

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ ИМ. АКАДЕМИКА А.Н.ЗАВАРИЦКОГО
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИГГ УрО РАН)

УДК 553.04(470.5)
Per. N НИОКТР АААА-А18-118052590030-2
Per. N ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора ИГГ УрО РАН
кандидат геол.-мин. наук

_____ Е.В.Аникина
"25" января 2019 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ НАРАЩИВАНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ УРАЛА ПО
БЛАГОРОДНЫМ, ЦВЕТНЫМ И РЕДКИМ МЕТАЛЛАМ
(промежуточный)

0393-2016-0031

Руководитель НИР,
*Заведующий лабораторией геохимии и
рудообразующих процессов, д.г.-м.н.*

_____ А.Ю. Кисин
подпись, дата

Екатеринбург 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР, Заведующий
лабораторией геохимии и
рудобразующих процессов,

Д.г.-м.н.

подпись, дата

А.Ю. Кисин

(введение, раздел 1.2,
заключение, общая редакция)

Исполнители:

Гл. науч. сотр., д.г.-м.н.

подпись, дата

В.В. Мурзин
(раздел 1.2)

Гл. науч. сотр., д.г.-м.н., доц.

подпись, дата

В.Н. Огородников
(раздел 1.4)

Вед. науч. сотр., к.г.-м.н.

подпись, дата

К.Н. Малич
(раздел 1.1)

Вед. науч. сотр., к.г.-м.н.

подпись, дата

И.Л. Недосекова
(раздел 3)

Ст. науч. сотр., к.г.-м.н.

подпись, дата

И.Ю. Баданина
(раздел 1.1)

Ст. науч. сотр., к.г.-м.н.

подпись, дата

А.В. Алексеев
(раздел 3.2)

Ст. науч. сотр., к.г.-м.н.

подпись, дата

О.Б. Азовскова
(раздел 1.3)

Ст. науч. сотр., к.г.-м.н.

подпись, дата

Е.И. Сорока
(раздел 2)

Ст. науч. сотр., к.г.-м.н.

подпись, дата

М.Ю. Ровнушкин
(раздел 1.3)

Науч. сотр.,

подпись, дата

М.Е. Притчин
(раздел 1.2)

Нормоконтроль

Т.А. Осипова

РЕФЕРАТ

Отчет 42 с, 1 кн., 14 рис., 2 табл., источн., 1 прил.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МЕТАЛЛЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ, ЗОЛОТО, ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ, РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ, УРАЛ

Объекты исследований – благородно- поли- и редкометалльные месторождения Урала.

Основная цель исследований заключается в комплексном изучении типовых и нетрадиционных уральских месторождений современными методами, выработке прогнозно-поисковых критериев и рекомендаций на основе наукоемких технологий. В задачи исследований входят, установление источников рудного вещества (с привлечением изотопных методов), оценка времени и физико-химических условий формирования месторождений, эволюция рудообразующих процессов, состав рудоносных флюидов, минеральные ассоциации и парагенезисы, окolorудные изменения пород, пострудные преобразования. По каждому направлению цели и задачи несколько разделяются.

Для достижения поставленных целей использовались полевые и лабораторные исследования традиционными и современными прецизионными методами.

Проведены минералого-геохимические исследования и охарактеризованы платиноидного оруденения хромититов Светлоборского, Нижнетагильского, Верх-Нейвинского и Алапаевского ультрамафитовых массивов (Ср. Урал). Геолого-структурные и минералого-геохимические исследования Светлинского месторождения золота (Ю. Урал), дают основание считать источником золота породы Кочкарского антиклинория, подвергшиеся гранитизации. Сделана сравнительная характеристика рудной редкометалльной минерализации и оценен рудный потенциал карбонатитовых комплексов Урала (Вишневогорское, Потанинское, Булдымское месторождения). Изотопные составы Sr и Nd пироксенов можно объяснить многостадийностью процессов рудообразования и поступлением новых порций рудообразующего вещества на заключительных этапах процесса, а также с процессами перекристаллизации на коллизионном этапе. Предполагается, что вариации изотопных отношений рудных REE-Nb минералов в Булдымском комплексе связаны с коровыми флюидами на стадии щелочного метасоматоза и рудообразования. Применение факторного анализа к метасоматическим процессам на хрусталеносных и золоторудных месторождениях Ю.

Урала показало их однотипность. На Сафьяновском месторождении изучены цирконы из риолитов (U-Pb SHRIMP-II). Получена возраст (с конкордией) 424.9 ± 2.0 млн лет.

Исследования по теме вносят существенный вклад в теорию рудообразования, а также имеют практическое приложение при прогнозно-поисковых работах. Экономическая эффективность работы не определялась.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	8
1 Благородные металлы.....	8
1.1 Минералого-геохимические исследования платиноидного оруденения хромититов Светлоборского, Нижнетагильского, Верх-Нейвинского и Алапаевского ультрамафитовых массивов Урала.....	8
1.1.2 Основные результаты.....	8
1.2 Проблема источников золота Светлинского месторождения.....	19
1.3 Изучение дайкового комплекса Воронцовского месторождения и его соотношения с золотым оруденением.....	25
1.4 Взаимосвязь хрусталеобразующих и золоторудных процессов.....	28
2 Цветные металлы.....	30
3 Редкие металлы.....	30
3.1 Рудный потенциал карбонатитовых комплексов внутриплитных мобильных поясов (на примере Урала): Nb, Zr, TR.....	30
3.2 Основные результаты.....	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
Список работ, опубликованных и подготовленных в ходе выполнения НИР.....	42

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в стране объем геологоразведочных и поисковых работ на твердые полезные ископаемые сведен до минимума. Минерально-сырьевая база страны сокращается, в связи с истощением запасов разведанных месторождений. Переход на импортное сырье угрожает экономической безопасности государства. Крупные месторождения либо уже отработаны, либо уже сильно истощены. Поиски новых месторождений традиционными геолого-геофизическими методами 20-ого века сопряжены с огромными материальными затратами, поскольку должны охватывать более глубокие горизонты коры. В связи с этим особую актуальность приобретает научный прогноз. Только научный прогноз месторождений твердых полезных ископаемых может дать ощутимый экономический эффект и укрепить минерально-сырьевую базу страны. Данный проект направлен на разработку методов научного прогноза различных полезных ископаемых, посредством всестороннего комплексного исследования ряда месторождений Урало-Сибирского региона, с упором на решение ключевых вопросов их генезиса. Только таким путем можно создать прогнозно-поисковый комплекс на тот или иной тип месторождений. Здесь имеется несколько перспективных направлений, которые должны развиваться параллельно: 1) совершенствование методов научного прогноза и поиска месторождений различных полезных ископаемых; 2) совершенствование технологий добычи, обогащения и комплексной переработки руд; 3) переработка отвалов горнодобывающих предприятий, что способствует и экологической безопасности; 4) ревизия и переоценка рудопроявлений с позиций современных научных знаний. Данный проект ориентирован на решение научных проблем связанных с первым направлением и частично с 4 и 3. На Северном Урале открытым способом отработывается достаточно крупное Воронцовское месторождение золота. Запасов осталось на несколько лет (2-3 года). Генезис месторождения дискусионен и эффективный прогнозно-поисковый комплекс на месторождения такого типа не разработан. На Южном Урале карьером отработывается Светлинское месторождение золота, самое крупное в Челябинской области. Сотрудники лаборатории мониторят оба эти объекта и ежегодно посещают карьеры в течение 8-10 лет, решая те или иные задачи. Таким образом, коллектив имеет значительный задел по данным объектам. С учетом того, что в настоящее время геологическая документация на карьерах не проводится, научные исследования проводимые сотрудниками РАН становятся единственными источниками геологической информации по данным месторождениям.

Объектами исследований на 2018 год планировались месторождения и рудопроявления, исследования которых были начаты в рамках конкурсных проектов УрО РАН 2012-2017 гг., показавшие положительные результаты. По ним у коллектива уже имелся большой задел в виде собранных и опубликованных данных, экспедиционных материалов, каменного материала, лабораторных анализов, более глубокого понимания проблемы, новых идей, незавершенных исследований и обобщений, что является благоприятным фактором для достижения поставленных целей.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 Благородные металлы

1.1 Минералого-геохимические исследования платиноидного оруденения хромититов Светлоборского, Нижнетагильского, Верх-Нейвинского и Алапаевского ультрамафитовых массивов Урала

Цель проекта - уточнение вещественного состава и условий образования платинометального оруденения офиолитовых дунит-гарцбургитовых и зональных клинопироксенит-дунитовых массивов Урала. Главные задачи исследования: сравнение вещественного состава, источников рудного вещества и условий образования платинометального оруденения для генетически различных объектов Урала, включая: (1) глубинные части офиолитовых разрезов дунит-гарцбургитовых массивов (Верх-Нейвинского, Алапаевского и др.), представляющих различные по истощенности части океанической мантии и (2) платиноносные клинопироксенит-дунитовые массивы (Нижнетагильский, Светлоборский и др.), характеризующие вещество субконтинентальной литосферной мантии. В плане на 2018 г. - Минералого-геохимические исследования платиноидного оруденения хромититов Светлоборского, Нижнетагильского, Верх-Нейвинского и Алапаевского ультрамафитовых массивов Урала.

1.1.2 Основные результаты

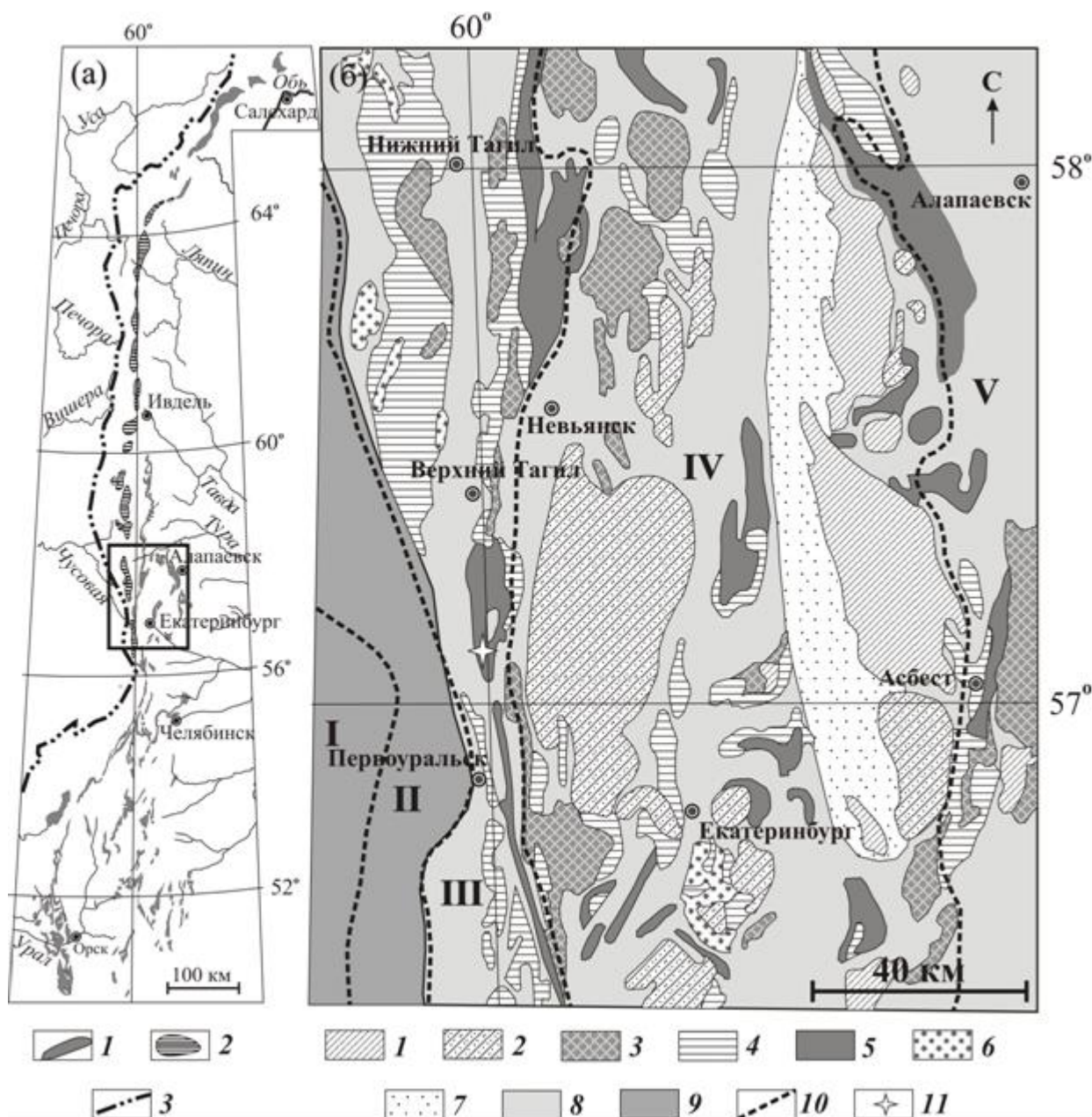
1.1.2.1 Вещественные и генетические особенности первичной минеральной ассоциации платиноидов Верх-Нейвинского дунит-гарцбургитового массива (Средний Урал, Россия)

Для Верх-Нейвинского дунит-гарцбургитового массива, типичного представителя мантийной офиолитовой ассоциации Урала (Россия), установлено широкое развитие разновозрастных ассоциаций минералов платиновой группы (МПП) в составе первичных и вторичных минеральных парагенезисов [14]. Характеристика их вещественного состава и физико-химические условия образования Ru-Os-Ir сплавов приведены в ряде работ [1, 2, 14, 15]. В нашем исследовании обсуждаются результаты изучения химического состава Ru-Os сульфидов и сосуществующих Os-Ir-(Ru) сплавов первичного минерального парагенезиса Верх-Нейвинского массива. Информация о генетических особенностях образования данных МПП приводится с учетом первых результатов по осмиевой изотопии Ru-Os сульфидов.

