногорского месторождения ювелирного скаполита на Центральном Памире (Таджикистан) // Геология рудных месторождений. М.: Наука. ISSN: 0016-7770. – 2019. – том 61. № 5. – С. 96-108. DOI: 10.31857/S0016-777061596-108.

3. Литвиненко А.К., **Одинаев Ш.А.**, Верчеба А.А. Кобальт и никель в нерудных минералах месторождения ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир // Горный журнал. ISSN: 0017-2278. – 2019. №11. – С. 50-53.

4. **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. ISSN: 2500-0632 (ON-LINE). 2019. Том. 4, №4. – С. 282-291. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-282-291.

5. **Одинаев Ш.А.**, Литвиненко А.К., Федоров А.В., Аvezов М.Н., Ятимов У.А. Метасоматические карбонатиты на месторождении

ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир // Разведка и охрана недр. ISSN: 0034-026X. 2020. № 4. (в печати).

В других изданиях и материалах различных конференций:

6. 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)». Т. I; МГРИ-РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, – М.: Изд. НПП «Фильтроткани». – 2018. – С. 220-221.

7. 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-минерагии, минералогии и геммологии, петрологии и геохимии». МГРИ им. Серго Орджоникидзе, – М.: Изд. НПП «Фильтроткани». – 2019. – С. 114-117. ISBN 978-5-9906475-6-5.

8. 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» Т. II; «Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле -минерагии, минералогии и геммологии, петрологии и геохимии». МГРИ им. Серго Орджоникидзе, – М.: Изд. НПП «Фильтроткани». – 2019. – С. 305-306. ISBN 978-5-9906475-6-5.

9. Литвиненко А.К., **Одинаев Ш.А.** Промышленные содержание Со и Ni в минералах месторождения Черногорское, Центральный Памир // Тезисы докладов восьмой научно-практической школы-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием, посвященная 140-летию со дня рождения В.В. Аршинова. М.: ВИМС, 2019, – С. 77-79. ISBN 978-5-6042742-3-1.

10. **Одинаев Ш.А.**, Литвиненко А.К. Метасоматические карбонатиты междуречье Кукурт-Зорбурулюк, Центральный Памир (Республика Таджикистан) // Сборник статей VII Всероссийской молодёжной конференции «Геология, геоэкология и ресурсный

потенциал Урала и сопредельных территорий», Уфа, РН-БашНИПИнефть, 2019, – С. 104-108.

11. **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.

12. **Одинаев Ш.А.** Особенности образования ювелирного скаполита Черногорского месторождения, Центральный Памир // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы инженерной геологии, геотектоники Таджикистана и сопредельных территорий», посвященной 70-летию со дня рождения доктора геолого-минералогических наук, профессора Таджикибекова Мадатбека, Душанбе: Изд-во ТНУ, 2019. – С. 163-170. ISSN 2664-1534.

13. **Одинаев Ш.А.** Геологические особенности альбититов с ювелирным скаполитом Черногорского месторождения (Центральный Памир) // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы инженерной геологии, геотектоники Таджикистана и сопредельных территорий», посвященной 70-летию со дня рождения доктора геолого-минералогических наук, профессора Таджикибекова Мадатбека, Душанбе: Изд-во ТНУ, 2019. – С. 296-302. ISSN 2664-1534.

14. **Одинаев Ш.А.,** Литвиненко А.К., Авезов М.Н. Аномалия Co-Ni на площади месторождения Черногорское ювелирного скаполита, Центральный Памир (Республика Таджикистан) // Сборник тезисов докладов I Молодёжной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ. М.: ЦНИГРИ, – 2020, – С. 150-153.