Верх-Нейвинский массив располагается на стыке Тагильского мегасинклинория и Восточно-Уральского поднятия в зоне Серовско-Маукского глубинного разлома. В его строении участвуют два комплекса - дунит-гарцбургитовый (O_3-S_1), слагающий

внутренние части массива, и плагиогранит-диорит-габбровый (S_2-D_2), расположенный на периферии [14]. В пределах массива выявлено 68 проявлений и мелких месторождений хромититовых руд, локализованных в породах обоих комплексов (см. рис. 1 в [14]). Основные проявления благородных металлов – самородного золота и МПГ связаны с россыпными отложениями современных и древних речных долин. Представительная выборка, состоящая из 685 зерен МПГ размером от 0.1 до 3 мм, отобрана из четвертичных отложений р. Восточный Шишим в южной части Верх-Нейвинского массива (рисунок 1).

МПГ первичной ассоциации Верх-Нейвинского массива образованы преимущественно субидiomорфными и идиоморфными кристаллами, а также агрегатами кристаллов, среди которых Ru-Os-Ir сплавы (85.5 %) преобладают над Ru-Os сульфидами и Pt-Fe сплавами (15.3 и 1.2 %, соответственно [1]). Ru-Os сульфиды представлены двумя морфологическими типами. Первый тип характеризуется кристаллическими индивидами размером от 0.1 до 1.5 мм (рисунок 2а-д). По составу они соответствуют лауриту и эрликманиту, образующими непрерывный ряд твердых растворов (рисунок 3а, таблица 1, Ru # варьирует от 11 до 89). Кроме Ru, Os и S данные минералы содержат значимые концентрации Ir (3.32-12.24 мас. %) и незначительные содержания Fe, Ni и Rh, которые варьируют в пределах 0.19–0.45, 0–0.23 и 0.01–0.5 мас.%, соответственно. Для Ru-Os сульфидов характерны минеральные включения высокомагнезиального оливина ($Fe_{0.92-0.94}$) размером от 5 до 40 мкм (см. таблицу 3, ан. 2-9 [1]) и иридий-содержащего осмия (Os,Ir) – до 30 мкм (рисунок 2в, е; 3б; таблица 2, ан. 10). Начальный Os-изотопный состав Ru-Os сульфидов первого морфологического типа характеризуется значением $^{187}Os/^{188}Os=0.12341$ при величине $\gamma_{Os}(440 \text{ млн лет})=-0.5$.



(а) Массивы: 1 – дунит-гарцбургитовые; 2 - габбро-ультрамафитовые Платиноносного пояса; 3 - Главный Уральский разлом. Прямоугольник соответствует врезке рисунка 1б.

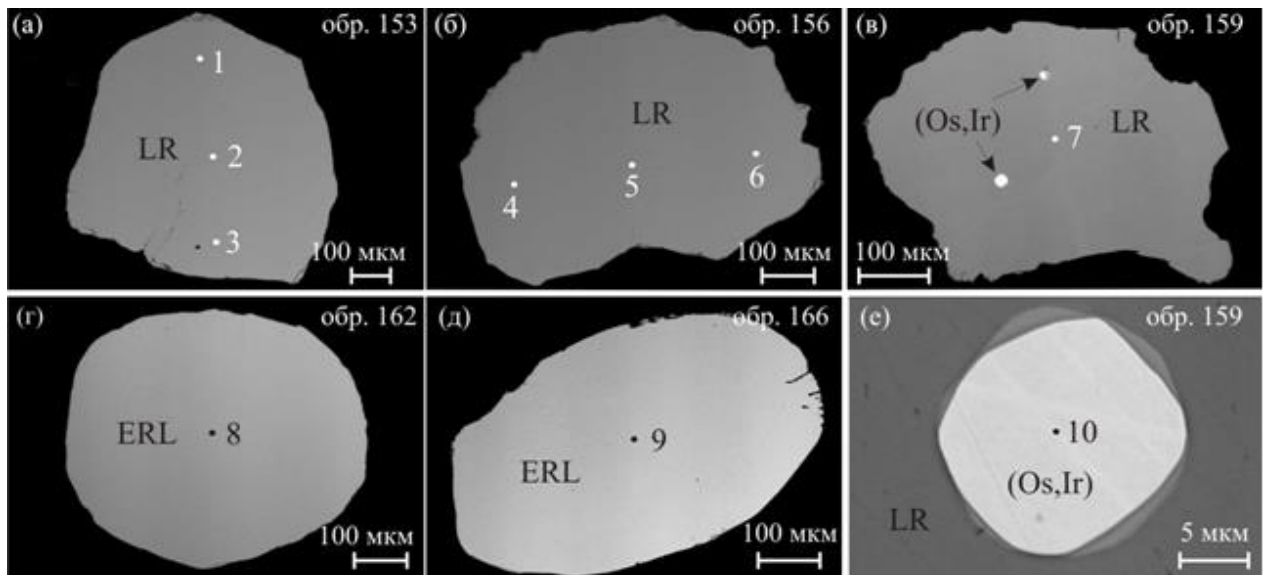
(б) 1-6 - формации интрузивных образований: 1- гранитовая (граниты, гранодиориты, аляскииты); 2 - гранодиоритовая (гранодориты, тоналиты, граниты); 3 - плагиогранитовая (плагиограниты, кварцевые диориты); 4 - габбровая (габбро, габбро-нориты, габбро-диориты, диориты); 5 - дунит-гарцбургитовая (дуниты, гарцбургиты, серпентиниты); 6 - дунит-клинопироксенитовая (дуниты, верлиты, клинопироксениты, горнблендиты); 7 - породы амфиболитовой, амфиболито-гнейсовой, гнейсовой и мигматитовой ассоциаций; 8 - вулканогенно-осадочные породы островодужного сектора Урала; 9 - флишевые, флишоидные, молассовые, терригенно-карбонатные карбонатные формации континентального сектора Урала; 10 – границы мегазон (I – Западно-Уральская, II – Центрально-Уральская, III – Тагило-Магнитогорская, IV – Восточно-Уральская, V – Зaurальская); 11 – местонахождение образцов.

Рисунок 1 - Схема расположения альпинотипных и дунит-клинопироксенит-габбровых массивов Урала по [6] (а); Тектоническая схема Среднего Урала и положение на ней Верх-Нейвинского массива (б)

Таблица 1 - Представительные химические составы Ru-Os сульфидов первого морфологического типа Верх-Нейвинского массива

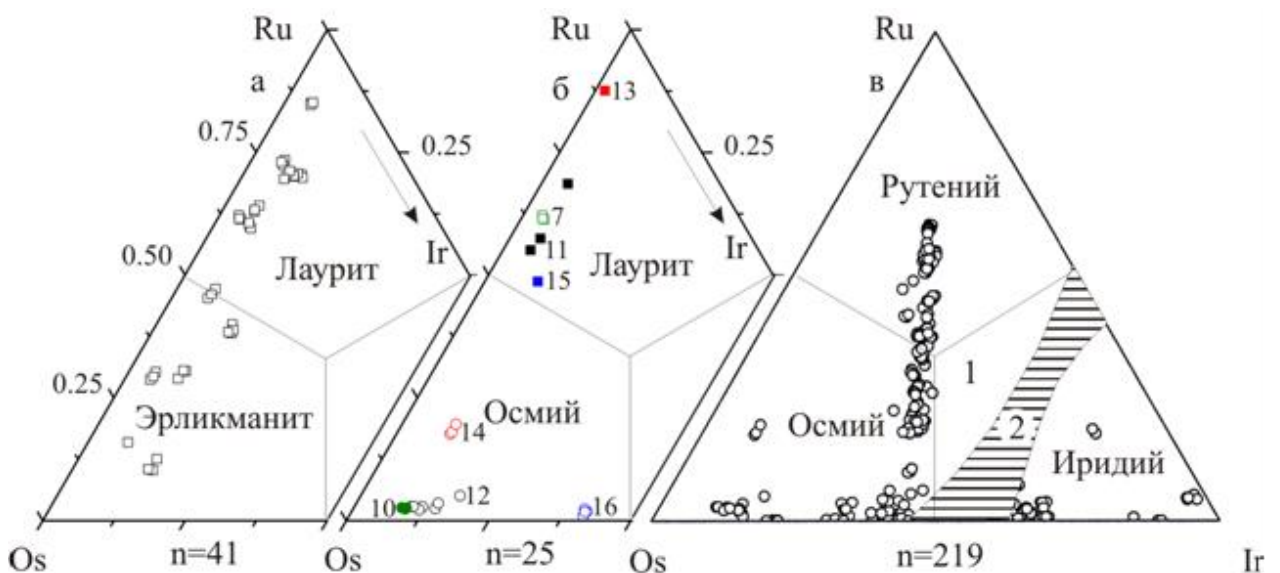
Анализ	1	2	3	4	5	6	7	80	9
Номер обр.	153	153	153	156	156	156	159	162	166
Минерал	лаурит	лаурит	лаурит	лаурит	лаурит	лаурит	лаурит	ERL	ERL
Рисунок	1а	1а	1а	1б	1б	1б	1в	1г	1д
Мас. %									
Fe	<п.о.	<п.о.	0.17	0.38	0.40	0.32	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Ni	<п.о.	<п.о.	<п.о.	0.23	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Cu	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Ru	37.24	36.52	37.10	39.20	38.08	38.89	31.69	12.74	21.48
Rh	0.27	0.39	0.27	0.26	0.25	0.29	0.04	0.11	0.01
Pd	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Os	19.16	19.08	19.58	20.79	21.34	21.53	33.04	51.23	42.41
Ir	10.38	10.71	9.48	5.96	6.10	5.52	3.32	7.81	5.87
Pt	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
S	33.24	33.08	33.81	33.87	33.80	33.42	32.13	28.17	29.63
As	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Сумма	100.29	99.78	100.41	100.69	99.97	99.97	100.22	100.06	99.40
Ат. %									
Fe	–	–	0.19	0.43	0.45	0.36	–	–	–
Ni	–	–	–	–	0.25	–	–	–	–
Cu	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ru	23.57	23.27	23.24	24.27	23.78	24.39	20.80	9.58	15.29
Rh	0.17	0.25	0.16	0.16	0.15	0.18	0.03	0.08	0.01
Pd	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Os	6.45	6.46	6.52	6.84	7.08	7.18	11.53	20.47	16.04
Ir	3.46	3.59	3.12	1.94	2.00	1.82	1.15	3.09	2.20
Pt	–	–	–	–	–	–	–	–	–
S	66.35	66.44	66.77	66.11	66.54	66.07	66.49	66.78	66.46
As	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ru #	78	78	78	78	77	77	77	64	32

Примечание: ERL – эрликманит, $Ru\# = 100 \times Ru \text{ ат.} \% / (Ru + Os) \text{ ат.} \%$. <п.о. – ниже предела обнаружения; для Ru-Os сульфидов пределы обнаружения здесь и в таблица 2 составили (мас. %): Os – 0.15, Ir – 0.75, Ru – 0.24, Rh – 0.01, Pt – 0.09, Pd – 0.27, Fe – 0.15, Ni – 0.18, Cu – 0.15, S – 0.13, As – 0.01.



Изображения в обратно-рассеянных электронах с вещественным контрастом (а – обр. 153, б – обр. 156, в – обр. 159, г – обр. 162, д – обр. 166, е – деталь рисунок 1в). LR – лаурит, ERL – эрликманит, (Os,Ir) – Ir-содержащий осмий. Цифры 1-10 – точки рентгеноспектральных микроанализов, соответствующие таковым в таблица 1.

Рисунок 2 - Особенности внутреннего строения Ru-Os сульфидов первого морфологического типа в составе первичного парагенезиса МПГ Верх-Нейвинского массива

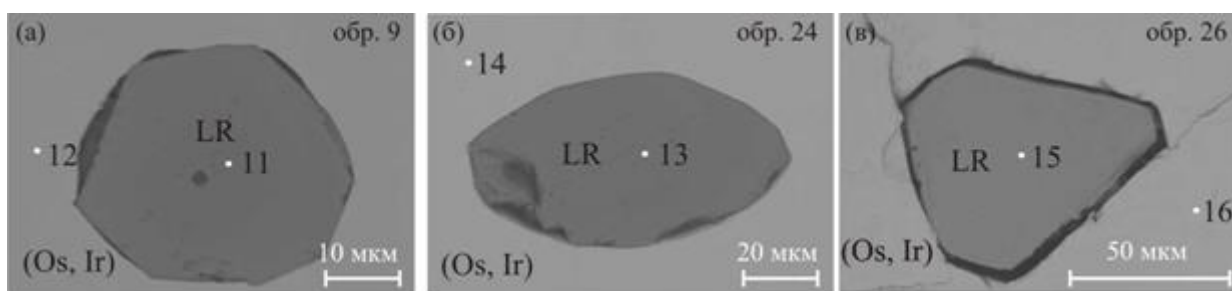


На рис. 3б цифры 7, 10-16 у квадратов и кругов соответствуют порядковым номерам химических анализов в таблица 1 и 2; на рисунок 3в: 1 – рутениридосмин, 2 – область несмесимости по [27].

Рисунок 3 - Химические составы: (а) Ru-Os сульфидов первого морфологического типа, (б) сосуществующих лаурита второго морфологического типа и минералов осмия в составе первичного парагенезиса МПГ, (в) Ru-Os-Ir сплавов первичного платиноидного парагенезиса Верх-Нейвинского массива в координатах Ru-Os-Ir, ат. %

Ru-Os сульфиды второго морфологического типа образованы идиоморфными минеральными включениями размером 30-80 мкм в Os-Ir-(Ru) сплавах (рисунок 4а, б, в). При сравнении с Ru-Os сульфидами первого морфологического типа они характеризуются более рутениевым составом (рисунок 3б, Ru # 54–99, таблица 2, ан. 11, 13, 15), который соответствует лауриту, содержащим незначительные концентрации Rh (0.12–0.25 мас. %) и Fe (до 0.27 мас. %). Ru-Os-Ir сплавы в составе первичного парагенезиса представлены самородным осмием, рутением и иридием (рисунок 3б, в). Изменчивость состава гексагональных минералов осмия и рутения обусловлена либо замещением в твердом растворе осмия иридием (тренд составов вдоль горизонтальной оси Os-Ir на рисунок 3в) или рутением (вертикальный тренд составов в сторону Ru, рисунок 3в).

Согласно данным Д. Бэрда и В. Бассета [23] наличие рутениевого тренда химических составов твердых растворов тугоплавких ЭПГ на тройной диаграмме Ru–Os–Ir (рисунок 3в) свидетельствует о высокобарических условиях образования данных минералов. Высокотемпературное образование Ru-Os сульфидов было подтверждено экспериментально [21]. Соотношения фаз равновесия Os-содержащих сплавов, основанные на бинарных диаграммах Os–Ir, Os–Ru [30] и состав высокомагнезиального оливина ($Fe_{0.92-0.94}$), характерного минерала мантийных ультрамафитов, в Ru-Os сульфидах и Os-содержащих сплавах [1] также свидетельствуют в пользу высокотемпературной природы образования данных МПГ.



Изображения в обратно-рассеянных электронах с вещественным контрастом. Цифры 11-16 – точки рентгеноспектральных микроанализов, соответствующие таковым в таблица 2.

Рисунок 4 - Особенности морфологии включений лаурита (LR) второго морфологического типа в Ir-содержащем осмии (Os,Ir)

1.1.2.2 - Вещественные и генетические особенности минеральной ассоциации платиноидов Светлоборского и Нижнетагильского клинопироксенит-дунитовых массивов (Средний Урал, Россия).

С зональными клинопироксенит-дунитовыми массивами Платиноносного пояса Урала ассоциируют различные по масштабу россыпные месторождения платиноидов. Из наиболее продуктивных россыпей Нижнетагильского и Исовского россыпных узлов Среднего Урала было добыто около 380 тонн платины [12]. Данные россыпные месторождения пространственно сопряжены с Нижнетагильским, а также Светлоборским и Вересовоборским клинопироксенит-дунитовыми массивами, которые являются их коренными источниками. Несмотря на длительную историю изучения платиноносных массивов Урала [3, 4, 7-9, 12, 20, 22, 29, 32 и др.] крупных коренных месторождений платины в них обнаружено не было.

Таблица 2 - Представительные химические составы сосуществующих Ru-Os сульфидов второго морфологического типа и Os-Ir сплавов первичного парагенезиса

Верх-Нейвинского массива

Анализ	10	11	12	13	14	15	16
№ обр.	159	9	9	24	24	26	26
Минерал	(Os,Ir)	лаурит	(Os,Ir)	лаурит	(Os,Ir)	лаурит	(Os,Ir)
Рисунок	1е	3а	3а	3б	3б	3в	3в
Мас. %							
Fe	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	0.27	0.22
Ni	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Cu	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Ru	1.26	26.98	1.34	49.56	11.44	22.81	0.95
Rh	<п.о.	<п.о.	<п.о.	0.25	0.15	0.12	<п.о.
Pd	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Os	89.13	36.92	83.82	11.44	77.51	36.99	57.26
Ir	9.38	4.54	14.66	1.83	10.49	8.28	41.55
Pt	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
S	0	31.34	<п.о.	36.95	<п.о.	31.30	<п.о.
As	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.	<п.о.
Сумма	99.77	99.78	99.82	100.03	99.59	99.77	99.98
Ат. %							
Fe	—	—	—	—	—	0.33	0.74
Ni	—	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	—	—	—	—	—
Ru	2.35	18.26	2.50	28.59	19.62	15.61	1.77
Rh	—	—	—	0.14	0.26	0.08	—
Pd	—	—	—	—	—	—	—

Os	88.44	13.28	83.12	3.51	70.66	13.45	56.75
Ir	9.21	1.62	14.38	0.56	9.46	2.98	40.74
Pt	–	–	–	–	–	–	–
S	–	66.84	–	67.20	–	67.55	–
As	–	–	–	–	–	–	–
Ru #		56		89		54	

Примечание: (Os,Ir) – Ir-содержащий осмий. $Ru\# = 100 \times Ru \text{ ат.} \% / (Ru+Os) \text{ ат.} \% .$ <п.о. – ниже предела обнаружения; для Ir-содержащего осмия пределы обнаружения составили, мас. %: Os – 0.18, Ir – 0.85, Ru – 0.27, Rh – 0.11, Pt – 0.99, Pd – 0.30, Fe – 0.16, Ni – 0.18, Cu – 0.15, S – 0.06, As – 0.03.

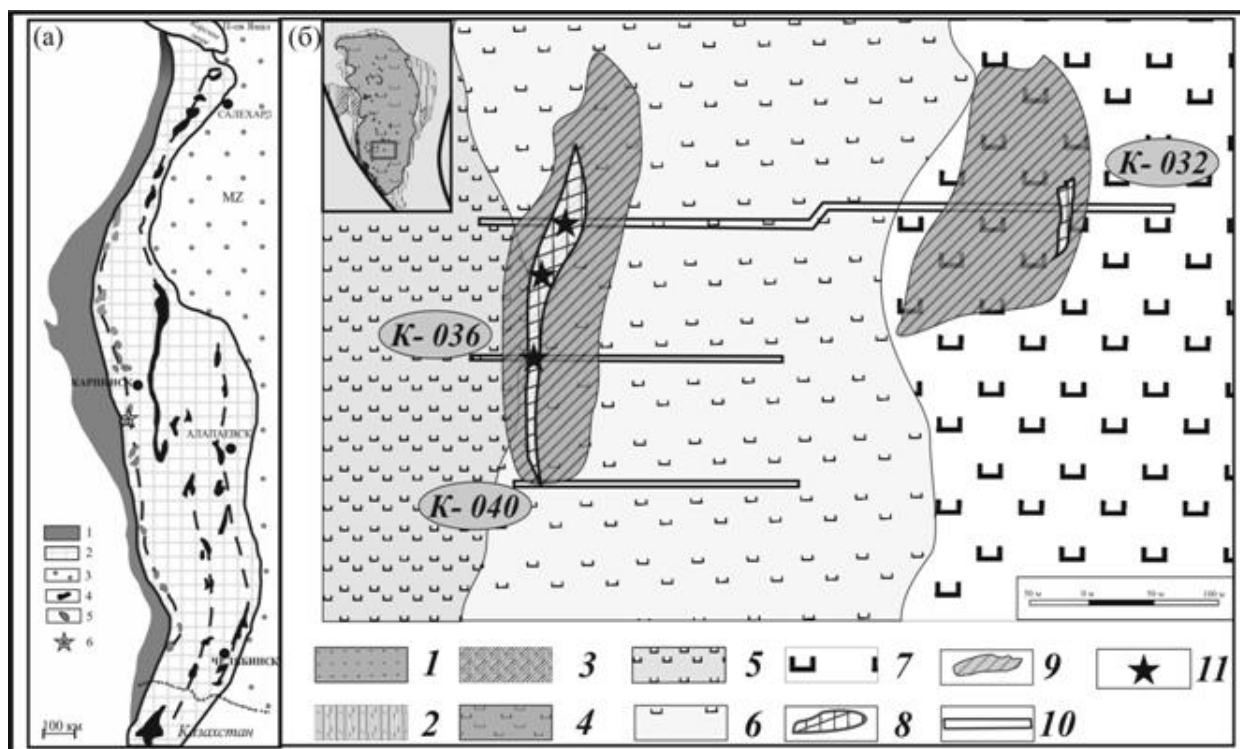
На примере Светлоборского клинопироксенит-дунитового массива охарактеризованы минеральные ассоциации платиноидов в хромшпинелидовых сегрегациях и хромититах, характеризующихся высокими концентрациями элементов платиновой группы (ЭПГ). Оригинальные минералогические данные сопоставлены с особенностями состава МПГ хромититов Нижнетагильского массива на Среднем Урале и Кондёрского массива Алданской провинции, с которыми связаны уникальные россыпные месторождения платиноидов [7, 10].

Светлоборский клинопироксенит-дунитовый массив наряду с другими зональными платиноносными массивами тяготеет к западному борту Тагило-Магнитогорской мегазоны и контролируется Главным Уральским разломом (рисунок 5а). Выявленное в последние годы рудопроявление «Вершинное» расположено в южной части Светлоборского массива (рисунок 5б). Изученные образцы прожилково-вкрапленных обособлений хромшпинелидов и жил хромититов Светлоборского массива приурочены к зоне контакта мелко-, среднезернистых и крупнозернистых дунитов в южной части Светлоборского массива. Зона вытянута в меридиональном направлении и прослежена в длину на 800 метров и в ширину на 50-70 метров (рисунок 5б). В её пределах наблюдаются неравномерно распределённые участки дунитов с повышенным содержанием хромшпинелида до 10–15%. Среди обогащённых хромитом дунитов залегают небольшие субизометричные шпировые выделения хромшпинелидов и линзовидные тела хромититов со средним размером отдельных линз около 0.4–0.7 м по удлинению и 2–5 см в поперечнике. Контакт линзовидных тел с вмещающими породами постепенный, с уменьшением содержания хромшпинелида в дуните по мере удаления от контакта. По данным механического опробования содержания платины в шпировых обособлениях хромшпинелидов составляют 2-5 г/т, в линзовидных телах хромититов – от 10-15 до 40-50 г/т.

подавляющее большинство МПГ хромититов Светлоборского массива, подобно другим зональным клинопироксенит-дунитовым массивам, образованы Pt-Fe сплавами, которые преобладают над другими МПГ (рисунок 6). Химический состав Pt-Fe сплавов

Светлоборского массива (рисунок 7а) близок по составу к стехиометрии изоферроплатины (Pt_3Fe), а также соответствует туламиниту ($PtFe_{0.5}Cu_{0.5}$). Химический состав Pt-Fe сплавов Кондёрского и Нижнетагильского массивов (рисунок 7б, в) близок к стехиометрии Pt_2Fe (где Pt – сумма ат.% ЭПГ; Fe – сумма ат.% железа, меди и никеля), а также соответствует промежуточному члену твердых растворов ряда тетраферроплатина ($PtFe$) – туламинит ($PtFe_{0.5}Cu_{0.5}$). Минерал со стехиометрией Pt_2Fe не известен в синтетической системе Pt–Fe [30]. Однако природные Pt-Fe твердые растворы с химическим составом близким к Pt_2Fe характерны для зональных ультрамафитовых комплексов, офиолитовых массивов и дифференцированных ультрамафит-мафитовых интрузивов [17, 24, 29, 33 и др.].

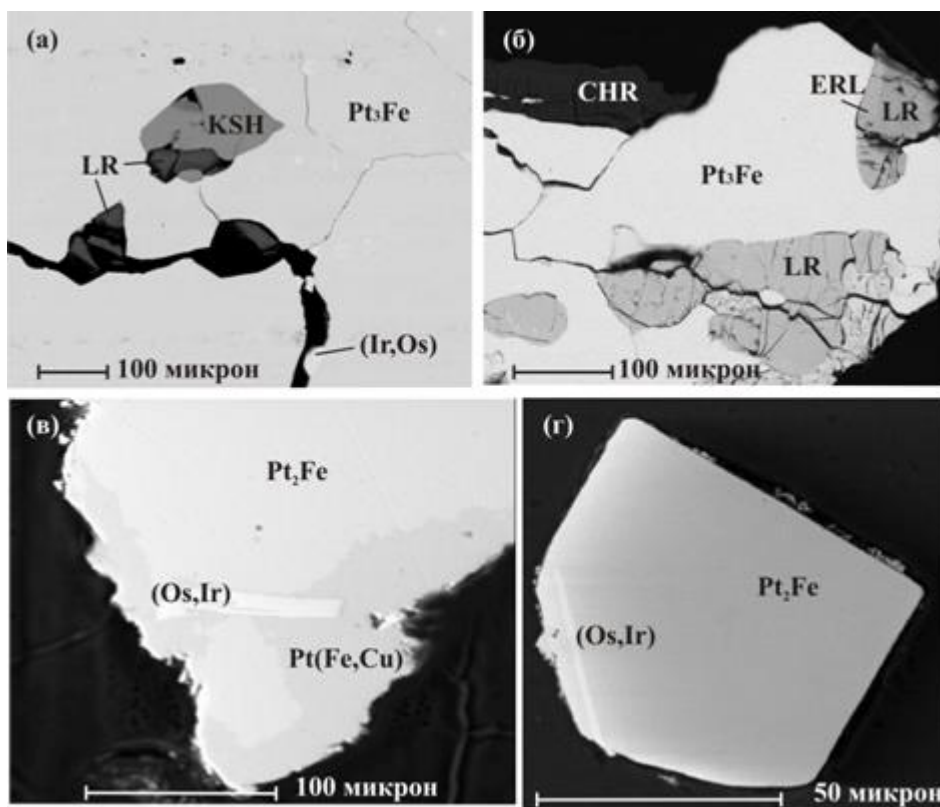
Наличие включений Os-Ir минералов, Ru-Os и Ir-Rh сульфидов в Pt-Fe сплавах Кондёрского, Нижнетагильского и Светлоборского массивов (рисунок 6), а также соотношения фаз равновесия Os-содержащих сплавов, основанные на бинарной системе Os–Ir [30], определяют их как наиболее высокотемпературные образования. Для Pt-Fe сплавов устанавливаются два главных этапа. Первый характеризует образование Pt-Fe сплавов, близких по составу изоферроплатине и железистой платине, в результате совместной кристаллизации с хромшпинелидами. Второй этап связан с замещением первичных Pt-Fe сплавов минералами группы тетраферроплатина-туламинит-никельферроплатина и Pt-Cu сплавами в процессе серпентинизации ультрамафитов.



Условные обозначения рис. 5 (а): 1 – Центрально-Уральское поднятие, 2 – Тагило-Магнитогорская мегазона, 3 – мезозойско-кайнозойские отложения Зауралья, 4 – альпинотипные дунит-гарцбургитовые массивы, 5 – зональные дунит-клинопироксенит-габбровые массивы Платиноносного пояса, 6 – местоположение Светлоборского массива. Условные обозначения рис. 1 (б): врезка со Светлоборским

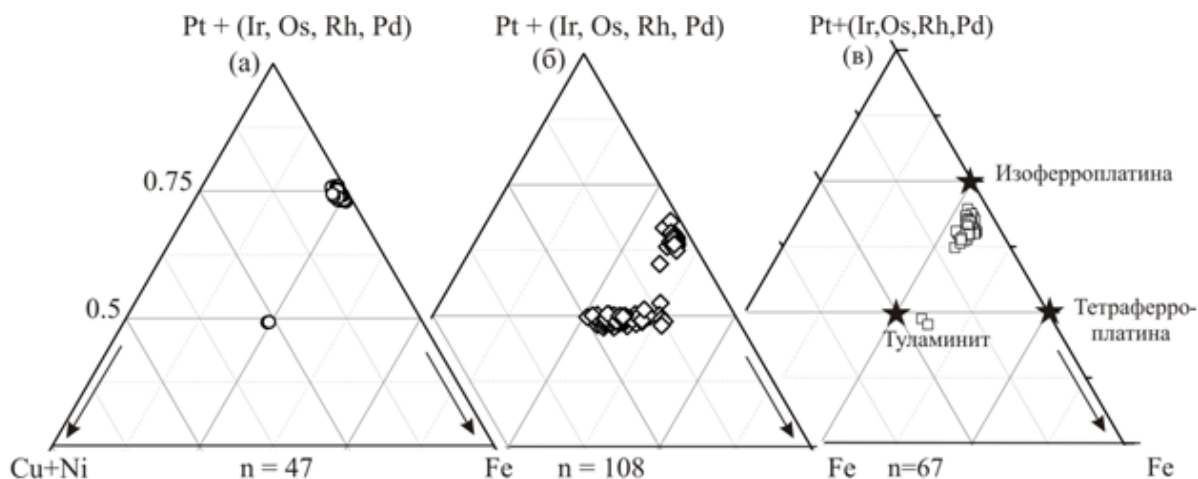
массивом (массив показанверху слева): 1 – базальты и андезитовые базальты и развитые по ним зелёные сланцы, 2 – пироксениты, 3 – габбро, 4 – дуниты ядра; участок Вершинный: 5 – мелкозернистые дуниты, 6 – мелко- и среднезернистые дуниты, 7 – среднезернистые дуниты, 8 – зона прожилково-вкрапленных хромититов, переходящих в массивные, 9 – зона прожилково-вкрапленных хромититов, 10 – магистральные канавы, 11 – точки хромитовых сегрегаций с видимой платиной.

Рисунок 5 - (а) Расположение Светлоборского массива в Платиноносном поясе Урала [5, 6] и (б) схема геологического строения участка Вершинный Светлоборского массива с выделенными хромит-платиновыми зонами



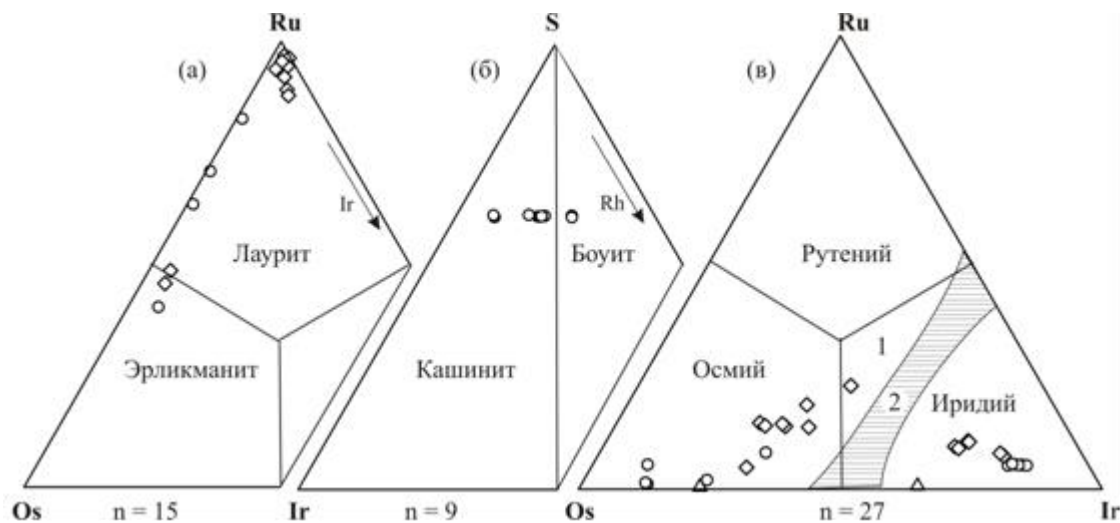
Pt_3Fe – Pt-Fe сплав состава изоферроплатины, Pt_2Fe – железистая платина; LR – лаурит, KSH – кашинит, ERL – эрликманит, (Ir,Os) – Os-содержащий иридий, (Os,Ir) – Ir-содержащий осмий, Pt(Fe,Cu) – твердый раствор ряда тетраферроплатина – туламинит; CHR – хромшпинелид. Изображения в обратно-рассеянных электронах с вещественным контрастом.

Рисунок 6 - Особенности внутреннего строения МПГ хромититов Светлоборского (а, б), Нижнетагильского (в) и Кондёрского (г) массивов



Звездочки – минералы системы Pt-Fe: изоферроплатина, тетраферроплатина и туламинит. В Pt-Fe сплавах Светлоборского, Нижнетагильского и Кондёрского массивов диагностирован широкий набор включений, представленных Ru-Os сульфидами ряда лаурит-эрликманит ($\text{RuS}_2\text{-OsS}_2$) (рисунок 8а), Ir-Rh сульфидами ряда кашинит-боуит ($\text{Ir}_2\text{S}_3\text{-Rh}_2\text{S}_3$) (рисунок 8б), Ir-Rh тиошпинелями ряда купроирридсит (CuIr_2S_4) – купрородсит (CuRh_2S_4) и Os-Ir сплавами (рисунок 8с).

Рисунок 7 - Химические составы Pt-Fe сплавов хромититов Светлоборского (а), Кондёрского (б) и Нижнетагильского (в) массивов в координатах Pt+(Ir,Os,Rh,Pd) – Cu+Ni – Fe, ат. %



На рис. 4в: 1 – рутениридосмин, 2 – область несмесимости по [27].

Рисунок 8 - Химические составы (а) Ru-Os сульфидов в координатах Ru-Os-Ir, ат.%, (б) Ir-Rh сульфидов в координатах S – Ir – Rh, ат.% и (в) Os – Ir – (Ru) сплавов в координатах Ru – Os – Ir, ат.% из хромититов Светлоборского (круги), Кондёрского (треугольники) и Нижнетагильского (ромбы) массивов

Вещественные характеристики платинометаллического оруденения зональных массивов Среднего Урала и Алдана близки особенностям состава Pt-Fe и Os-Ir сплавов платиноносных зональных ультраосновных комплексов Дальнего Востока

(Гальмознанского, Феклистовского и др.), а также Гулинского массива Маймеча-Котуйской провинции [7, 9-11, 13, 16, 19, 24, 28, 29, 32 и др.].

1.2 Проблема источников золота Светлинского месторождения

Отв. исп. А.Ю. Кисин. Исполнители: Огородников В.Н., Притчин М.Е.

1.2.1 Цель исследований

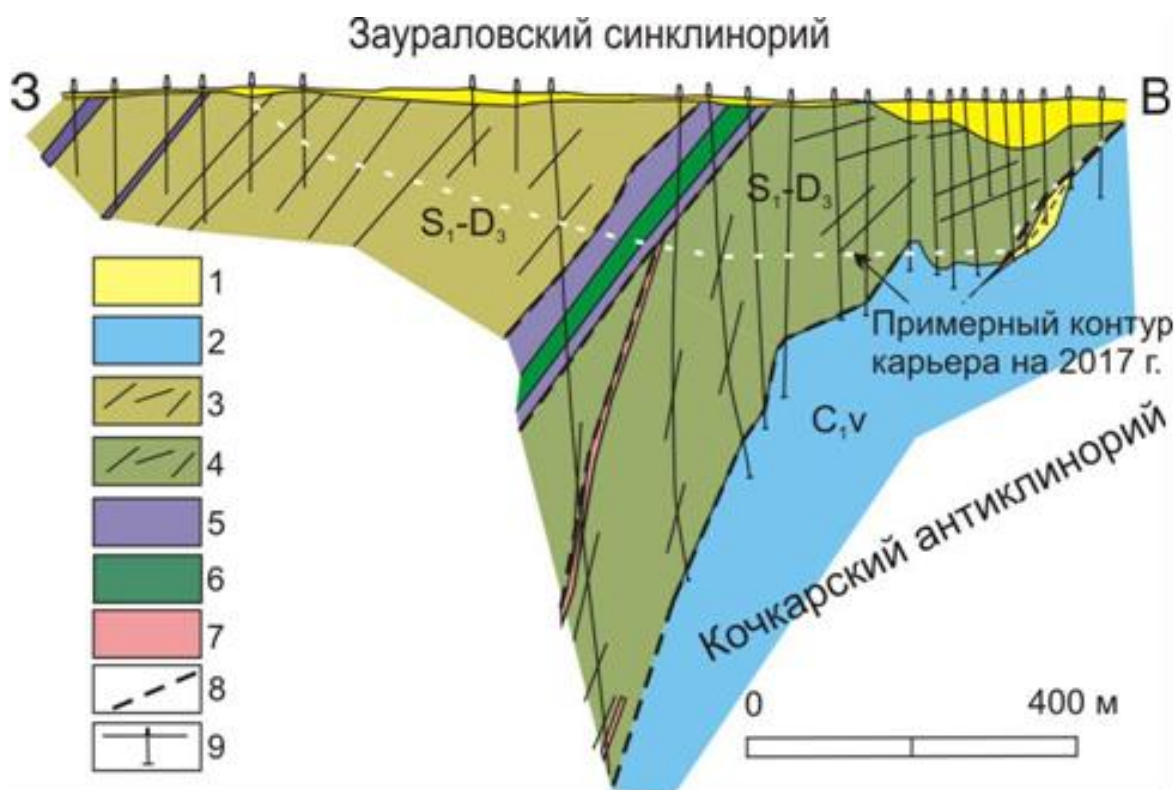
Главная цель исследований – уточнение геологического строения Светлинского месторождения золота, установление его генезиса и источников золота.

1.2.2 Результаты исследований

В настоящее время Светлинское месторождение золота является самым крупным на Южном Урале. В 2016 году на месторождении было добыто 18.5% золота от объема добычи по УрФО. По результатам предыдущих исследований, месторождение считается полигенным и полихромным, генетически связанным с глубинным субмеридиональным надвигом [39] или с пересечением субмеридиональной шовной зоны крупным разломом СЗ простирания [42]. Наши исследования в Светлинском карьере показали, что месторождение контролируется тектоническими срывами в обрамлении Светлинской купольной структурой [39]. В таком случае, золото могло отгоняться в породы обрамления купола при гранитизации, а затем перераспределяться в его долгоживущем термоградиентном поле [43]. Тогда месторождение действительно будет полигенным и полихромным, но генетически связанным с куполом гранитогнейсов. Это позволит создать совершенно другой прогнозно-поисковый комплекс.

Светлинский золоторудный карьер расположен в 100 км к югу от г. Челябинск и 25 км к ЮЗ от г. Пласт. Месторождение золота приурочено непосредственно к тектонической границе Заураловского синклинория (на западе) и Кочкарского антиклинория (на востоке). Восточное крыло синклинория имеет ширину 10-22 км, с падением на запад под углами 15-60° [34]. Кочкарский антиклинорий имеет протяженность до 140 км, при ширине до 27 км. По результатам структурных исследований, проведенных сотрудниками Свердловского горного института в 70-х годах прошлого столетия, граница между этими двумя структурами представлена надвигом западного падения, заложенным в позднем девоне [35]. Согласно геологическим картам второй половины прошлого века, вулканогенно-осадочные толщи девон-силурийского возраста (синклинорий) надвинуты на фаунистически охарактеризованные раннекаменноугольные терригенно-карбонатные породы (антиклинорий). Здесь имеется некоторое противоречие: надвиг заложен в позднем девоне, а в его лежащем боку находятся породы раннекаменноугольного возраста. Есть и другая точка зрения на

возможный возраст пород на месторождении: для висячего бока - R₃ (?), а для лежачего бока - R₂ (?) [41]. Рифейский возраст пород недостаточно обоснован и здесь не обсуждается, но в висячем боку надвига породы оказались моложе, чем в его лежащем боку. В.Н Сазонов и др. [40] также признают существование надвига и связали с ним образование Светлинского месторождения золота (рисунок 9). До настоящего времени представления о характере сочленения Кочкарского антиклинория и Заураловского синклинория базировались на результатах геолого-структурных и геофизических исследований, колонковом бурении и авторских представлениях. Теперь изучение геологии зоны сочленения данных структур и генезиса месторождения золота возможны непосредственно в бортах Светлинского карьера. Авторами данный карьер посещается ежегодно на протяжении почти всего времени его эксплуатации. В июле 2017 года, время последнего посещения, глубина карьера составляла 190-200 м. Зона контакта хорошо видна в его бортах (рисунок 10) и характеризуется следующими особенностями геологического строения.



Условные обозначения: 1 – делювиально-аллювиальные и карстовые отложения; 2 – преимущественно мраморы средне- крупнозернистые; 3-4 – вулканогенно-осадочная толща (S₁-D₃): 3 – амфиболиты аповулканитовые, туфа основного состава, кварц-углистые сланцы; 4 – метасоматиты переменного состава (кварц-альбит-биотит-серицитовые), линии показывают преобладающую полосчатость пород; 5 – талькиты, тальк-карбонатные породы, серпентиниты; 6 – габбро метаморфизованное (с наложенной амфиболитизацией, эпидотизацией и хлоритизацией); 7 – вторичные кварциты (кварц метасоматический); 8 – основные тектонические нарушения; 9 – скважины колонкового бурения.

Рисунок 9 - Схематический геологический разрез через зону сочленения Заураловского синклинория и Кочкарского антиклинория (по [40], адаптировано)



Рисунок 10 - Светлинский карьер в июле 2018 года (вид на юг)

1) Терригенно-карбонатная толща (лежащий бок надвига) представлена мраморами (в других местах антиклинория – мраморизованными известняками) раннекаменноугольного возраста, что подтверждается фаунистическими остатками, обнаруженными в мраморизованных известняках на многих пограничных участках Кочкарского антиклинория. Фаунистические остатки в изобилии наблюдаются также в мраморизованных известняках в Джабык-Карагайском и Суундукском антиклинориях, расположенных южнее и находящихся в аналогичной структурной позиции. На площади Заураловского синклинория каменноугольные известняки отсутствуют.

2) Терригенно-карбонатная толща формировалась в условиях мелководья, с быстро меняющимся уклоном дна. Об этом свидетельствуют оползневые структуры, иногда наблюдаемые в мраморах. Обычно они представлены фрагментами слоев кварцито-песчаников в средне- крупнозернистых светлых мраморах (рисунок 11). Слои будинированы и смяты в мелкие замысловато-скрученные складки, характерные для оползней. В целом они имеют крутое (60-70°) падение в западном направлении. Иногда в

мраморах наблюдаются фрагменты параллельной полосчатости, секущей оползневые структуры. Происхождение данной полосчатости нами объясняется гравитационным уплотнением сползших вниз осадков. Примечательно, что эта полосчатость (псевдослоистость) также падает на запад под углом 10-30°. Это может означать, что наклон дна снова менялся, а характер тектонических движений сохранился. В других случаях оползневые структуры наблюдаются непосредственно в тонкослоистых мраморизованных известняках: метаморфизованные известковистые илы, с характерными оползневыми деформациями, включая брекчирование и опрокинутые мелкие складки. Добавим, что восточный контакт мраморов также тектонический и падает на запад под углом около 40°.



Субгоризонтальная полосчатость (2) – уплотнение карбонатных илов на стадии диагенеза. Вид на север.

Рисунок 11 - Фрагменты S-образных слоев песчаников (1) в мраморе в С.-В. борту Светлинского карьера

3. В мраморах местами проявлен кливаж течения (азимут падения 240-250 °ЗЮЗ, угол падения 40-60°), контролирующей кристаллизационную полосчатость. Элементы залегания кливажа соответствуют предполагаемому надвигу. Мраморы крупнозернистые, кальцитовые и Mg-кальцитовые, с реликтами светлых мелкозернистых доломитов. Доломиты испытали растяжение по восстанию, в результате чего в них возникли субгоризонтальные трещины растяжения, часть из которых зияющие и инкрустированы

кристаллами кальцита, доломита и флюорита. Образование трещин растяжения в доломите обусловлено пластичным течением кальцитовых мраморов. Метаморфизм мраморов нарастает с запада на восток (появление рубиновой минерализации в мраморах восточной части толщи).

4. В шламе скважин по мраморам Светлинского карьера установлено кристаллическое золото, сульфиды железа, меди и цинка, кварц, флюорит, розовые топазы, мусковит [38], появление которых можно связать с гранитизацией пород в Кочкарском антиклинории.

5. Вулканогенно-осадочная толща, относимая к Заураловскому синклинию, представлена грубослоистыми породами буроватого цвета, падающими в западном направлении под углами 30-60° (см. рисунок 8). Петрографическое описание пород дано в [40]. Среди них в карьере часто попадаются зоны милонитов, мощностью до 3 м. Иногда с милонитами ассоциируют согласные, маломощные (до 1 м) тела тальцитов. Кинематический анализ милонитов указывает на взбросо-надвиговый характер движений.

6. Вулканогенно-осадочная толща иногда рассекается небольшими (до 20-30 м мощностью) телами серпентинитов, тальцитов и тальк-карбонатных пород (см. рисунок 9). Падение контактов более крутое, чем падение слоистости и милонитов (разница 20-30°), но то же на запад (230-270°). Их появление хорошо объясняется формированием надвига и выжиманием более пластичных пород по тектоническим нарушениям вверх (протрузии).

7. Непосредственный контакт мраморов с вулканогенно-осадочной толщей очень неровный, близкий к вертикальному (рисунок 12). Мраморы в контакте сильно тектонизированы и перекристаллизованы, представлены массивными породами с залеченными минерализованными трещинами кливажа. Борозды и зеркала скольжения на поверхности мраморов указывают на вертикальные движения различных знаков. Однако здесь часто наблюдаются скопления новообразованного аподоломитового талька, расположенные обычно под выступающими на запад участками поверхности. Это можно объяснить как вздыманием мраморов, так и просадкой контактирующих пород, испытавших химическую дезинтеграцию. Нахождение здесь кристаллов кварца, с включениями амфиболов, хлорита, рутила и фуксита, больше отвечает вертикальным перемещениям мраморов на краю растущей купольной структуры.

Исходя из этих и некоторых других фактов, зона контакта Заураловского синклиния и Кочкарского антиклинория представляется в следующем виде. Структуры (синклиний и антиклинорий) сформировались в позднем палеозое, на коллизионном этапе развития Урала. В условиях ориентированного горизонтального сжатия в позднем девоне возник надвиг западного падения (рисунок 13а), с парой противоположно

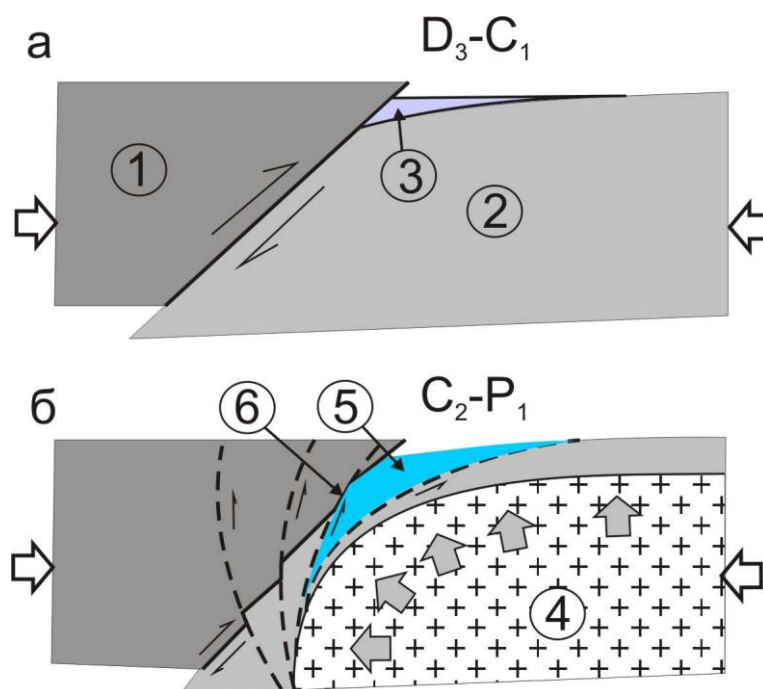
ориентированных изгибающих моментов, вызвавших деформации коры по модели блоковой складчатости [36, 37]. Опускание лежачего крыла надвига под весом нагрузки привело к накоплению



Рисунок 12 - Контакт мраморов (Ca) с вулканогенно-осадочной толщей в Светлинском карьере на глубине 190 м

мелководных морских терригенно-карбонатных отложений. Источниками сноса могли быть участки суши его приподнятого висячего бока. Прогрессирующее опускание лежачего бока надвига меняло наклон дна бассейна, что сопровождалось возникновением оползневых структур в неконсолидированных осадках. Развитие положительного изгиба к востоку от надвига вызвало общий подъем блока и закрытие морского бассейна в поствизейское-посттурнейское время. Положительный изгиб создал условия горизонтального сжатия, нарастающие с глубиной, разогрев пород нижней части коры, пластические и квазипластические потоки, переносящие тепловую и химическую энергию на верхние горизонты коры, формирование купольных структур, ставших центрами зонального высокоградного метаморфизма. Нижнекаменноугольные терригенно-

карбонатные отложения также подверглись динамотермальному метаморфизму, пластическим и квазипластическим деформациям, кливажированию и выжиманию вверх. Зоны тектонических срывов, обусловленные куполообразованием, осложнили зону надвига (рис. 13б). Поэтому на ранних этапах становления указанных структур их границей служил надвиг, а на поздних этапах – тектонические срывы, наложенные на зону надвига. Представляется, что зоны тектонических срывов несут основную ответственность за формирование месторождения золота [Кисин, Притчин, 2015].



Цифры в кружках: 1 – край Заураловского синклиория, 2 – край Кочкарского антиклиория, 3 – синтетектонические терригенно-карбонатные осадки; 4 - растущая купольная структура; 5 – мрамор с прослоями кварцитов; 6 – локализация Светлинского месторождения золота

Рисунок 13 - Схема формирования зоны сочленения Заураловского синклиория и Кочкарского антиклиория: а – начало коллизионного этапа (D₃-C₁), б – завершение коллизионного этапа (C₂-P₁)

В связи с обнаружением самородного золота в мраморе Светлинского месторождения были исследованы газово-жидкие включения (ГЖВ) в кристалле кварца из каверны в мраморе. Исследования проводились на термокриостатике ТНМСС-600 фирмы «Linkam» (Англия) с длиннофокусным объективом 100, установленном на микроскопе «Amplival» (аналитик Гараева А.А.). Для уточнения состава газовой составляющей флюида выборочно проведена рамановская спектроскопия на спектрометре LabRam HR 800 Evolution с длиной волны возбуждения 514 нм (аналитик Панкрушина Е., ЦКП

«Геоаналитик»). Изучены первичные и первично-вторичные ГЖВ в кристалле кварца. Установлены, что кварц формировался при температуре 400-137 °С давлении 3-0,4 кбар и высокой солености флюида (свыше 30% экв. NaCl и плотности флюида 1,15-1,33 г/см³). В составе некоторых включений установлено присутствие KCl, FeCl₂, CaCl₂, а также жидкая фаза углеводородов. По результатам рамановской спектроскопии монофазных газовых включений газовая фаза представляет собой смесь CO₂ (главный компонент), N₂, H₂S, H₂, с признаками CH₄. Результаты исследований ГЖВ в кварце из мраморов Светлинского месторождения свидетельствует о сложной эволюции в системе H₂O-CO₂-NaCl-KCl-CaCl₂-FeCl₂-N₂-CH₄-H₂S-H₂ при гидротермальном процессе.

1.3 Изучение дайкового комплекса Воронцовского месторождения и его соотношения с золотым оруденением

Рассмотрены породы дайкового комплекса Воронцовского золоторудного месторождения – одного из крупнейших золоторудных объектов Урала, с целью уточнения их вещественного состава, формационной принадлежности и роли их в рудообразовании. В работе задействованы данные, полученные как по результатам предыдущих исследований, проведенных (в т.ч. авторами) на месторождении, так и по результатам изучения современными методами каменного материала, отобранного из бортов действующего карьера и из керна разведочных скважин в 2017-2018гг.

Основные результаты исследований

1) Пространственное положение даек уточнено замерами элементов залегания пород даек, по результатам которых построена диаграмма (рисунок 14), отображающая дискретно-системное распределение полюсов. Выделяются системы преимущественно субвертикальных даек северо-северо-восточного (340°-62°), юго-юго-восточного (90°-190°) и западного (235°-292°) падения. Явных закономерностей в распределении даек, относящихся к разным группам по химическому составу, на текущий момент не установлено

2) Детальные петрографические исследования показали, что все дайки в той или иной степени изменены наложенными метаморфическими и метасоматическими процессами.

На основании детальных петрографических, петрохимических и микронзондовых исследований установлено:

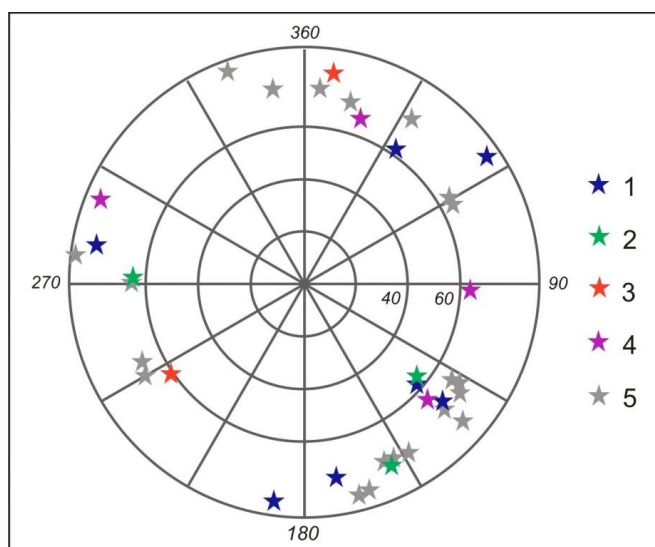
- преобладание даек основного состава при отсутствии более кислых разновидностей (диоритов - кварцевых диоритов), характерных для рудного поля в целом;

- по петрографическим характеристикам (рисунок 15) выделено несколько типов даек: 1) порфировые пироксен-плагиоклазовые дайки базальтового, реже андезибазальтового состава, 2) долериты, в т.ч. порфировые, 3) порфировые амфибол-плагиоклазовые дайки преимущественно андезитового состава, 4) габбро, габбро-долериты, в т.ч. подщелоченные, 5) габбродиорит-диориты и 6) лампрофиры типа спессартита и керсантита;

- построение TAS-диаграммы (рисунок 2) позволило выявить наличие двух трендов – нормальной и повышенной щелочности, причем в последнем отмечены дайки соответствующие по составам ультраосновным образованиям – пикробазальтам;

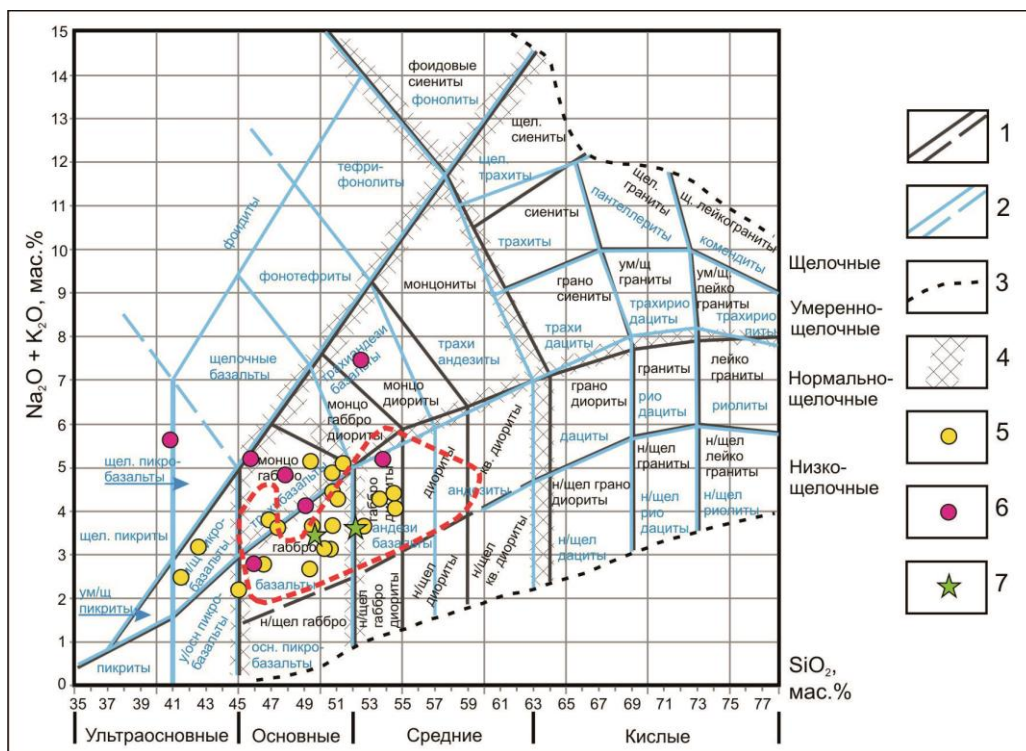
- в дайках нормального ряда зафиксированы проявления калишпатового (кварц-калишпатового) метасоматоза с минеральной ассоциацией хлорит-кварц-КПШ-пирит (\pm галенит, детальное изучение которого позволяет предположить генетическую его связь с дайками повышенной щелочности, принадлежащими, вероятно, к 2-й и 3-й фазам ауэрбаховского комплекса субщелочной и высококалиевой специализации).

В результате выполненных работ уточнен вещественный состав и пространственное положение пород дайкового комплекса в пределах месторождения, выделены петрографические разности пород даек, отмечены специфические метасоматические процессы, связанные, предположительно, с поздними фазами ауэрбаховского комплекса



1 – дайки основного состава (нормальной щелочности); 2 – дайки среднего состава (нормальной щелочности); 3 – дайки повышенной щелочности; 4 – дайки «пограничного состава» (умеренно-щелочные/нормальные); 5 – нет данных

Рисунок 14 - Диаграмма распределения элементов залегания даек Воронцовского месторождения на азимутальной сетке



1 – интрузивные породы; 2 – вулканогенные породы; 3 – границы распространения магматических пород; 4 – зоны неопределенности; 5 – пробы авторов 2017/18гг.; 6 – по [44]; 7 – по [45]

Рисунок 15 - Положение даек Воронцовского месторождения на TAS-диаграмме

1.4 Взаимосвязь хрусталеобразующих и золоторудных процессов

В 2018 году на территории УрФО планируется начало ГРП на двух объектах – на рудное золото и кварцевое сырье, что определяет актуальность и цели настоящих исследований. Применение факторного анализа в значительной мере повышает качество геохимических исследований и показывает связь оруденения (хрусталеобразования) с различными стадиями метасоматических преобразований пород, объясняет наличие нескольких генераций рудоотложения и распределение элементов-примесей в пространстве. Факторный анализ внедрен нами на хрусталеносных месторождениях Южного Урала. Детальные минералого-петрографические исследования метасоматических процессов, опробование метасоматитов на золото и серебро (пробирный и нейтронно-активационный анализы), спектральный анализ метасоматитов на 40 элементов и последующая обработка этих данных с использованием компьютерных технологий позволили установить взаимосвязь хрусталеобразующих и золоторудных процессов.

Установлено, что золото имеет устойчивые положительные связи с медью, свинцом, серебром, мышьяком, вольфрамом, барием, бериллием, сурьмой и висмутом.

Аналогичные связи устанавливаются на золоторудных месторождениях Урала и других регионов. Расчет величин факторов осуществляется по программе FACANS (метод главных компонент). Величина фактора пропорциональна его вкладу (в процентах) в изучаемую общую совокупность. В формулах в числителе сгруппированы привносимые, а в знаменателе выносимые элементы, при элементах указан их относительный вклад в систему.

Первый фактор обусловлен различиями вмещающих пород, по отношению к золоту он нейтрален, поэтому здесь не приводится. Мобилизация золота в раствор, в том числе и халькофильных элементов, наблюдается на ранних стадиях метасоматического процесса при плагиофельдшпатизации метавулканитов и описываются вторым фактором:

$$F_2 = \text{Ti}_{0,51}\text{Ga}_{0,55}\text{Zr}_{0,46}\text{V}_{0,32}\text{Ba}_{0,30} / \text{Au}_{0,53}\text{Sb}_{0,60}\text{Bi}_{0,66}\text{Sn}_{0,46}\text{Cu}_{0,45}\text{Pb}_{0,38}\text{As}_{0,36}\text{Ag}_{0,33};$$

Дальнейшее метасоматическое преобразование пород проявляется в их биотитизации и хлоритизации, сопровождающихся осаждением (привносом) самородного тонкодисперсного золота и сульфосолей, что отчетливо отражается и фиксируется третьим фактором, а также сульфидов (пирита, халькопирита), что фиксируется пятым фактором:

$$F_3 = \text{Au}_{0,41}\text{Ag}_{0,44}\text{Sb}_{0,47}\text{Bi}_{0,31}\text{Sr}_{0,50}\text{Zr}_{0,63}\text{Pb}_{0,31} / \text{Cr}_{0,39}\text{Ni}_{0,37}\text{Be}_{0,41}\text{Co}_{0,31};$$

$$F_5 = \text{Cu}_{0,45}\text{Pb}_{0,46}\text{Au}_{0,20}\text{Be}_{0,35} / \text{As}_{0,60}\text{Sn}_{0,39}\text{Mn}_{0,29}$$

Из выражения факторов 3 и 5 видно, что золотосодержание указанных образований в большей мере определяется сульфосолями и самородным золотом, чем золотосодержащими сульфидами. Образование кварцевых жил, последующие процессы аргиллизации и хрусталеобразования сопровождаются вновь мобилизацией золота в раствор, что нашло отражение соответственно в факторах 4 и 6:

$$F_4 = 6,66 (\text{Y}_{0,62}\text{Sr}_{0,48}\text{Mn}_{0,40}\text{Ba}_{0,29}) / \text{Ag}_{0,28}\text{Au}_{0,07}\text{Cr}_{0,29}\text{V}_{0,38}\text{Ti}_{0,24}\text{Sb}_{0,24}\text{Bi}_{0,18};$$

$$F_6 = 5,73 (\text{Y}_{0,38}\text{Zr}_{0,26}\text{Sn}_{0,30}) / (\text{P}_{0,55}\text{Au}_{0,22}\text{Zn}_{0,44}\text{Ag}_{0,36}\text{Mo}_{0,35}\text{Mn}_{0,26}).$$

Отложение этого вынесенного золота происходит на геохимическом барьере в обрамлении хрусталеносных зон, в кварц-альбит-доломитовых метасоматитах (эйситах), сопровождающихся сульфидной минерализацией. Это описывается седьмым фактором:

$$F_7 = 4,79 (\text{Au}_{0,28}\text{Zn}_{0,27}\text{Mo}_{0,47}\text{Co}_{0,39}\text{Ba}_{0,30}\text{Bi}_{0,31}\text{Ag}_{0,21}\text{As}_{0,19}) / ($$

Из сопоставления факторов, характеризующих метасоматические процессы на хрусталеносных и золоторудных месторождениях Южного Урала видно, что на этих месторождениях осуществляются однотипные преобразования с формированием как хрусталеносной, так и золоторудной минерализации. Это еще раз подтверждает сопряженность их образования.

2 Цветные металлы

В действующем карьере Сафьяновского медноколчеданного месторождения в 2018 г. дорабатывалось тело пирит-халькопиритовых руд на горизонтах -5-(-15) м. Глубина карьера составила 220 м. Вмещающими породами являются кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты по риодацитам. Минеральный состав вмещающих пород: кварц, слюда, хлорит, каолинит, пирит. Акцессорные минералы: апатит, барит, гипс, гранат, циркон. В продолжение ранее начатых исследований была изучена U-Pb SHRIMP-II изотопная систематика циркона, выделенного из риолита, обнаженного в восточном борту карьера, гор. 100 м. В результате чего, по 17 кристаллам, были получены U-Pb данные, определившие на графике с конкордией возраст 424.9 ± 2.0 (интервал 420.5-429.3) млн лет, практически совпадающий, в пределах указанных погрешностей, с ранее полученным значением для циркона из андезита западного борта, гор. 100 м [46]. В околорудных метасоматитах изученных горизонтов развиты карбонатные и карбонат-кварцевые жилы. Карбонаты представлены кальцитом, доломитом, сидеритом.

В рудовмещающую толщу месторождения входят вулканогенно-осадочные углеродисто-кремнистые образования, которые так же, как и известняки западного фланга рудного поля, относятся девонским морским фациям [47]. Исследования показали, что собственно углеродисто-кремнистые образования принадлежат к мелководным прибрежно-морским фациям [48].

3 Редкие металлы

3.1 Рудный потенциал карбонатитовых комплексов внутриплитных мобильных поясов (на примере Урала): Nb, Zr, TR

Цель: Сравнительная характеристика рудной редкометалльной минерализации и оценка рудного потенциала карбонатитовых комплексов внутриплитных мобильных поясов (на примере Урала). Объекты исследования: рудные редкометалльные минералы и рудовмещающие породы основных типов месторождений карбонатитовых комплексов Уральского мобильного пояса (Вишневогорское, Потанинское, Булдымское месторождения). Задачи 2018: 1) Исследование состава и геохимической эволюции рудных минералов ниобия, циркония и редких земель; 2) сопоставление процессов рудообразования в карбонатитовых комплексах различных геодинамических режимов (мобильных поясов и щитов).

3.2 Основные результаты

Изучены особенности морфологии, состава и геохимической эволюции рудных ниобиевых минералов (группы пирохлора) из основных типов пород редкометалльных

месторождений, связанных со щелочно-карбонатитовыми комплексами Урала. Исследованы рудные минералы Вишневогорского Zr-Nb месторождения и Потанинского Nb месторождения (Ильмено-Вишневогорский миаскит-карбонатитовый комплекс), а также Булдымского REE-Nb месторождения (Булдымский ультрабазит-карбонатитовый комплекс), Южный Урал.

Пироксиды. Исследованы 20 образцов рудных ниобиевых минералов группы пироксидов и эцинита из основных типов пород, включая миаскиты (пегматоидные разновидности и полевошпатные прожилки в миаскитах), миаскит-пегматиты, разновозрастные и разнофациальные карбонатиты (севиты I, севиты II, севиты III, бифорситы IV), полевошпат-пироксеновые (Fsp-Py) жилы фенитов из месторождений ильмено-вишневогорского и булдымского комплексов (Вишневогорского, Потанинского и Булдымского месторождений).

Изменчивость в химическом составе исследованных пироксидов значительна (в мас.%): Nb₂O₅ – 38,99-69,6; Ta₂O₅ – 0-13,8; ZrO₂ – 0-0,15; TiO₂ – 2,81-12,2; CaO – 2.59-17,22; Na₂O – 0-7,99; ThO₂ – 0-5.9; UO₂ – 0-23,78; LREE₂O₃ – 0,06-7,34; Fe₂O₃ – 0-1,8; MnO – 0-0,68; BaO – 0-2.28; SrO – 0,12-5.49; PbO – 0-0,95; F – 0,04-5,7, что характерно для пироксидов из карбонатитовых массивов мира [48, 49, 51, 54, 55, 57].

Среди изученных минералов группы пироксидов устанавливаются два основных минеральных вида – уранпироксид и пироксид, встречаются также стронциопироксид [59]. Согласно последней номенклатуре группы пироксидов [56] исследованные пироксиды могут быть классифицированы как U-(Ta)-содержащие оксикальциопироксиды (уранпироксиды, по классификации [59]) и фторкальциопироксиды (в том числе Ta-, REESe- и Sr-содержащие разновидности). Встречаются также кенопироксиды (с вакансией в позиции А более 50% по отношению к катионам этой позиции) и гидроксиды, образующиеся при вторичных изменениях ранних всех вышеописанных разновидностей пироксидов.

Составы пироксидов из различных типов пород ИВК и булдымского комплекса приведены на бинарной диаграмме Nb-F, иллюстрирующей последовательность формирования рудных минералов и закономерности их геохимической эволюции (рисунок 14).

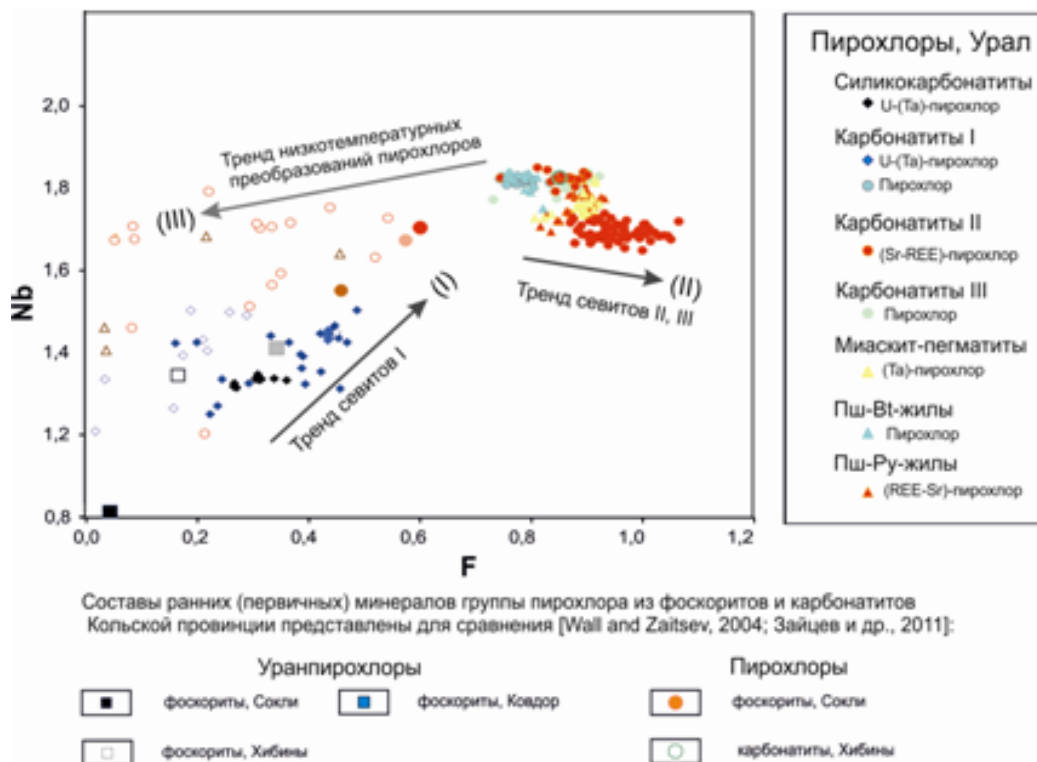


Рисунок 14 - Бинарная диаграмма состава Nb-F (форм. ед.) минералов группы пирохлора из пород ильмено-вишневогорского и булдымского карбонатитовых комплексов, Ю. Урал

Стрелки показывают направление эволюции состава пирохлоров: I – раннекарбонатитовый тренд, II – позднекарбонатитовый тренд, III – тренд низкотемпературных изменений (гидратации) с образованием составов кено- и гидропирохлоров. Не залитые условные знаки – измененный (гидратированный) пирохлор.

Тренд I соответствуют кристаллизации уранпирохлоров (Потанинское и Булдымское месторождение). Тренд II – кристаллизация фторкальциопирохлоров (Вишневогорское, Булдымское, Потанинское месторождения). Для сравнения также показаны точки состава пирохлоров из пород платформенных ультраосновных щелочных карбонатитовых комплексов (УЩК) Карело-Кольской провинции [48. 62].

Тренд ранних карбонатитов (севитов I) иллюстрирует последовательное изменение составов уранпирохлора (или U-(Ta)-оксикальциопирохлора по [56]) с увеличением F и Nb, после чего происходит резкая смена составов кристаллизующихся рудных минералов, и начинают кристаллизоваться фторкальциопирохлоры, формирующие тренд поздних карбонатитов (севитов II), который фиксирует резкую смену условий и химизма среды минералообразования. Тренд III отражает процессы вторичных низкотемпературных изменений пирохлоров, связанных с воздействием водного флюида, в результате которых

происходит вынос Na, Ca и F из структуры пироксидов, появление вакансий в А-позиции, которая частично заполняется Si, Fe, Ta, Ti, Th, REE и Sr с формированием составов кено- и гидроксидов пироксидов.

Необходимо отметить, что химические составы изученных нами уранпироксидов из ранних карбонатитов (силикокарбонатитов и севитов I) ИВК и булдымского комплекса типичны для самых ранних генераций уранпироксидов, которые описаны в карбонатитовых комплексах Карело-Кольской провинции [48, 57] и образуются на фоскоритовой (позднемагматической) стадии эволюции комплексов УЩК (см. рисунок 13). Эти данные, в совокупности с геологическими и петрографическими наблюдениями, подтверждают, что уранпироксиды уральских карбонатитовых комплексов образовались на позднемагматической стадии кристаллизации щелочно-карбонатитовых расплавов.

Пироксиды поздних карбонатитов (севитов II и севитов III), а также миаскит-пегматитов и Fsp-Py жил ИВК и булдымского комплекса показывают широкие вариации составов (от стехиометричных пироксидов с низкими содержаниями микропримесей до Ta-, REE- и Sr-содержащих разностей пироксидов) и формируют единый линейный тренд с увеличением F при менее значительных изменениях содержания Nb (см. рисунок 13). Необходимо отметить, что составы изученных пироксидов отличны от ранних (первичных) пироксидов фоскоритов и карбонатитов Карело-Кольской провинции, что, может быть связано с несколько иными условиями их формирования.

Исследования Sm-Nd- и Rb-Sr изотопных составов рудных ниобиевых минералов группы пироксидов и пород ИВК свидетельствуют о едином источнике вещества для пород миаскит-карбонатитового комплекса и ниобиевой минерализации ранней карбонатитовой стадии ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{425} = 0.70343$, $\epsilon\text{Nd}_{425} = 3.63-4.49$, U-(Ta)-оксикальциопироксид, Потанинское месторождение). При этом источник вещества по составу соответствует умеренно деплетированному мантийному источнику. Эти данные в совокупности с результатами датирования [50, 52, 53, 60] подтверждают, что процессы карбонатитообразования и редкометалльного рудообразования происходили на раннем этапе становления ИВК и связаны с функционированием щелочно-карбонатитовой магматической системы.

Пироксиды ИВК поздней карбонатитовой стадии (Sr-REE-фторкальциопироксиды) показывают более широкие вариации начальных изотопных составов Nd и Sr ($\epsilon\text{Nd}_{425} = 3.73-4.60$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{425} = 0.70340$, обр. 331, севит II), которые также соответствуют диапазону изотопных составов пород миаскит-карбонатитового комплекса [52, 53]. Вариации изотопных составов Sr и Nd этих пироксидов могут быть связаны с многостадийностью процессов рудообразования и поступлением новых порций

расплавов-флюидов и рудообразующего вещества на заключительных этапах формирования ниобиевых месторождений, а также с процессами перекристаллизации рудных минералов и пород на коллизионном этапе становления ИВК.

Для Булдымского комплекса установлено, что рудная REE-Nb минерализация имеет умеренно обогащенные изотопные составы и значительные вариации начальных изотопных отношений Sr и Nd $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{268} = 0.70428-0.70785$; $\epsilon\text{Nd}_{268} = -2.65\dots-6.61$). На диаграмме $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(T) - \epsilon\text{Nd}$ изотопный состав REE-минералов Булдымского комплекса находится за пределами мантийной области [58] и полей изотопных составов ультрабазитов и карбонатитов Булдымского массива, а также значительно отличается от состава руд и пород миаскит-карбонатитового комплекса. Значительные вариации изотопных отношений рудных REE-Nb минералов могут быть связаны с участием коровых флюидов в процессах щелочного метасоматоза и рудообразования в Булдымском комплексе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленные на 2018 г. задачи выполнены полностью. Часть полученных результатов являются новыми для Урала, другая часть результатов подтверждает ранее выполненные исследования.

Проведены исследования особенностей состава и эволюции рудных минералов (циркона и пироклора) для основных типов ниобиевых месторождений (Вишневогорского, Булдымского и Потанинского), связанных с линейными карбонатитовыми комплексами Уральской складчатой области. На основе исследования изотопных систем (Rb-Sr, Sm-Nd) рудных минералов и вмещающих их пород проведена оценка источников их вещества.

Проведены минералого-геохимические исследования и охарактеризованы объекты платиноидного оруденения хромититов Светлоборского, Нижнетагильского, Верх-Нейвинского и Алапаевского ультрамафитовых массивов (Ср. Урал). Геолого-структурные и минералого-геохимические исследования Светлинского месторождения золота (Ю. Урал), позволяют считать источником золота породы Кочкарского антиклинория, подвергшиеся гранитизации. Дана сравнительная характеристика рудной редкометалльной минерализации и оценен рудный потенциал карбонатитовых комплексов Урала (Вишневогорское, Потанинское, Булдымское месторождения). Изотопные составы Sr и Nd пироклоров объясняются многостадийностью процессов рудообразования и поступлением новых порций рудообразующего вещества на заключительных этапах процесса, а также с процессами перекристаллизации на коллизионном этапе. Вариации изотопных отношений рудных REE-Nb минералов в Булдымском комплексе связываются с коровыми флюидами на стадии щелочного метасоматоза и рудообразования. Проведенные исследования минералов (группы пироклора) редкометалльных карбонатитовых месторождений Урала свидетельствуют об их двухстадийном образования: 1) кристаллизация уранпироклора в силикокарбонатитах и ранних карбонатитах на конечных стадиях эволюции щелочно-карбонатитовой магматической системы; 2) растворение и перекристаллизация рудных минералов, кристаллизацией нового генераций минералов группы пироклора. Факторный анализ метасоматических процессов на хрусталеносных и золоторудных месторождениях Ю. Урала показал их однотипность. На Сафьяновском месторождении изучены цирконы из риолитов (U-Pb SHRIMP-II). Получена возраст (с конкордией) 424.9 ± 2.0 млн лет. В Воронцовском карьере изучен дайковый комплекс. Установлено: 1) преобладание даек основного состава, при отсутствии даек среднего состава; 2) наличие двух трендов – нормальной и повышенной щелочности (на TAS-диаграмме); 3) в дайках нормального ряда зафиксированы

проявления калишпатового (кварц-калишпатового) метасоматоза с минеральной ассоциацией хлорит-кварц-КПШ-пирит (\pm галенит). Результаты свидетельствуют в пользу образования золотого оруденения в верхних эпитермальных частях крупной порфировой системы.

Полученные результаты могут быть использованы при производстве прогнозно-поисковых работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Баданина И.Ю., Жаркова Е.В., Кадик А.А., Малич К.Н., Мурзин В.В. Результаты экспериментального определения собственной летучести кислорода Ru-Os-Ir сплавов Верх-Нейвинского дунит-гарцбургитового массива, Средний Урал (Россия) // Геохимия. - 2015. - Vol 53. - N 7. - С. 661-666.
- 2 Баданина И.Ю., Малич К.Н., Мурзин В.В., Хиллер В.В., Главатских С.П. Минералого-геохимические особенности платиноидной минерализации Верх-Нейвинского дунит-гарцбургитового массива (Средний Урал, Россия) // Труды Института геологии и геохимии акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН. - 2013. - Вып. 160. - Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. - С. 188-192.
- 3 Баранников А.Г., Волченко Ю.А. Золото-платиновые россыпи Среднего Урала / Путеводитель экскурсии А. Материалы XI Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. - Москва – Дубна: ИГЕМ РАН, 1997. 14 с.
- 4 Высоцкий Н.К. Месторождения платины Исковского и Нижне-Тагильского районов на Урале. Труды Геологического комитета. Нов. сер. № 62. СПб., 1913. - 692 с.
- 5 Гурская Л.И. Развитие идей А.П. Карпинского по выявлению коренных месторождений платиноидов на Урале // Региональная геология и металлогения. - 1997. - N 7. - С. 76-87.
- 6 Ефимов А.А. Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. - М.: Наука, 1984. - 232 с.
- 7 Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Малахов И.А., Мардиросьян А.Н., Хрыпов В.Н. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. - Екатеринбург: ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция», 2001. - 199 с.
- 8 Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: минералогия, петрология, генезис. - Екатеринбург: Уральский госуниверситет, 1997. - 488 с.
- 9 Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Сахьянов Л.О. Платинометальная минерализация зональных ультраосновных и коматиитовых массивов. - Л.: Недра, 1992. - 217 с.
- 10 Малич К.Н. Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири (геохимия, минералогия, генезис). - С-Пб.: Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1999. - 296 с.
- 11 Малич К.Н., Баданина И.Ю. Железо-платиновые сплавы хромититов Нижнетагильского и Кондерского клинопироксенит-дунитовых массивов (Россия) // Доклады АН. - 2015. - Vol 462. - N 6. - С. 692-695.
- 12 Мосин К.И. История добычи платины на Урале. - Нижняя Тура: Нижнетурунская типография. - 2002. - 246 с.

- 13 Мочалов А.Г., Зайцев В.П., Назимова Ю.В., Перцев А.Н., Вильданова Е.Ю. Вариации состава “шлиховой платины” россыпных месторождений южной части Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. - 2002. - Vol 44. - N 6. - С. 556–570.
- 14 Мурзин В.В., Сустанов С.Г. Новые данные о минералах ряда лаурит-эрликманит и их мышьяковистых разновидностей // Доклады АН. - 2000. Vol 370. - N 3. - С. 380-382.
- 15 Мурзин В.В., Сустанов С.Г., Мамин Н.А. Золотая и платиноидная минерализация россыпей Верх-Нейвинского массива альпинотипных гипербазитов (Средний Урал). - Екатеринбург: УГГГА, 1999. - 93с.
- 16 Сидоров Е.Г., Козлов А.П., Толстых Н.Д. Гальмознанский базит-гипербазитовый массив и его платиноносность. - М.: Научный мир, 2012. - 288 с.
- 17 Служеникин С.Ф. Малосульфидное платиновое оруденение в дифференцированных базит-гипербазитовых интрузивах Норильского района. - Автореферат дис. ... канд. геол.-мин. наук. - Москва: ИГЕМ РАН, 2000. - 26 с.
- 18 Толстых Н.Д., Кривенко А.П. Минералы платиновых металлов в россыпи р. Инагли // Геология и геофизика. - 1997. - N 4. - С. 765-774.
- 19 Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П. Коренная платина Светлоборского и Каменушенского массивов Платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика. - 2011. Vol 52. - N 6. - С. 775-793.
- 20 Anikina E.V., Malitch K.N., Pushkarev E.V., Shmelev V.R. The Nizhny Tagil and Volkovsky massifs of the Uralian Platinum Belt, and related deposits. Field trip guidebook. 12th International Platinum Symposium. - Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2014. - 48 p.
- 21 Andrews D.R.A., Brenan J.M. Phase-equilibrium constraints on the magmatic origin of laurite and Os-Ir alloy // Canadian Mineralogist. - 2002. - V. 40. - P. 1705-1716.
- 22 Auge T., Genna A., Legendre O., Ivanov K.S., Volchenko Y.A. Primary platinum mineralization in the Nizhny Tagil and Kachkanar ultramafic complexes, Urals, Russia: A genetic model for PGE concentration in chromite-rich zones // Economic Geology. - 2005. - V. 100. - P. 707-732.
- 23 Bird J.M., Bassett W.A. Evidence of a deep mantle history in terrestrial osmium-iridium-ruthenium alloys // Journal of Geophysical Research. - 1980. - V. 85. - P. 5461-5470.
- 24 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. - 1996. - V. 5. - P. 73 167.
- 25 Chen J.H., Papanastassiou D.A., Wasserburg G.J. Re-Os systematics in chondrites and the fractionation of the platinum group elements in the early solar system // Geochimica et Cosmochimica Acta. - 1998. - V. 62. - N 19/20. - P. 3379-3392.

26 Creaser R.A., Papanastassiou D.A., Wasserburg G.J. Negative thermal ion mass-spectrometry of osmium, rhenium, and iridium // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. - 1991. - V. 55. - P. 397-401.

27 Harris D.C., Cabri L.J. Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision // *Canadian Mineralogist*. - 1991. - V. 29. - P. 231-237.

28 Malitch K.N., Auge T., Badanina I.Yu., Goncharov M.M., Junk S.A., Pernicka E. Os-rich nuggets from Au-PGE placers of the Maimecha-Kotui Province, Russia: a multi-disciplinary study // *Mineralogy and Petrology*. - 2002. - V. 76. - P. 121-148.

29 Malitch K.N., Thalhammer O.A.R. Pt-Fe nuggets derived from clinopyroxenite-dunite massifs, Russia: a structural, compositional and osmium-isotope study // *Canadian Mineralogist*. - 2002. - V. 40. - P. 395-418.

30 Massalski T.B. (ed.) *Binary Alloy Phase Diagrams*. - Amer. Soc. Metals, Metals Park, Ohio, 1993. - 2224 p.

31 Puchtel I.S., Touboul M., Blichert-Toft J., Walker R.J., Brandon A.D., Nicklas R.W., Kulikov V.S., Samsonov A.V. Lithophile and siderophile element systematics of Earth's mantle at the Archean-Proterozoic boundary: Evidence from 2.4 Ga komatiites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. - 2016. - V. 180. - P. 227-255.

32 Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Yu. Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt // *Ore Geology Reviews*. - 2015. - V. 67. - P. 234-243.

33 Weiser T., Bachmann H.-G. Platinum-group minerals from the Aikora River area, Papua New Guinea // *Canadian Mineralogist*. - 1999. - V. 37. - P. 1131-1145.

34 Геология СССР. Т. XII, Ч. I, Кн. 2. Ред. П.И. Аладинский, В.А. Перваго, К.К. Золоев. - М.: Недра, 1969. - 304 с.

35 Кейльман А.Г., Болтыров В.Б., Бурьян Ю.И., Горожанкин В.Т. К вопросу о структурной эволюции Кочкарского антиклинория // *Геология метаморфических комплексов Урала*. - Тр. СГИ. - Вып. 91. - 1973. - С. 38-45.

36 Кисин А.Ю. Закономерности размещения и прогноз месторождений полезных ископаемых на основе модели блоковой складчатости // *Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук*. - Пермь, 2009. - 454 с. (Рукопись).

37 Кисин А.Ю., Коротеев В.А. Блоковая складчатость земной коры и рудогенез. - Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. - 356 с.

38 Кисин А.Ю., Мурзин В.В., Притчин М.Е. Золото в мраморах Светлинского карьера (Южный Урал) // *Ежегодник-2016*. - Тр. ИГГ УрО РАН. - Вып. 164. - 2017. - С. 223-226.

39 Кисин А.Ю., Притчин М.Е. Разрывная тектоника на Светлинском месторождении золота (Южный Урал) // Вестник Пермского университета. Геология. - 2015. - Vol 3. – N 28. - С. 34-42.

40 Сазонов В.Н., Попов Б.А., Григорьев Н.А., Мурзин В.В., Мещнер Э. и др. Корово-мантийное оруденение в салических блоках эвгеосинклинали / УрО АН СССР. - Свердловск, 1989. - 113 с.

41 Сначёв В.И., Рыкус М.В. Геология и история формирования Светлинского золото-сульфидного месторождения (Восточно-Уральское поднятие) // Нефтяное дело. - 2013. - Vol 11. - N 2. - С. 10-16.

42 Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Минерагения шовных зон Урала. Часть 1. Кочкарский рудный район (Южный Урал). - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004. - 216 с.

43 Мурзин В.В., Кисин А.Ю., Сазонов В.Н. Самородное золото рубиноносных мраморов зональных метаморфических комплексов Урала и его роль в формировании россыпей // Доклады АН СССР. - 1991. - Vol 320. - N 5. - С. 1226-1229.

44 Нечкин Г.С., Ровнушкин М.Ю. Сульфидная околодайкавая минерализация на Воронцовском месторождении золота (Ауэрбаховский комплекс, Северный Урал) // Ежегодник-2010. - Тр. ИГГ УрО РАН, Vol 158. - 2011. - С. 187-190.

45 Murzin V. V., Naumov E. A., Azovskova O. B., Varlamov D. A., Rovnushkin M. Yu., Pirajno F. The Vorontsovskoe Au–Hg–As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model. // Ore Geology Reviews. - 2017. – Vol 85. - P. 271-298.

46 Ронкин Ю.Л., Притчин М.Е., Сорока Е.И., и др. Первые U-Pb изотопные данные для циркона из андезита Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // Доклады АН. – 2016. - Vol 469. - N 3. - С. 328-332.

47 Анфимов А.Л., Сорока Е.И., Лещёв Н.В. Новые данные о фораминиферах в рудовмещающей толще Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. отд.геол. - 2015. - Vol 90. - N 3. - С. 23-26.

48 Зайцев А.Н., Вильямс Ч.Т., Уолл Ф., Золотарев А.А. Эволюция химического состава минералов группы пирохлора из фоскоритов и карбонатитов Хибинского щелочного массива // Записки ВМО. – 2011. - Vol CXXXX. - N 3. - С. 40-55.

49 Когарко Л.Н., Сорохтина Н.В., Зайцев В.А., Сенин В.Г. Редкометалльная минерализация кальцитовых карбонатитов архипелага Капа Верде // Геохимия. – 2009. - N 6. – С. 463-581.

50 Краснобаев А.А., Русин А.И., Вализер П.М., и др. Цирконология кальцитовых карбонатитов Вишневогорского Массива (Южный Урал) // Доклады РАН. - 2010. - Vol 431. - N 3. – С. 1–4.

51 Лазарева Е.В., Жмодик С.М., Добрецов Н.Л., и др. Главные рудообразующие минералы аномально богатых руд месторождения Томтор (Арктическая Сибирь) // Геология и геофизика. – 2015. - Vol 56. - N 6. - С. 1080-1115.

52 Недосекова И.Л., Беляцкий Б.В. Возраст и источники вещества Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (Ю. Урал): изотопные Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb и Lu-Hf данные // Доклады РАН. – 2012. – Vol 446. - N 1. – С. 71–76.

53 Недосекова И.Л., Белоусова Е.А., Беляцкий Б.В. U-Pb возраст и Lu-Hf изотопные системы цирконов Ильмено-Вишневогорского щелочно-карбонатитового комплекса, Южный Урал // Литосфера. – 2014. - N 5. - С. 19–32.

54 Хромова Е.А., Дорошкевич А.Г., Шарьгин В.В., и др. Особенности эволюции состава минералов группы пирохлора в карбонатитах Белозиминского массива (Восточный Саян) // Записки ВМО. - 2017. - N 1. - С. 84-105.

55 Ярошевский А.А., Багдасаров Ю.А. Геохимическое разнообразие минералов группы пирохлора // Геохимия. - 2008. - N 12. - С. 1322-1345.

56 Atencio D., Andrade M.B., Christy A.G., et al. The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature // The Canadian Mineralogist. – 2010. - N 48. - P. 673–698.

57 Chakhmouradian A.R. Williams C.T. Mineralogy of high field strength elements (Ti, Nb, Zr, Ta, Hf) in phoscorite and carbonatitic rocks of the Kola Peninsula, Russia // Phoscorites and Carbonatites from mantle to mine: the key Example of the Kola Alkaline Province. – 2004. – P. 293-340.

58 Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // Nature. – 1997. - N 385. – P. 219–229.

59 Hogarth, D.D. Classification and nomenclature of the pyrochlore group // American Mineralogist. - 1977. - N 62. - P. 403–410.

60 Kramm, U., Chernyshev, I.V., Grauert, B., et al. Zircon typology and U-Pb systematics: a case study of zircons from nefeline syenite of the Il'meny Mountains, Urals // Petrology. - 1993. – Vol 1. – N 5. – P 536–549.

61 Nedosekova I.L., Belousova E.A., Sharygin V.V., et al. Origin and evolution of the Il'meny-Vishnevogorsky carbonatites (Urals, Russia): insights from trace-elements compositions, Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb and Lu-Hf isotope data // Mineralogy and Petrology. – 2013. - Vol 107. - P 101–123.

62 Wall F. and Zaitsev A.N. Phoscorites and Carbonatites from mantle to mine: the key Example of the Kola Alkaline Province, London, 2004. – 498 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список работ, опубликованных и подготовленных в ходе выполнения НИР

- 1 Недосекова И.Л., академик РАН Коротеев В.А., Баянова Т.Б., Беляцкий Б.В. Источники рудного вещества карбонатитовых комплексов Уральской складчатой области (по данным Rb-Sr и Sm-Nd изотопии) // Доклады РАН. – 2018. – Vol 480. - N 5. - С. 578–582. English: Nedosekova I. L., Koroteev V.A., Bayanova T.B., and Belyatsky B. V. Sources of Ore Substance of Carbonatite Complexes of the Ural Fold Belt: Rb–Sr and Sm–Nd Isotope Data // Doklady Earth Sciences. - 2018. - Vol 480. – N 2. – P 773–777.
- 2 Огородников В.Н., Савичев А.Н., Поленов Ю.А. Геолого-структурное положение кварцево-жильных образований Уфалейского гнейсо-мигматитового комплекса (Южный Урал) как результат полихронного и полигенного генезиса // Литосфера. - 2018. – N 1. – С. 99-110.
- 3 Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Савичев В.Н. Особо чистый кварц Уфалейского кварценосного района (Южный Урал) // Известия УГГУ. – 2018. - Vol 1. – N 49. – С. 23–32. DOI 10.21440/2307-2091-2018-1-23-32
- 4 Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Савичев В.Н., Бабенко В.В. Особо чистый жильный кварц – минеральное сырье полихронного и полигенного генезиса // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2018. - N 1. - С. 88-98. DOI 10.20403/2078-0575-2018-1-88-98
- 5 Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Савичев В.Н. Жильный кварц Пугачевского типа // Горно-геологический журнал. – 2018. – Vol 1. – N 53. – С. 20-25. DOI 10.21440/2307-2091-2018-1-23-32
- 6 Soroka E., Leonova L., Pritchyn M., Maidl T. Fossil Algae as Indicators of the Depositional Environment // Filodiritto Editore – Proceedings. – 2018. – P. 321-325.
- 7 Сорока Е.И., Притчин М.Е., Азовскова О.Б., Ровнушкин М.Ю., Лютоев В.П., Смолева И.В. Физико-химические исследования жильных карбонатов Воронцовского золоторудного месторождения // Вестник Пермского университета. – 2018. – Vol 17. – N 1. – С. 41-51.
- 8 Малюгин А.А., Халилова А.Ф., Азовскова О.Б., Ровнушкин М.Ю. Особенности самородного золота Гумешевского месторождения: морфология, состав, зональность распределения // Известия УГГУ. – 2018. – Vol 3. – N 51. – С. 65-72. DOI 10.21440/2307-2091-2018-3-65-72.